

Landschapsplanning en watersystemen in de zandgebieden van Nederland

Michaël van Buuren



Promotoren: ir. M.J. Vroom oud-hoogleraar in de Landschapsarchitectuur

dr. G.B. Engelen oud-hoogleraar in de Hydrogeologie
en de Geografische Hydrologie

11-11-1997

Michaël van Buuren

**LANDSCHAPSPLANNING EN WATERSYSTEMEN IN
DE ZANDGEBIEDEN VAN NEDERLAND**

Naar een watersysteembenadering voor landschapsplanning,
toegespitst op de ruimtelijke problematiek van de Nederlandse
zandgebieden

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor
op gezag van de rector magnificus
van de Landbouwniversiteit te Wageningen,
dr. C.M. Karssen
in het openbaar te verdedigen
op woensdag 4 juni 1997
des namiddags te vier uur in de Aula

Isn 937d10

BIBLIOTHEEK
LANDBOUWUNIVERSITEIT
WAGENINGEN

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	V
ABSTRACT	VII
SAMENVATTING	XIII

1 PROLOOG

1.1 Water en landschapsarchitectuur	1
1.1.1 De esthetische betekenis van water	1
1.1.2 De ecologisch-functionele betekenis van water	1
1.2 De zandgebieden van Nederland	2
1.2.1 De landschappen in de zandgebieden	2
1.2.2 Ontwikkelingen in de zandgebieden	3
1.2.3 Een spanningsveld van grondgebruikscategorieën	3
1.2.4 De rol van het water	5
1.3 Theoretische oriëntatie van het onderzoek	6
1.3.1 Landschapsplanning en het ontwerpproces	6
1.3.2 Landschapsplanning en haar opgave	7
1.3.3 De landschapsplanningsopgave voor de zandgebieden	8
1.3.4 Planningsconcepten voor de zandgebieden: ruimtelijke netwerken	9
1.3.5 Het casco-concept	9
1.4 De onderzoeksvragen	10

DEEL 1 POSITIEVE KENNISELEMENTEN

2 WATER IN HET LANDSCHAP

2.1 De kringloop van het water	17
2.2 De stroming van grondwater	18
2.2.1 Grondwaterstromingsstelsels	18
2.2.2 Eigenschappen van grondwaterstromingsstelsels	20
2.2.3 Grondwaterstromingsstelsels in de Nederlandse zandgebieden	21
2.3 De stroming van oppervlaktewater	23
2.3.1 Oppervlaktewaterstromingsstelsels	23
2.3.2 Eigenschappen van oppervlaktewaterstromingsstelsels	24
2.3.3 De oppervlaktewaterstromingsstelsels van de zandgebieden	25
2.4 De hydrologische landschapsstructuur en daaruit voortvloeiende ruimtelijke patronen	28
2.4.1 Ruimtelijke relaties ten gevolge van de stroming van grond- en oppervlaktewater	28
2.4.2 Ruimtelijke patronen ten gevolge van de stroming van grond- en oppervlaktewater	30
2.4.2.1 Inleiding	30

2.4.2.2 De 'functionele' ruimtelijke patronen	30
2.4.2.3 De 'zichtbare' ruimtelijke patronen	32
2.4.3 De hydrologische landschapsstructuur	34

3 NAAR EEN WATERSYSTEEMBENADERING VOOR LANDSCHAPSPLANNING

3.1 Inleiding	37
3.2 De analyse fase	37
3.2.1 Inleiding	37
3.2.2 De hydrologische systeemanalyse	37
3.2.3 De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen	39
3.2.3.1 Inleiding	39
3.2.3.2 Een typering van problemen via stroming van water	41
3.3 De synthese fase: een typering van op de watersystemen gebaseerde planningsmaatregelen	44
3.3.1 Inleiding	44
3.3.1.1 Grondgebruik	44
3.3.1.2 Beken en Beekdalen	47
3.3.2 Het strategisch planningsniveau: herordening van het grondgebruik	47
3.3.3 Het operationele planningsniveau: manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur	49
3.3.4 Maatregelen voor beekherstel	50
3.4 De evaluatie fase	52
3.4.1 Inleiding	52
3.4.2 De hydrologische evaluatie van planvoorstellen	53
3.5 Afsluiting	53

DEEL 2 VOORBEELDSTUDIES

4 HET STROOMGEBIED VAN DE REGGE

4.1 Inleiding	61
4.2 Werkwijze	61
4.3 De landschapsanalyse	64
4.3.1 De geologische genese van het landschap	64
4.3.2 De occupatiegeschiedenis van het landschap	68
4.3.2.1 De periode tot het midden van de 19-e eeuw	68
4.3.2.2 De periode vanaf het midden van de 19-e eeuw	71
4.3.3 De hydrologische landschapsstructuur	76
4.3.3.1 De historische hydrologische landschapsstructuur	76
4.3.3.2 De huidige hydrologische landschapsstructuur	88
4.4 Analyse van het grondgebruik	95
4.4.1 Inleiding	95
4.4.2 De natuurgebieden	95
4.4.3 De drinkwaterwinning	102
4.4.4 De landbouw	106

5 PLANVORMING OP HET STRATEGISCH NIVEAU: EEN 'RAAMWERK' OP BASIS VAN DE HYDROLOGISCHE LANDSCHAPSSTRUCTUUR

5.1 Inleiding	109
5.2 Uitgangspunten voor de planvorming	109
5.2.1 Inleiding	109

5.2.2 Natte gebieden	109
5.2.3 Multifunctioneel landschap	110
5.2.4 Landschappelijke patronen	111
5.3 De planvorming	111
5.3.1 De eerste stap	111
5.3.1.1 Inleiding	111
5.3.1.2 De in- en uitgangen van de primaire stromingsstelsels	111
5.3.1.3 De ruimtelijke vertaling	113
5.3.2 De tweede stap	113
5.3.2.1 Inleiding	113
5.3.2.2 De selectie van de 'nog natte gebieden'	113
5.3.2.3 De beschermingszones	117
5.3.2.4 De ruimtelijke vertaling	119
5.3.3 De derde stap	119
5.4 Het raamwerk	122
5.4.1 Inleiding	122
5.4.2 De hydrologische positie van het raamwerk	123
5.4.3 De milieudeifferentiatie	123
5.4.4 Tot slot	123

6 PLANVORMING OP HET OPERATIONELE NIVEAU: EEN PLAN VOOR DRINKWATERPRODUCTIE EN NATUURONTWIKKELING

6.1 Inleiding	127
6.1.1 Het doel	127
6.1.2 De werkwijze	127
6.2 Het plangebied	131
6.2.1 De keuze en begrenzing van het plangebied	131
6.2.2 De landschapsanalyse	132
6.2.3 De hydrologische analyse	133
6.3 De planvorming op het strategisch niveau: ruimtelijke modellen	136
6.3.1 Een uitwerking van de hoofddoelstelling	136
6.3.2 Het ontwerp van de ruimtelijke modellen	137
6.3.3 De hydrologische evaluatie van de ruimtelijke modellen	139
6.3.4 De evaluatie van het grondgebruik	139
6.3.5 De keuze van een ontwikkelingsrichting: het model Kwelgebied	143
6.4 De planvorming op het operationele niveau: het inrichtingsplan	144
6.4.1 Inleiding	144
6.4.2 Het inrichtingsplan	144
6.4.3 De hydrologische evaluatie	148
6.4.4 De evaluatie van het grondgebruik	151
6.4.5 Een schets van het toekomstige landschap	156
6.5 Tot slot	163

7 EPILOOG

7.1 De resultaten van het onderzoek	167
7.2 Kanttekeningen bij het onderzoek	168
7.2.1 Het integreren van informatie in de landschapsanalyse	168
7.2.2 De hydrologische systeemanalyse	168
7.2.3 De analyse van het grondgebruik	170
7.2.4 De planvorming	171
7.3 Water als centraal aandachtspunt in de problematiek van de Nederlandse zandgebieden	174

BIJLAGEN

I DE TOEPASSING VAN DE HYDROLOGISCHE SYSTEEM-ANALYSE IN DIT ONDERZOEK

I.1 Inleiding	179
I.2 De methode voor de aanduiding van de infiltratie- en exfiltratiegebieden	180
I.2.1 Inleiding	180
I.2.2 Criteria voor de indeling van infiltratie- en exfiltratiegebieden	181
I.2.3 Toelichting bij de keuze van de criteria	186
I.2.3.1 De infiltratiegebieden	186
I.2.3.2 De exfiltratiegebieden	187
I.2.3.3 De hoogveengebieden	188
I.2.3.4 De overige infiltratie- en exfiltratiegebieden	188
I.2.4 De resultaten	189
I.3 De simulaties met FLOWNET	193
I.3.1 Inleiding	193
I.3.2 Doorsnede Langeveen - Archem	195
I.3.3 Doorsnede Ootmarsum - Archem	195
I.3.4 Doorsnede Oldenzaal - Holterberg	198
I.3.5 Doorsnede Enschede - Het Flier	201
I.3.6 Doorsnede Witteveen - Herikerberg	203
I.3.7 Doorsnede Lünten - Herikerberg	204
I.4 De begrenzing van de grondwaterstromingsstelsels	206
I.4.1 Inleiding	206
I.4.2 De kunstmatige grondwaterstromingsstelsels	208
I.4.3 De resultaten	211

II EEN TYPERING VAN FYSIOTOPEN IN HET STROOM- GEBIED VAN DE REGGE

II.1 Inleiding	213
II.2 De typologie van fysiotoopen	213

III HET GRONDWATERSTROMINGSMODEL 'RIJSSEN'

III.1 Inleiding	217
III.2 Het niet stationaire model 'Rijssen'	217
III.3 De stationaire modellen 'Rijssen'	220
III.3.1 Inleiding	220
III.3.2 De grondwateraanvulling in de stationaire modellen 'Rijssen'	220
III.3.3 De ijking van de stationaire modellen 'Rijssen'	221
III.4 De gevoeligheidsanalyse	222
III.4.1 Inleiding	222
III.4.2 Samenvattende conclusies	223

REFERENTIES	225
--------------------	-----

CURRICULUM VITAE	243
-------------------------	-----

LIJST VAN PUBLICATIES	245
------------------------------	-----

VOORWOORD

"De potenties van beken en beekdalen met betrekking tot het landschap in kleinschalige zandgebieden"; met deze titel is het onderzoek dat aan het onderhavige proefschrift ten grondslag ligt in 1987 gestart. Gaandeweg het project is het perspectief van het onderzoek verbreed, hetgeen uit de titel van dit proefschrift mag worden opgemaakt. Bekken zijn immers geen geïsoleerde fenomenen in het landschap. Via een ingewikkeld stelsel van hydrologische relaties zijn deze landschappelijke elementen met andere delen van het landschap verbonden. Deze constatering was een aanleiding om op zoek te gaan naar een benadering waarmee het geheel van hydrologische processen op de schaal van het landschap kon worden beschreven en begrepen. Dit geheel is in deze studie aangeduid met de hydrologische landschapsstructuur. De 'regionale hydrologische systeemanalyse' bleek een geschikte methodiek om deze landschapsstructuur in concrete gebieden te doorgronden. In een serie ontwerpstudies zijn de toepassingsmogelijkheden van deze systeemanalyse voor de landschapsplanning verkend. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een watersysteembenadering voor landschapsplanning. Deze kan het best worden omschreven als verzameling procedurele stappen waarmee kennis omtrent de eigenschappen en het functioneren van watersystemen in de centrale elementen uit het ontwerpproces - analyse, synthese en evaluatie - kan worden toegepast. Deze toepassingsmogelijkheden zijn in dit proefschrift geïllustreerd aan de hand van een drietal voorbeeldstudies in het stroomgebied van de Regge.

Vele mensen hebben aan dit onderzoek op een of andere wijze bijgedragen. Voordat ik personen met name noem, wil ik hun inzet op deze anonieme wijze prijzen.

Veel dank ben ik verschuldigd aan mijn dagelijks begeleider en 'praatpaal' Klaas Kerkstra. Onze discussies en bespiegelingen over 'het vak' waren voor mij van grote waarde en zullen - naar ik hoop - dat ook in de toekomst blijven. Ook mijn andere collega's van de voormalige vakgroepen Tuin- en Landschapsarchitectuur en Ruimtelijke Planvorming wil ik hier voor hun inspanningen bedanken. Met name Wim Wassink, Peter Vrijlandt, Loek Stalpers en Peter van Bolhuis hebben in de loop der jaren een duidelijk stempel op het werk gedrukt. Een speciale vermelding verdienen Gerrit Kleinrensink, Adrie van 't Veer en Henk de Rooy. Op de moeilijkste momenten - kort voordat allerlei deadlines dreigden te worden overschreden - wisten jullie mij uit de brand te helpen! Mijn grote waardering gaat ook uit naar diegenen die als studenten aan mijn onderzoek hebben deelgenomen. Hans van Engen, Bart Vlaanderen, Ilonka van Hoorn, Iris Rijntjes, Marc Veekamp, Rudi van Etteger; jullie afstudeerwerk is voor mij van grote waarde geweest. Natuurlijk wil ik hierbij ook mijn promotoren Vroom en Engelen van harte bedanken voor hun inbreng. Zonder jullie kritische opmerkingen, bruikbare suggesties en vooral ook het in mij gestelde vertrouwen had ik dit onderzoek nooit op deze wijze kunnen voltooien.

Tenslotte rest mij nog mijn 'thuisfront' te memoreren. Gerrit en Riet jullie hebben mij vroeger en gelukkig nu nog steeds - altijd ondersteund en van wijze raad voorzien. Auke en Marjolijn, Wim en Saskia; ik mag jullie bijdrage - hoewel indirect - aan mijn onderzoek niet vergeten. Anita, Fynn en Rune; jullie liefde en niet-aflatende inspiratie hebben mij de kracht gegeven dit werk af te ronden.

Michaël van Buuren, Wageningen, April 1997.

ABSTRACT

Landscape planning and hydrological systems in the pleistocene sandy areas of the Netherlands

The main theme of this doctoral thesis is the relationship between landscape architecture and hydrology. Knowledge of hydrological processes — with the stress on the resulting spatial and temporal relationships — is applied for purposes of landscape planning. To this, the situation of the landscapes in the Dutch pleistocene sandy areas is central.

Prologue (Chapter 1)

Water and landscape architecture

From early days, water has played an important role in the planning and design of our environment. As historic garden and park design shows, traditional landscape architecture focused primarily on the aesthetic and symbolic aspects of water. The current situation in many landscapes nonetheless calls for a broader approach, in which such aesthetic qualities are combined with what might be called the 'ecological-functional' significance of water. The key to this is found in the hydrological processes, together with the spatial and temporal relationships concomitant with them, and in the resulting environmental conditions and spatial landscape patterns. In short, water plays a pivotal role in the determination of landscape. This hydrologically-based approach to landscape planning is also the perspective from which the relationship between landscape architecture and hydrology is examined in this thesis.

Pleistocene sandy areas in the Netherlands and the concerns of landscape planning

The 'Dutch sandy areas' are the geographical focus of this thesis. This term is conventionally applied as a collective term that refers to the sand-soil landscapes in the northern, eastern, central and southern Netherlands (fig. 1.2). The rapid and radical changes currently taking place in these landscapes have given rise to a complex range of environmental problems. These are primarily the result of the intensity and dynamics of urban and agricultural land-use, which have subjected other forms of land-use more related to natural, abiotic conditions, to great pressure. From the point of view of landscape planning, the problems faced in the sandy areas can be defined as an inadequate siting of the various land-use types. It is therefore the concern of landscape planners to seek a planning approach that allows for the sustainable development of the relevant land-use and to create a structural framework that makes use of underlying natural patterns. This framework concept is a planning concept by whose means planning in the sandy areas can be addressed.

The research questions

Water plays an important role in the problems currently being encountered in the Dutch sandy areas. Normally water systems result in spatial coherence in a landscape. Recent developments however have resulted in a change, or even a loss of hydrological relationships between landscape components. For a possible solution of these problems the following research questions are important:

- how does water function in the landscape as a basis for spatial coherence?
- how could knowledge of hydrological systems be applied in landscape planning

within the three principal components of the design and planning process: analysis, synthesis and evaluation?

Water in the landscape (Chapter 2)

The hydrological cycle

The hydrological cycle is the overall system of relationships resulting from hydrological processes (fig. 2.1). At the earth's surface, these processes lead to characteristic landscape patterns such as the network of surface waters, floodplains and brook valleys as well as vegetation and land-use patterns. The flows of both groundwater and surface water contribute to this system of spatial relationships and landscape patterns.

Groundwater flows

The flow-concept developed by Tóth makes it possible to see the flows of water both at and below the earth's surface as a hierarchically organised set of superimposed groundwater flow-systems of various orders connected to a hierarchy of surface water systems (fig. 2.3). The existence and function of these systems is dependent both on natural factors (e.g., climate, topography and geological structure) and on anthropogenic factors (such as groundwater extraction and water-level regulation). The properties of the groundwater systems depend on the ways in which the factors determining groundwater systems are manifested. A number of quantitative and qualitative properties are important: flow and velocity, form, origins, position relative to other systems, behaviour over time, and the chemical composition of the groundwater. In the Dutch pleistocene sandy areas these factors have given rise to four different types of groundwater systems (fig. 2.4).

Surface water flows

The flows of surface water create a hierarchical structure of catchments of different orders, defined here as the surface water flow systems. Factors such as discharge, slope, the transport of sediment, river-bed texture, the nature of the banks, and of aquatic and riverbank vegetation determine the properties of these flow-systems, such as their width, depth, maximum depth, flow rate, sinuosity and meander-width. In the Dutch sandy areas, all surface-water flow-systems originate in groundwater. These surface waters are termed lowland streams; their typical characteristics are a relatively low flow-velocity, periods in which water is stagnant or watercourses are dry, and a characteristic sequence of plan forms and crosssections (figs. 2.8 and 2.9).

The hydrological landscape structure

The flow processes in groundwater and surface water create relationships in a landscape of varying intensity, nature and direction, both in time and space. Specific patterns develop (figs. 2.13, 2.14 and 2.15) with varying environmental conditions as well as potentials for land-use. In this thesis such an organisation and the resultant relations and patterns are called the hydrological landscape structure. Figure 2.18 shows the implications of the identification of such a structure for landscape planning.

Towards a hydrological systems approach to landscape planning (Chapter 3)

A landscape planning process normally comprises three steps: analysis, synthesis and evaluation. In the hydrological systems approach to landscape planning these steps can be elaborated as follows.

The analysis phase

The analysis phase of the hydrological systems approach to landscape planning comprises the following elements:

- a description of the hydrological landscape structure of the area in question, involving

the application of the 'regional hydrological system analysis' method;
- an analysis of the ways in which water links various forms of land-use; this is followed by an elaboration of the planning problem involved per case.

The regional hydrological system analysis (which has been developed in the Netherlands and advocated by a group from the Vrije Universiteit Amsterdam and in the Netherlands Institute for Applied Geoscience (NITG) around Engelen) is a method for classifying hydrological systems by type, scale, interdependence, spatial distribution and behaviour over time. A working method has been described for the performance of this system analysis (fig. 3.4). The outcome of the regional hydrological system analysis is a map of the hydrological landscape structure.

The results of hydrological system analyses make it possible for a land-use analysis to be carried out. The proposed land-use analysis comprises the production of a series of overlays in which land-use maps are compared with those of the hydrological landscape structure (fig. 3.5). It can thus be verified whether, and to what extent, water flows create problems between conflicting land-use categories. At the same time, a distinction can be made between problems that arise when one or more of the following changes takes place with regard to a flow: decrease, termination, reversal, increase; or the appearance of, or an 'addition' to a flow (i.e., pollution (fig. 3.6).

The synthesis phase

During the synthesis phase new options — i.e., plans — are generated which help address the problems defined in the analysis phase. Insights derived from hydrology enable the generation of options that will provide for the elaboration of concrete solutions (fig. 3.7).

It is expected that these options will fall into three general categories (fig. 3.8):

- land-use redesignation, in which specific areas within the hydrological landscape structure are used to relocate land-use types such that they are no longer or in an optimal way interlinked;
- land-use adaptation, in which the nature of land-use is modified to avert negative influences upon other forms of land-use;
- the manipulation of the hydrological landscape structure, whereby existing relationships are broken up (so-called isolation) or original relationships are restored.

Of the three options redesignation and manipulation fall clearly within the domain of landscape planning. The former concerns the level of strategic planning. Figure 3.9 shows the concrete planning measures this makes available for the location of land-use. Manipulation concerns the level of operational planning. Planning measures at this level are shown in figs 3.10 - 3.12.

The evaluation phase

Evaluation in the planning process involves testing the planning proposals that arise from the synthesis phase. It comprises the following steps (fig. 3.13):

- interpretation of the planning proposals in hydrological terms;
- calculation of their hydrological effects;
- assessment of these effects.

The final phase makes it possible to indicate whether or not the planning proposals are sufficient. If they are insufficient, or if they are expected to give rise to unacceptable side-effects, earlier phases of the design process are consulted. This iterative procedure is continued until the design objectives have been attained to a satisfactory degree and significant undesirable side-effects are no longer encountered.

Pilot studies: applications of the hydrological systems approach within landscape planning

(Chapters 4,5 and 6)

The hydrological systems approach to landscape planning was developed, refined and tested in a series of pilot studies. Three of these studies, all involving the catch-

ment area of the Regge in the province of Overijssel (fig. 4.1) are discussed. Each of these three examples stresses a different phase in the hydrological systems approach examined above.

An analysis of the Regge catchment (Chapter 4)

An analysis is made of the geological origins, historical occupation patterns and hydrological landscape structure of the Regge catchment. With regard to the latter, a distinction is made between groundwater and surface-water flow-systems in both a historical situation (approximately the first half of the 19th century: see figs. 4.14 and 4.24) and a contemporary situation (see figs. 4.26 and 4.27). Comparison of these two situations shows that radical changes have taken place. The most important of these changes are represented in 4.25. A significant proportion of the former exfiltration areas disappeared (4.28).

An analysis is then made of the manner in which land-use (nature conservation, water extraction and agriculture) is positioned in the hydrological landscape structure, and of the consequences this has to the land-use forms and to any interrelationships between them. The outcome of this analysis is an elaboration of the problems generally encountered in the Dutch sandy areas.

Nature areas represent the most striking problem. The disappearance of wetland areas is particularly evident (4.33). The earlier network of extensive and strongly-interrelated wetland areas has been reduced to a series of small, isolated entities. The relationships with the highly-intensive urban and agricultural areas (cf. fig. 3.35) mean that future prospects for these remaining wetland areas are not rosy.

The widespread incidence of urban or agricultural land-use in the infiltration zones of drinking-water pumping stations (fig. 4.34) represents a threat to drinking water quality.

Planning at a strategic level (Chapter 5)

At a strategic level the design of a landscape framework that would create sustainable preconditions for the development of the most threatened land-use forms was the central aim. It would also enable hydrologically-based planning measures to be used in such a way that the situation of the framework in the hydrological landscape structure would have the following effects:

- it would avert or minimise any negative influences upon the framework via water flows from surrounding areas;
- it would create the preconditions for the development and maintenance of the environmental diversity and landscape patterns characteristic of the areas concerned.

The plan (see fig. 5.6) was drawn up by means of a step-by-step procedure to which the creation of favourable preconditions for the recovery and regeneration of wetland areas was central. For this, the recovery and sustainable protection of the principal groundwater flow-systems is an essential condition.

In the first step of the plan, it was proposed to achieve this condition by including the infiltration and exfiltration zones in the relevant flow-systems in the framework as nature areas (fig. 5.1). Despite the many hazards, the planning assignment described here means that any remaining wetland areas have considerable potential. The most important of these areas and the areas necessary for their protection were all mapped in the second planning phase (fig. 5.4). Finally, in the last step, a number of the patterns characteristic of streams and brook valleys were added to the plan (fig. 5.5).

The resulting plan represents a series of interrelated areas that reflect the main abiotic patterns in the Regge catchment (fig. 5.6). By applying the planning measures incorporated in the hydrological systems approach, hydrologically-interlinked areas were included in the network so as to create an entity that could function relatively independently. Figs. 5.6 and 5.7 show that the plan offers potential for the entire range of environmental conditions that were original features of the area. Many ecological gradients may be developed as well.

Planning at an operational level (Chapter 6)

Planning at an operational level in this thesis comprises the development and evaluation of planning proposals that would combine drinking water production with the regeneration of former wetland areas and the creation of new wetlands. This study resulted in the NADORST pilot plan, in which the study area was a hydrologically contiguous part of the Regge catchment (fig. 6.1). A computer model was used which enabled the simulation of groundwater flows and of the changes occurring within it. Planning followed the hydrological systems approach for landscape planning. It resulted in a working method that comprised one analysis phase and two design phases (fig. 6.2). During analysis, the most important abiotic, biotic and anthropogenic patterns and processes were discussed, with hydrological analysis occupying a key position (figs. 6.6 and 6.7). The first design-phase, which was of a strategic nature, comprised a systematic examination of the development potential within the planning area. To this end, 'planning models' were designed. These involved the redesignation of land-use on the basis of the hydrological landscape structure (fig. 6.8). These models were evaluated (figs. 6.9 - 6.11) in order to select a strategy for further development. In the second design phase, this strategy was elaborated into a landscape plan, which involved the proposal of planning measures for interventions in the existing hydrological landscape structure. This design involved the introduction of a new drinking-water production site (fig. 6.14), changes to the surface water system (fig. 6.15) and changes in land-use. The hydrological conditions were simulated (figs. 6.16 - 6.18), and it was indicated what the principal implications would be for drinking water production (table 6.2 and fig. 6.19), vegetation (figs. 6.20 and 6.21) and agriculture (6.22). The landscape plan (fig. 6.23) shows a design interpretation of the proposed measures. The pilot study demonstrated that it is possible to combine drinking water production with the restoration or creation of wetland nature areas.

Epilogue (Chapter 7)

Research results

This thesis addresses the ecological-functional significance of water to landscape planning, and introduces two concepts: the hydrological landscape structure and the hydrological systems approach to landscape planning. The thesis can therefore be regarded as a hydrological interpretation of the 'landscape-ecological' tradition of landscape planning in whose development McHarg has played a leading role. The pilot studies described in the thesis show the feasibility of using hydrological knowledge as a basis for designing landscape plans. The understanding of one of the factors most crucial to the functioning of landscapes can thus be applied during planning. The patterns arising from the hierarchically-ordered hydrological landscape structure provide valuable points of reference for the design of a landscape whose underlying functional structure is clearly expressed. One example of this might be an ecological network that simultaneously contains a wide variety of environmental conditions while being exempted from the deleterious effects of anthropogenic hydrological flows. The combined development of water collection areas and of both dry and wetland nature areas might thus become an important weapon against desiccation. Wetland areas are of strategic importance in the Dutch sandy areas. It may be argued that the creation of conditions favourable to the development of these areas at the outlets of groundwater flow systems will mean the progressive restoration of ecological qualities to the wider landscape. The search for solutions to problems in the Dutch sandy areas has thus found a logical starting point. Planning activities will be able to focus on what is simultaneously one of the weakest and one of the most important links in the landscape system.

SAMENVATTING

Landschapsplanning en watersystemen in de zandgebieden van Nederland

De relatie tussen landschapsarchitectuur en hydrologie vormt het hoofdthema van dit proefschrift. Kennis over hydrologische processen - met een nadruk op de daaruit voortvloeiende relaties in ruimte en tijd - is toepasbaar gemaakt ten behoeve van landschapsplanning. De situatie van de landschappen in de Nederlandse zandgebieden staat daarbij centraal.

PROLOOG (Hoofdstuk 1)

Water en landschapsarchitectuur

Al van oudsher speelt water een belangrijke rol bij de vormgeving en inrichting van onze leefomgeving. Traditioneel hebben in de landschapsarchitectuur vooral de esthetische aspecten van water aandacht gekregen. Ontwerpen van tuinen en parken - al vanaf de oudheid - getuigen hiervan.

De huidige situatie in vele landschappen vergt evenwel een bredere benadering waarin - naast de esthetische kwaliteiten - het benutten van wat de 'ecologisch-functionele' betekenis van water kan worden genoemd. Hierbij staan de hydrologische processen, de daaruit voortvloeiende relaties in ruimte en tijd en de resulterende milieucondities en ruimtelijke patronen in het landschap centraal. Kortom, hier is het functioneren van water als landschapsvormende factor aan de orde. Deze benadering van een landschapsplanning op hydrologische grondslag is ook het perspectief van waaruit de relatie tussen landschapsarchitectuur en hydrologie in dit proefschrift wordt beschouwd.

De zandgebieden van Nederland en de opgave voor landschapsplanning

Het proefschrift is gericht op de situatie in de 'zandgebieden van Nederland'. Dit is een verzamelbegrip voor de landschappen op de zandgronden van Noord-, Oost-, Midden- en Zuid-Nederland (figuur 1.2). Deze landschappen ondergaan een snelle en ingrijpende transformatie, waarbij een samenhangend en complex geheel van milieuproblemen is ontstaan. Het zijn met name de intensiteit en dynamiek van het urbane en het agrarische grondgebruik die aan de basis van deze problemen liggen. Andere meer aan de (natuurlijke) abiotische condities gebonden vormen van grondgebruik staan onder grote druk.

Vanuit het perspectief van de landschapsplanning kan de problematiek van de zandgebieden worden geduid als een gebrekkige ruimtelijke situering van de onderscheiden categorieën van grondgebruik. De opgave voor de landschapsplanning in de zandgebieden luidt dan: het zoeken naar een zodanige ordening van het grondgebruik en de inrichting van het landschap dat de betrokken vormen van grondgebruik duurzaam tot ontwikkeling kunnen komen, waarbij een ruimtelijke structuur wordt gevormd die fundamentele natuurlijke patronen weer tot uitdrukking brengt. Het casco-concept is een planningsconcept waarmee deze planningsopgave voor de zandgebieden kan worden aangepakt.

De onderzoeksvragen

Het water, met name de daaruit voortkomende ruimtelijke samenhangen in het

landschap, speelt in de problematiek van de Nederlandse zandgebieden en bij de aanpak daarvan een belangrijke rol. Cruciale hydrologische relaties tussen delen van het landschap zijn verloren gegaan, geïntensiveerd of geëxtensiveerd of hebben - ten gevolge van wijzigingen in de getransporteerde agentia - een andere inhoud gekregen. Soms zijn ook nieuwe samenhangen ontstaan. Anderzijds kunnen aan de hydrologische samenhangen in het landschap aanknopingspunten worden ontleend voor het aanpakken van deze problemen.

In dit licht zijn de volgende onderzoeksvragen van belang:

- hoe functioneert het water in het landschap, i.c. het ruimtelijk relatiestelsel dat ten gevolge van hydrologische processen in het landschap kan worden onderscheiden?;
- hoe kan gesystematiseerde hydrologische kennis in de landschapsplanning worden toegepast, i.c. in de drie hoofdonderdelen van het ontwerpproces (analyse, synthese en evaluatie)?

WATER IN HET LANDSCHAP (Hoofdstuk 2)

De kringloop van het water

De kringloop van het water brengt het stelsel van ruimtelijke relaties dat ten gevolge van hydrologische processen ontstaat op hoofdlijnen in beeld (figuur 2.1). Aan het aardoppervlak leiden deze processen tot karakteristieke landschappelijke patronen. Een evident voorbeeld daarvan vormt het stelsel van oppervlaktewateren met bijbehorende morfologische eenheden als beekdalen en inundatievlakten. Maar ook in de vegetatie en bij het grondgebruik zijn dergelijke patronen te herkennen. Zowel de stroming van grondwater als de stroming van oppervlaktewater dragen aan dit relatiestelsel bij.

De stroming van grondwater

Op basis van het door Tóth ontwikkelde stromingsconcept kan de stroming van water aan en beneden het aardoppervlak worden beschouwd als een hiërarchisch geheel van gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels van verschillende orde (figuur 2.3). Het voorkomen en functioneren van deze grondwaterstromingsstelsels is afhankelijk van natuurlijke (klimaat, topografie, geologische opbouw) en antropogene (grondwateronttrekkingen, peilbeheer) factoren. In afhankelijkheid van de wijze waarop de voor grondwaterstromingsstelsels bepalende factoren zich manifesteren, kunnen de eigenschappen van de stelsels aanzienlijk verschillen. Belangrijke eigenschappen zijn: omvang, vorm, ontstaansgeschiedenis, positie ten opzichte van andere stelsels, gedrag in de tijd en chemische samenstelling van het grondwater. In de zandgebieden van Nederland kan op grond van de genoemde aspecten een viertal typen grondwaterstromingsstelsels worden onderscheiden (figuur 2.4).

De stroming van oppervlaktewater

De organisatie van de oppervlaktewateren leidt tot een hiërarchische structuur van stroomgebieden van diverse orde. Naar analogie van de stroming van grondwater wordt gesproken van oppervlaktewaterstromingsstelsels. Diverse factoren (de afvoer, de terreinhelling, het sedimenttransport, de textuur van het beddingmateriaal, de aard van het oevermateriaal en de (oever)vegetatie) zijn bepalend voor de eigenschappen van de oppervlaktewaterstromingsstelsels (breedte, diepte, maximumdiepte, stroomsnelheid, sinuositeit en meanderlengte).

In de Nederlandse zandgebieden vormen de oppervlaktewaterstromingsstelsels oorspronkelijk een afgeleide van het grondwater. Deze oppervlaktewateren worden aangeduid als de laaglandbeken. Een relatief geringe stroomsnelheid, perioden met stilstaand water of droogstand en een karakteristieke sequentie van dwars- en lengteprofielen kenmerken deze beken (figuren 2.8 en 2.9).

De hydrologische landschapsstructuur

De stromingsprocessen van het grond- en het oppervlaktewater leiden tot relaties tussen delen van het landschap met een bepaalde intensiteit, aard en richting en op

verschillende tijd- en ruimteschalen. Hierbij ontstaan specifieke ruimtelijke patronen (figuren 2.13, 2.14 en 2.15) en een daarmee samenhangende variatie in milieuecondities en grondgebruikspotenties. Het geheel van deze relaties en patronen geeft aanleiding tot een ordening van het landschap in zowel een ruimtelijk als een temporeel opzicht. Deze ordening tengevolge van de stromingsprocessen van watersystemen in het landschap wordt aangeduid als de hydrologische landschapsstructuur. Het onderkennen van deze hydrologische landschapsstructuur heeft belangrijke implicaties voor landschapsplanning, hetgeen is geïllustreerd met het voorbeeld van figuur 2.18.

NAAR EEN WATERSYSTEEMBENADERING VOOR LANDSCHAPSPLANNING (Hoofdstuk 3)

In de landschapsplanning kunnen drie procedurele stappen worden onderscheiden: analyse, synthese en evaluatie. De watersysteembenadering voor landschapsplanning omvat een aantal min of meer vastomlijnde, zoveel mogelijk in algemene termen beschreven procedures voor de wijze waarop hydrologische kennis in het proces van landschapsplanning kan worden toegepast (figuur 3.2).

De analyse fase

De analyse fase als onderdeel van de watersysteembenadering voor landschapsplanning omvat de volgende elementen:

- een beschrijving van de hydrologische landschapsstructuur van het betreffende gebied met behulp van de methode van de 'regionale hydrologische systeemanalyse';
- een analyse van de wijze waarop de diverse vormen van grondgebruik via het water aan elkaar zijn gerelateerd en een daaruit voortvloeiende uitwerking van het (plannings)probleem.

De regionale hydrologische systeemanalyse (in Nederland met name ontwikkeld en gepropageerd door een groep binnen de Vrije Universiteit en NITG-TNO rond Engelen) is een methode om watersystemen te onderscheiden naar soort, schaal, onderlinge samenhang, ruimtelijke verbreiding en gedrag in de tijd. Voor de uitvoering van deze systeemanalyse is een min of meer vastomlijnde werkmethode beschreven (figuur 3.4). Uiteindelijk resulteert er een kaart die de hydrologische landschapsstructuur weerspiegelt.

De resultaten van hydrologische systeemanalyses maken een analyse van het grondgebruik mogelijk. Deze analyse van het grondgebruik kan worden voorgesteld als het maken van een serie 'overlays' waarbij kaarten van het grondgebruik worden vergeleken met die van de hydrologische landschapsstructuur (figuur 3.5). Op deze wijze kan worden nagegaan of en hoe via de stroming van water problemen tussen conflicterende grondgebruikscategorieën optreden. Daarbij kan een onderscheid worden gemaakt in problemen die voortkomen uit (een combinatie van): een afname, een beëindiging, een omkering, een toename, het ontstaan of een 'toevoeging' (verontreiniging) aan een stroming (figuur 3.6).

De synthese fase

De synthese fase is erop gericht nieuwe voorstellingen van het landschap ('plannen') te genereren waarmee de in de analyse beschreven problemen worden aangepakt. Hydrologische inzichten maken het mogelijk hiervoor oplossingsrichtingen te ontwerpen die in concrete, op de hydrologie gebaseerde planningsmaatregelen zijn uit te werken (figuur 3.7). Voor de grondgebruiksproblematiek ten gevolge van de ruimtelijke relaties via de stroming van water zijn in principe een drietal oplossingsrichtingen denkbaar (figuur 3.8):

- herordening van het grondgebruik, waarbij de ruimtelijke eenheden binnen de hydrologische landschapsstructuur worden benut om grondgebruiksvormen zodanig te situeren dat zij niet langer - of juist in optimale vorm - via relaties door waterstromen aan elkaar zijn gerelateerd;

- aanpassing van het grondgebruik waarbij de aard van het grondgebruik wordt gewijzigd opdat negatieve beïnvloeding van andere gebruiksvormen niet meer optreedt;
- manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur waarbij door ingrepen in hydrologische processen wordt getracht bestaande ruimtelijke relaties te verbreken ("isolatie") of juist de oorspronkelijke samenhangen te "herstellen".

Het zijn met name de oplossingsrichtingen herordening en manipulatie die tot het domein van de landschapsplanning behoren. De eerste optie heeft betrekking op het strategische planvormingsniveau (de 'bestemming'). In figuur 3.9 is weergegeven welke concrete planningsmaatregelen op het vlak van de ruimtelijke situering van het grondgebruik deze oplossingsrichting mogelijk maakt. De manipulatie betreft het operationele planvormingsniveau (de 'inrichting' van het landschap). De bijbehorende planningsmaatregelen zijn geschematiseerd in de figuren 3.10 t/m 3.12.

De evaluatie fase

De evaluatie in het ontwerpproces omvat de toetsing van de uit de synthese voortkomende planvoorstellen. Deze evaluatie omvat de volgende stappen (figuur 3.13):

- het vertalen van de planvoorstellen in hydrologische termen;
- het doorrekenen van de hydrologische effecten;
- het beoordelen van de geconstateerde effecten.

De laatste fase maakt het mogelijk om aan te geven of de planvoorstellen al dan niet voldoen. Is dat niet, of in onvoldoende mate, het geval of worden onaanvaardbare (neven)effecten verwacht, dan wordt teruggekoppeld naar voorgaande fasen in het ontwerpproces. Deze iteratieve procedure wordt voortgezet totdat de ontwerpdoelen in voldoende mate zijn verwezenlijkt en er geen belangrijke, ongewenste neveneffecten meer worden gevonden.

VOORBEELDSTUDIES:

TOEPASSINGEN VAN DE WATERSYSTEEM-BENADERING VOOR LANDSCHAPSPLANNING

(Hoofdstukken 4, 5 en 6)

De watersysteembenadering voor landschapsplanning is ontwikkeld, aangescherpt en getoetst in een serie voorbeeldstudies. Een drietal van deze studies, die allen betrekking hebben op het stroomgebied van de Regge in Overijssel (figuur 4.1), zijn besproken. Bij deze drie voorbeelden verschilt de nadruk op de hiervoor besproken fasen van de watersysteembenadering.

Een analyse van het stroomgebied van de Regge (hoofdstuk 4)

Voor het stroomgebied van de Regge zijn de geologische genese, de occupatiegeschiedenis en de hydrologische landschapsstructuur geanalyseerd. Bij dit laatste onderdeel is een onderscheid gemaakt tussen de grond- en oppervlaktewaterstromingsstelsels in een historische (circa eerste helft 19-e eeuw) en een huidige situatie (respectievelijk de figuren 4.14 en 4.24 en de figuren 4.26 en 4.27). Een vergelijking van beide situaties toont aan dat ingrijpende veranderingen zijn opgetreden. De belangrijkste van deze veranderingen zijn in figuur 4.25 geschematiseerd. Een aanzienlijk deel van de voormalige exfiltratiegebieden is verdwenen (figuur 4.28).

Vervolgens is een analyse gemaakt van de wijze waarop het grondgebruik ('natuurgebieden', waterwinning en landbouw) in de hydrologische landschapsstructuur is gepositioneerd en welke consequenties daaruit voortvloeien voor (de relaties tussen) deze grondgebruiksvormen. Uit de analyse komt een probleemdefinitie naar voren die kan worden opgevat als een uitwerking van de problematiek van de Nederlandse zandgebieden in algemene zin.

Het meest opvallend is de problematiek van de natuurgebieden. De hydrologische veranderingen - vergeleken met de historische situatie - gaan gepaard aan een afname van de differentiatie aan milieutypen in het gebied. Vooral het verdwijnen van gebieden

met natte condities is evident (figuur 4.33). Het voormalige netwerk van uitgestrekte, nauw met elkaar verbonden natte gebieden is uiteengevallen in een serie kleine geïsoleerde eenheden. De relaties met de zeer intensief urbaan en agrarisch gebruikte omgeving (vergelijk met figuur 4.35) betekent dat de toekomstperspectieven voor deze nog resterende natte gebieden niet rooskleurig zijn.

Het veelvuldig voorkomen van urbaan of agrarisch gebruik in de intrekgebieden van de waterwingebieden (figuur 4.34) betekent een bedreiging van de kwaliteit van het gewonnen water. Gezien de te verwachten groei van de vraag naar drinkwater en de bijdrage van de waterwinning in de verdrogingsproblematiek, zal het vraagstuk rond de winning van water steeds nijpender worden.

Planvorming op het strategische niveau (hoofdstuk 5)

Bij de planvorming op het strategische niveau is ervoor gekozen om uit te gaan van het casco-concept. Als gevolg van deze keuze staat het ontwerp van een landschappelijk 'raamwerk' dat duurzame randvoorwaarden schept voor de ontwikkeling van de meest bedreigde vormen van grondgebruik centraal. De op de hydrologie gebaseerde planningsmaatregelen kunnen daarbij worden benut om dit raamwerk zodanig in de hydrologische landschapsstructuur te situeren, dat:

- negatieve beïnvloeding van het raamwerk via de stroming van water vanuit de omgeving wordt voorkomen of wordt geminimaliseerd;

- de randvoorwaarden ontstaan voor de ontwikkeling en instandhouding van de voor de betreffende gebieden karakteristieke milieudiversiteit en landschappelijke patronen.

Het plan (figuur 5.6) is via een stapsgewijze procedure tot stand gekomen. Het scheppen van gunstige randvoorwaarden voor herstel en ontwikkeling van gebieden met natte milieufacties heeft daarin een centrale rol gespeeld. Het herstel en de duurzame bescherming van de voornaamste grondwaterstromingsstelsels is hiervoor een essentiële conditie. In de eerste stap van de planvorming is voorgesteld deze conditie te realiseren door de in- en uitgangen van de betreffende stromingsstelsels als natuurgebieden in het raamwerk op te nemen (figuur 5.1). Nog resterende natte gebieden vertegenwoordigen - ondanks de bedreigingen - in het licht van de hier gestelde planningsopgave een belangrijk potentieel. De belangrijkste van deze gebieden, alsmede de gebieden die nodig zijn voor de bescherming daarvan, zijn in de tweede planvormingsstap in kaart gebracht (figuur 5.4). Tenslotte is in de laatste stap een aantal van de karakteristieke patronen van heken en beekdalen aan het plan toegevoegd (figuur 5.5).

Het uiteindelijke plan omvat een serie ruimtelijk aan elkaar gerelateerde gebieden die een afspiegeling vormen van de voornaamste abiotische patronen in het stroomgebied van de Regge (figuur 5.6). Door toepassing van de planningsmaatregelen uit de watersysteembenadering voor landschapsplanning zijn gebieden in het raamwerk opgenomen die via hydrologische relaties met elkaar samenhangen, opdat ze als een min of meer zelfstandige eenheid kunnen functioneren. Uit de figuren 5.6 en 5.7 blijkt voorts dat het plan perspectieven biedt voor het gehele scala aan milieufacties dat het gebied oorspronkelijk heeft gekenmerkt. Gebieden met overeenkomstige en gebieden met elkaar opeenvolgende reeksen van verschillende milieufacties (gradiënten) kunnen tot ontwikkeling komen.

Planvorming op het operationele niveau (hoofdstuk 6)

De planvorming op het operationele niveau omvat het ontwikkelen en evalueren van inrichtingsvoorstellen voor een combinatie van drinkwaterproductie met de ontwikkeling van (nieuwe) natte natuurgebieden. Deze studie heeft geresulteerd in het 'Voorbeeldplan NADORST'. Het studiegebied is een hydrologisch samenhangend deel van het stroomgebied van de Regge (figuur 6.1). Er is een computer-model gebruikt waarmee de grondwaterstromingen en daarin optredende veranderingen kunnen worden gesimuleerd.

De planvorming volgt de watersysteembenadering voor landschapsplanning. Dit resulteert in een werkwijze met een analyse- en twee ontwerp-fasen (figuur 6.2). In de analyse zijn de belangrijkste abiotische, biotische en antropogene patronen en processen besproken. De hydrologische analyse neemt daarin een centrale plaats in (figuren 6.6 en 6.7). De eerste ontwerp-fase heeft een strategisch karakter en omvat een systemati-

sche verkenning van de ontwikkelingsmogelijkheden van het plangebied. Hiertoe zijn 'ruimtelijke modellen' afgeleid via 'herordening' van het grondgebruik op basis van de hydrologische landschapsstructuur (figuur 6.8). Deze modellen zijn (hydrologisch) geëvalueerd (figuren 6.9 t/m 6.11) om een keuze te kunnen maken voor een ontwikkelingsrichting van het gebied. In de tweede ontwerp-fase is deze richting - in een cyclische afwisseling met de hydrologische evaluatie - uitgewerkt tot een inrichtingsplan. Hierbij zijn planingsmaatregelen voorgesteld die ingrijpen op de bestaande hydrologische landschapsstructuur. Het betreft de introductie van een nieuw waterproductiegebied (figuur 6.14), wijzigingen van het oppervlaktewaterstelsel (figuur 6.15) en veranderingen in het bodemgebruik. De hydrologische condities zijn gesimuleerd (figuren 6.16 t/m 6.18) en de voornaamste implicaties voor waterwinning (tabel 6.2; figuur 6.19) natuur (figuren 6.20 en 6.21) en landbouw (figuur 6.22) zijn aangegeven. Het landschapsplan (figuur 6.23) geeft een ruimtelijke vertaling van de voorgestelde maatregelen.

De voorbeeldstudie maakt duidelijk dat er mogelijkheden zijn om de productie van drinkwater te combineren met de ontwikkeling van (nieuwe) natte natuurgebieden. Cruciale aandachtspunten blijken de techniek, de lokatie en de omvang van de waterwinning en de inrichting van het oppervlaktewaterstelsel. Door deze factoren af te stemmen op de kenmerken van de hydrologische landschapsstructuur, blijft de beïnvloeding daarvan beperkt en kan herstel naar een meer 'natuurlijke' toestand optreden. Is zo'n situatie eenmaal bereikt, dan is de belangrijkste basis voor strijdigheid tussen 'waterwinning' en 'natuur' verdwenen. Vanuit dit perspectief bezien heeft het realiseren van een combinatie van waterwinning en natuurontwikkeling dan ook een belangrijke strategische betekenis voor de aanpak van het verdrogingsvraagstuk in de Nederlandse zandgebieden.

EPILOOG (Hoofdstuk 7)

De resultaten van het onderzoek

De ecologisch-functionele betekenis van water voor landschapsplanning is in dit proefschrift uitgewerkt. Twee concepties, de hydrologische landschapsstructuur en de watersysteembenadering voor landschapsplanning zijn daarbij geïntroduceerd. Het proefschrift kan daarmee worden opgevat als een hydrologische interpretatie van de 'landschapsecologisch' georiënteerde landschapsplannings-traditie die vooral onder invloed van het werk van McHarg tot ontwikkeling is gekomen.

De voorbeeldstudies uit dit proefschrift tonen aan dat op basis van hydrologische kennis landschapsplannen kunnen worden ontworpen. De 'watersysteembenadering voor landschapsplanning' is een methodiek om deze kennis op gesystematiseerde wijze in het ontwerpproces te integreren.

Op deze wijze kunnen inzichten omtrent één van de meest cruciale factoren voor het functioneren van landschappen planvormend worden benut. Kennis van het ruimtelijk relatiestelsel ten gevolge van de stroming van water leidt tot een beter begrip van de problematiek in het landschap en de mechanismen die daarvoor verantwoordelijk zijn. De patronen die samenhangen met de hiërarchisch geordende hydrologische landschapsstructuur vormen dankbare aanknopingspunten voor het ontwerp van een herkenbaar landschap, waarin de onderliggende functionele structuur tot expressie wordt gebracht. Bijvoorbeeld in de vorm van ecologische netwerken die de differentiatie van milieucondities in het gebied omvatten en tevens zo goed mogelijk zijn gevrijwaard van storende relaties via de stroming van water. Het gecombineerd tot ontwikkeling brengen van waterwingebieden en (natte) natuurgebieden kan een bundeling van krachten betekenen in de strijd tegen de verdroging.

De gebieden met natte milieucondities hebben voor landschapsplanning in de Nederlandse zandgebieden een strategische betekenis. In deze lage en natte gebieden komen - in verband met hun specifieke ruimtelijke positie aan de uitgangen van grondwaterstromingsstelsels en hun relatie met de oppervlaktewaterstromingsstelsels - een

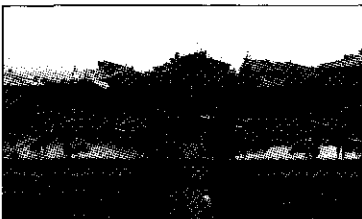
groot deel van de problemen uit deze landschappen samen. Gezien de ligging aan de drainage-basis van de betreffende hydrologische stromingsstelsels hebben deze natte laagten een belangrijke conditionerende werking op gebieden 'hoger' in het landschap. Met andere woorden, het scheppen van gunstige condities voor de ontwikkeling van deze natte gebieden betekent doorgaans een herstel van de ecologische kwaliteit van het landschap in breder verband. Het zoeken naar oplossingen voor de problemen in de Nederlandse zandgebieden krijgt op deze wijze een voor de hand liggend startpunt. De planningsarbeid kan in eerste instantie worden geconcentreerd op hetgeen één van de zwakste, maar tevens ook een van de meest bepalende schakels in de keten van het landschap toeschijnt.

1 PROLOOG

1.1 Water en landschapsarchitectuur

1.1.1 De esthetische betekenis van water

Water speelt - al van oudsher - een belangrijke rol bij de vormgeving en inrichting van onze leefomgeving. De vele gunstige eigenschappen van water liggen daaraan ten grondslag. Klassiek is het gebruik van de specifieke visuele en auditieve kenmerken van water in het ontwerp van tuinen en parken (Jellicoe and Jellicoe, 1971; Campbell, 1978). In samenhang met deze zintuiglijk ervaren kwaliteiten is het water ook om zijn mystieke, verwijzende betekenis toegepast¹. De tuinen van het Alhambra in Spanje (circa 1330-1390), die van de keizerlijke paleizen in Peking (17e -18e eeuw) en Kyoto (circa 1620 -1663), van de villa's d'Este (1550) en Lante (circa 1566) uit de Italiaanse barok, van Versailles bij Parijs (17e eeuw), van Stourhead (1714-1764) in Engeland en het Lovejoy Plaza in Portland, Oregon (1966) zijn voorbeelden uit een baaierd van culturen en perioden waarin de esthetische kwaliteiten van water steeds weer op een eigen wijze tot expressie zijn gebracht (figuur 1.1).



*Figuur 1.1.
Het gebruik van de esthetische aspecten van water bij de vormgeving van de leefomgeving. Vier voorbeelden uit verschillende perioden en culturen: het Alhambra (14-e eeuw), Villa Lante (16-e eeuw), Stourhead (18-e eeuw) en Lovejoy Plaza (20-e eeuw).*

*Figure 1.1.
The use of the aesthetic qualities of water for the design of the environment. Four examples from different periods and cultures: the Alhambra (14-th century), Villa Lante (16-th century), Stourhead (18-th century) and Lovejoy Plaza (20-th century).*

Diverse auteurs hebben gepoogd de esthetische kwaliteiten ook op een schaal van het landschap te classificeren en voor de planvorming toepasbaar te maken. Zie hiervoor bijvoorbeeld Burton Litton et al. (1974). In Nederland is hieraan aandacht besteed in het kader van de zogenaamde SWNBL-studie². Dit heeft onder andere geresulteerd in een indeling van de Nederlandse landschappen op grond van de visueel-ruimtelijke betekenis van het water en het waterbeheer (De Jongh en Vaessen, 1985) en in een studie over de beleving van het water in de Krimpenerwaard (Coetier et al., 1986). Gedurende het SWNBL-onderzoek is evenwel de overtuiging gegroeid dat bij het ontwikkelen van een visie over de wijze waarop in de landschapsplanning met het water en het waterbeheer dient te worden omgegaan, de focus op alleen visueel-ruimtelijke aspecten te beperkt is (De Jongh et al., 1986)³. In de laatste twee studies binnen het thema "water en landschap(sbeeld)" van de SWNBL-studie (Farjon et al., 1990-a; Farjon et al., 1990-b), heeft deze vaststelling geleid tot een bredere benadering van de landschapsplanning op hydrologische grondslag. Dit is het perspectief van waaruit ook in het onderhavige proefschrift het water wordt beschouwd.

1.1.2 De ecologisch-functionele betekenis van water

Landschapsplanning op hydrologische grondslag impliceert - naast de visueel-ruimtelijke en de poëtische kwaliteiten - het benutten van wat de "ecologisch-functionele" betekenis van het water kan worden genoemd. Hierbij staan de hydrologische processen, de daaruit voortvloeiende relaties in ruimte en tijd en de resulterende milieucondities en ruimtelijke patronen in het landschap centraal. Simonds (1983) verwijst naar deze betekenis wanneer hij de voordelen voor landschapsplanning signaleert die zijn verbonden aan de beschouwing van complete stroomgebieden⁴. Ferguson (1983; 1985; 1987; 1992) pleit voor een geïntegreerde kijk op hydrologische processen als basis voor planvorming⁵, waarbij hij naar analogie van de landschapsecologie de term "landscape hydrology" introduceert. In een essay over een nieuwe esthetica voor stads- en landschapsontwerp verbindt Spirm (1988) de potenties van de visuele, poëtische en ecologisch-functionele kwaliteiten van het water voor inrichting en vormgeving⁶. Ook Toth (1990) onderschrijft de potenties van hydrologische systemen als basis voor planvor-

ming. Hij stelt zelfs voor op basis daarvan nieuwe 'landschapspatronen' te ontwerpen⁷. De ecologisch-functionele betekenis van water heeft overal ter wereld en altijd een rol gespeeld bij occupatieprocessen. Niet voor niets is de beschikbaarheid van voldoende, zoet water daarbij één van de meest bepalende vestigingsfactoren geweest. Niettemin is de bewuste aandacht voor dit aspect vanuit het perspectief van de landschapsplanning betrekkelijk nieuw⁸. Illustratief hiervoor is bijvoorbeeld de studie van Blom en Osinga (1986) van negen adviezen landschapsbouw uit de periode 1981-1985. In de betrokken adviezen blijft de aandacht voor water beperkt tot de presentatie van kaarten van waterlopenstelsels en grondwatertrappen. Slechts in één van de deeladviezen wordt, via een isohypsenkaart, ingegaan op de grondwaterstroming. In de probleemstelling en de planvorming wordt evenwel nauwelijks op deze informatie ingespeeld.

Na het midden van de jaren tachtig komt er verandering in deze situatie. Er verschijnen publicaties die getuigen van de toegenomen belangstelling voor de ecologisch-functionele kwaliteit van water in de ruimtelijke planvorming⁹ (zie bijvoorbeeld: Anonymus, 1985-a; Kuiper en Jongman, 1985; De Bruin et al., 1987; De Zeeuw et al., 1987; Anonymus, 1989-a; Harsema, 1989; Smeets et al., 1989). Meer specifiek wordt geconstateerd dat 'het water' voor de landschapontwikkeling van de zandgebieden een doorslaggevende rol speelt (zie Kerkstra en Overmars, 1985; Van Buuren, 1986; Anonymus, 1987-a; Kerkstra en Vrijlandt, 1988; Farjon et al., 1990-a; Farjon et al., 1990-b; Van Buuren et al., 1991). Dit was dan ook het moment om te starten met de systematische verkenning van de ecologisch-functionele betekenis van water voor de landschapsplanning die heeft geleid tot onderhavig proefschrift.

De keuze om de ecologisch-functionele betekenis van water voor landschapsplanning centraal te stellen, tenslotte, impliceert een aansluiting bij de 'landschapsecologisch' georiënteerde landschapsplanningstraditie die met name onder invloed van het werk van McHarg ("Design with Nature", 1969) tot ontwikkeling is gekomen. In het huidige planningsdebat staat deze planningsoriëntatie volop in de aandacht, getuige de discussies rond duurzame ontwikkeling, ecologische hoofdstructuur, natuurontwikkeling en de ecologie in de stad (zie bijvoorbeeld: Vroom, 1981; Spirn, 1984, 1988; Steiner, 1991; Farjon, 1990-a en -b; Toth, 1990; Harms et al., 1991; Cook and Hirschman, 1991; Tjallingii, 1993; Harms, 1995; Kamphuis et al., 1995; Tjallingii, 1996)¹⁰.

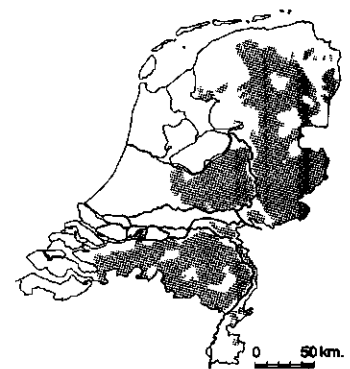
1.2 De zandgebieden van Nederland

1.2.1 De landschappen in de zandgebieden

De 'zandgebieden' is een verzamelnaam voor de landschappen met voornamelijk zandgronden in Noord-, Oost-, Midden- en Zuid-Nederland (figuur 1.2; Keuning, 1955; Anonymus, 1965).

Hoewel van eerdere bewoning en ontginning sprake is geweest (Bloemers et al., 1981), nam de voor het huidige landschap belangrijkste occupatie van de zandgebieden in het begin van de Middeleeuwen een aanvang (Keuning, 1955; Lambert, 1971; Hendrikx, 1989). De landschapstypen die hierbij zijn gevormd worden aangeduid als het esdorpen- en het kampenlandschap (Bijhouwer, 1971)¹¹.

In deze landschapstypen kunnen de volgende karakteristieke en onderling samenhangende functionele en ruimtelijke eenheden worden onderscheiden: de akkers of essen, de wei- en hooilanden, de (heide)velden en de nederzettingen¹². De natuurlijke condities waren van doorslaggevende betekenis voor de situering en onderlinge relaties van deze eenheden. De van nature meest vruchtbare gronden met goede waterhuishoudkundige eigenschappen werden als akker of es in gebruik genomen. De lager gelegen vochtig tot natte beekdalgronden dienden als weide- of hooilanden. De velden (doorgaans te weinig vruchtbaar en te nat of te droog om in cultuur te nemen) werden beweid met schapen en gebruikt voor strooisel-winning. De nederzettingen kwamen tot ontwikkeling op de overgang van de hogere naar de lagere gronden: op droge plekken, maar binnen het bereik van (grond)water.



Figuur 1.2
De pleistocene zandgebieden van Nederland.

Figure 1.2
The pleistocene sandy areas of the Netherlands. These areas are characterised by sandy soils, developed in pleistocene deposits.

1.2.2 Ontwikkelingen in de zandgebieden

Onder invloed van maatschappelijke ontwikkelingen zijn de landschappen van de zandgebieden steeds aan veranderingen onderhevig geweest. Slicher van Bath (1957; 1977) en Bieleman (1987) wijzen op deze dynamiek¹⁵ die zich onder andere uitte in een afwisseling van perioden waarin cultuurgronden werden verlaten en perioden van herontginning. Tot in de eerste helft van de 19e eeuw lieten dergelijke veranderingen de ruimtelijke karakteristieken van de zandgebieden evenwel intact.

Vanaf het midden van de 19e eeuw ondergaan de zandgebieden, onder invloed van agrarische en urbane processen, snelle en ingrijpende veranderingen. Gestuurd door met name technologische en economische ontwikkelingen wijzigt de aard van de landbouw zich fundamenteel. Daarbij verdwijnt de functionele samenhang tussen de ruimtelijke eenheden uit het traditionele landschap. De woeste gronden worden in cultuur genomen. De landbouwkundige productie intensiveert en vertoont een schaalvergroting. Het ruimtebeslag voor steden, dorpen en infrastructuur neemt sterk toe. Deze veranderingen leiden uiteindelijk tot uniformering en fragmentering van de oorspronkelijk landschapspatronen (Anonymus, 1980; Kerkstra en Overmars, 1985; Buitenhuis et al., 1986; Dirxx en De Veer, 1988; Kerkstra en Vrijlandt, 1988; De Regt, 1989; Van Buuren et al., 1991).

Door Kerkstra en Overmars (1985) is dit proces treffend geïllustreerd voor het centrale deel van de Achterhoek (figuur 1.3). Het oorspronkelijke landschap van de zandgebieden kende een duidelijke, mede door de samenhang tussen gebruik en abiotische condities bepaalde structuur. De met houtwallen omzoomde, fijnkorrelige patronen van de cultuurgronden vormden een sterk contrast met de uitgestrekte 'woeste' gronden met grote ruimtematen (figuur 1.3-a). In de huidige situatie (figuur 1.3-b) is deze oorspronkelijke landschapsstructuur geüniformeerd en gefragmenteerd, vooral door het verdwijnen van gebieden met (extreem) kleine en (extreem) grote ruimtematen.

Achter deze ontwikkeling in de zandgebieden gaat een scala aan milieuproblemen schuil. De belangrijkste daarvan zijn:

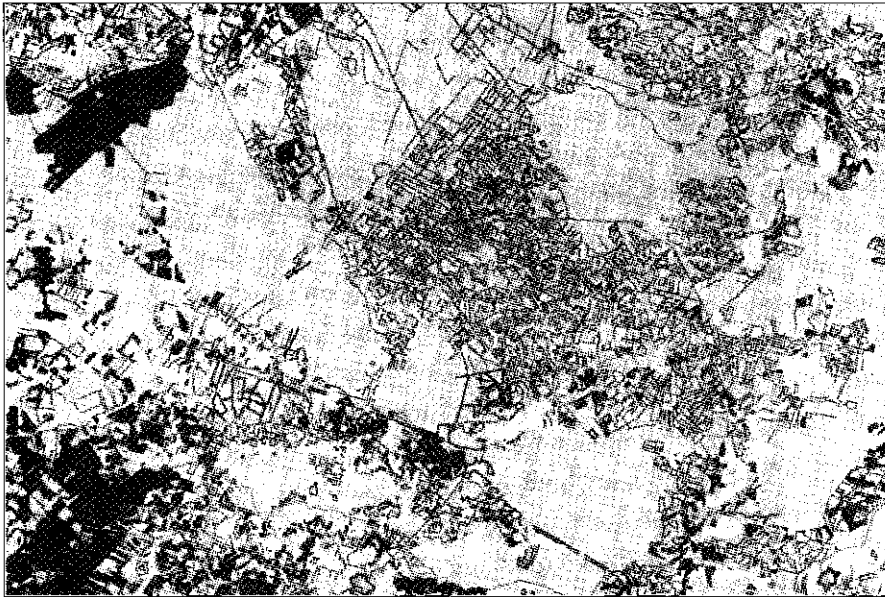
- een nivellering van milieuecondities en -verschillen voor wat betreft voedselrijkdom en vochtigheid (zie bijvoorbeeld: De Molenaar, 1980; Anonymus, 1981; Baaijens, 1985; Weinreich en Musters, 1989; Van Beusekom et al., 1990; Verdonschot, 1990; Anonymus, 1993-a; Bink et al., 1994);
- een afname van de diversiteit en kwantiteit van flora en fauna (zie bijvoorbeeld: Westhoff et al., 1973; De Molenaar, 1980; Anonymus, 1981; Bloemendaal en Roelofs, 1988; Weinreich en Musters, 1988; Bink et al., 1994);
- een aantasting van de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater en het oppervlaktewater (zie bijvoorbeeld: Vissers et al., 1985; Braat et al., 1987; Van Duijnboden et al., 1987; De Wit en Bleuten, 1988; Van Amstel et al., 1989; Beugelink et al., 1989; Leuven en Bles, 1989; Rolf, 1989; Engelen et al., 1990);
- een bedreiging van het agrarische productie-milieu (Van der Weijden et al., 1984; Van der Stee, 1989; De Wit, 1989; De Zeeuw en Albrecht, 1990);
- een vermindering van de recreatieve toegankelijkheid (Van der Voet, 1987);
- een achteruitgang van de vitaliteit van bossen (Oosterbaan en Van den Burg, 1988; Zwart, 1989).

Dit samenhangende complex van problemen vormt de achtergrond waartegen het onderhavige onderzoek dient te worden geplaatst.

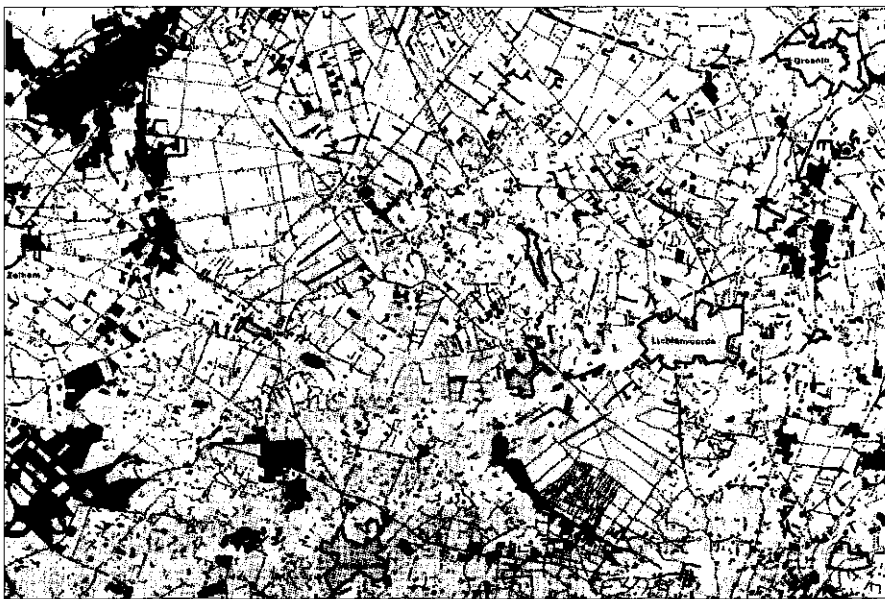
1.2.3 Een spanningsveld van grondgebruikscategorieën

De problematiek als beschreven voor de zandgebieden laat zich typeren in termen van het door Kerkstra en Vrijlandt (1988) voorgestelde spanningsveld tussen categorieën van grondgebruik¹⁶ (vergelijk De Bruin et al., 1987; Sijmons, 1991). Zij onderscheiden enerzijds vormen van grondgebruik met relatief lange ontwikkelingstijden, die continuïteit in ruimte en tijd vereisen en die voornamelijk onder de verantwoordelijkheid van overheden vallen (de 'laagdynamische vormen van grondgebruik').

Anderzijds zijn er grondgebruiksvormen die relatief frequent (technische) aanpassingen van het landschap vereisen en waarbij beslissingen van individuen op basis van eco-



a. Kenmerkend voor de situatie uit 1852 zijn de contrasten tussen de kleine ruimtematen van de cultuurgronden en de grote open ruimten van de 'woeste' gronden.
 a. The situation in 1852 is characterised by clear contrasts between the enclosed cultivated areas and the large open tracts of the uncultivated areas.



b. Het kaartbeeld uit 1975 vertoont een uniform en gefragmenteerd patroon zonder duidelijke verschillen in ruimtematen.
 b. The map from 1975 reflects uniform and fragmented patterns, in which the former contrasts between enclosed and open areas disappeared.

Figuur 1.3
Het patroon van bossen, houtwallen en andere beplantingen van het centrale deel van de Achterhoek in 1852 (a) en 1975 (b).

Figure 1.3
The patterns of forests, hedgerows, and tree-plantations of the Achterhoek region in the eastern part of the Netherlands in 1852 (a) and 1975 (b) and open areas disappeared.

Bron/Source : Kerkstra en Overmars, 1985.

nomische overwegingen doorslaggevend zijn (de 'hoogdynamische vormen van grondgebruik')¹⁵.

Aan de basis van het spanningsveld tussen 'hoog'- en 'laagdynamische' vormen van grondgebruik ligt de waarneming van een fundamentele tegenstrijdigheid in de aanspraken uit de samenleving op de (natuurlijke) leefomgeving. Enerzijds zijn mensen als organismen in biologisch en emotioneel opzicht afhankelijk van de natuur. Anderzijds biedt de natuur niet zonder meer een woonplaats; de mens moet zich die scheppen via transformatie van de natuur (Heidegger, 1971; Schuurman, 1972; Spirn, 1988; Toulmin, 1990). Het landschap kan vanuit deze visie worden opgevat als "verbouwde, getransformeerde natuur" (Kleefmann, 1984). De intensiteit waarmee momenteel de transfor-

matie plaats vindt, bedreigt evenwel de mogelijkheden om emotionele en biologische relaties met de natuur te onderhouden, en daarmee één van de fundamentele bestaansvoorwaarden voor alle vormen van leven. In zijn boek 'Het verlangen naar de natuur' refereert Thomas (1990) aan deze tegenstrijdigheid wanneer hij concludeert: "De vroege nieuwe tijd (begin 19e eeuw - MvB) heeft dus gevoelens voortgebracht die het voor de mens steeds lastiger zouden maken zich te kunnen vinden in de niets ontziende methoden waarmee de dominantie van hun soort verworven was. Aan de ene kant zagen zij een onmetelijke toename in comfort, lichamenlijk welzijn en gezondheid van mensen; aan de andere kant namen ze een meedogenloze uitbuiting van andere vormen van bezielend leven waar. Er bestond dus een groeiend conflict tussen de nieuwe gevoeligheden en de materiële grondslagen van de menselijke samenleving. Een mengeling van compromissen en verheimelijking heeft tot dusverre verhindert dat het noodzakelijk werd dit conflict helemaal op te lossen. De kwestie kan echter niet geheel en al ontweken worden en het is zeker dat zij weer opduikt. Men zou kunnen zeggen dat het een van de tegenstellingen is waarop de moderne beschaving is gegrondvest. Naar de uiteindelijke gevolgen ervan kunnen we slechts gissen." (p. 319). Ook Kleefmann en Van der Vlist (1989) refereren aan deze tegenstrijdigheid wanneer zij spreken van het spanningsveld tussen ruimtelijke dynamiek en fysieke duurzaamheid.

Kijken we vanuit dit perspectief naar de (recente) ontwikkelingen in de zandgebieden dan kan worden gesteld dat de intensieve en dynamische ontwikkelingen, voortvloeiend uit de 'hoogdynamische' grondgebruikscategorie, de landschappen domineren. De koppeling tussen de aard en de locatie van het grondgebruik en de natuurlijke patronen en processen - eens kenmerkend voor het goeddeels in de middeleeuwen gevormde landschap - is voor een belangrijk deel verloren gegaan. De kwetsbare, het meest aan de (natuurlijke) abiotische condities gebonden vormen van grondgebruik staan onder grote druk¹⁶. Het zijn met name de (natuur)gebieden met natte tot vochtige milieuomstandigheden die zijn verdwenen. Daarnaast wijzen de milieuproblemen op een zodanige exploitatie van het natuurlijke systeem, dat de gebruiksmogelijkheden van het landschap voor bijvoorbeeld de drinkwaterwinning en ook de landbouw worden bedreigd.

1.2.4 De rol van het water

Het water, c.q. de hydrologische processen en de daaruit resulterende ruimtelijke relaties in het landschap, speelt in de problematiek van de zandgebieden een centrale rol. Cruciale relaties tussen delen van het landschap ten gevolge van hydrologische stromingsprocessen zijn verloren gegaan, geïntensiveerd of geëxtensiveerd, of hebben - ten gevolge van de wijzigingen in de getransporteerde agentia - een andere inhoud gekregen. Soms zijn ook nieuwe samenhangen ontstaan. Een evidente illustratie vormt het vraagstuk van de 'verdroging', dat duidt op structurele (grond)waterstandsverlagingen (Braat et al., 1987; Van Amstel, et al., 1989; Rolf, 1989)¹⁷. De verdroging van het landschap leidt tot een afname van het areaal met natte tot vochtige milieuomstandigheden (Anonymus, 1993-a). Tegelijkertijd verdwijnt hiermee ook een wezenlijke component van de gradiëntsituaties die de oorspronkelijke landschappen van de zandgebieden karakteriseerden (Westhoff et al., 1973; Baaijens, 1985). Een belangrijk deel van de nog resterende natte milieu's is zódanig in het landschap gepositioneerd dat beïnvloeding vanuit het omringende intensief gebruikte landschap onvermijdelijk is¹⁸. Deze ontwikkeling ligt aan de basis van de afname en de bedreiging van de planten- en dierensoorten van de natte tot vochtige milieu's (Weinreich en Musters, 1988; Bink et al., 1994; Grootjans, 1985).

De verdroging betekent voorts dat de patronen van beekdalen en overstromingsvlakten uit het oorspronkelijke landschap verbrokken raken en nauwelijks meer herkenbaar zijn (Van Buuren, 1993, 1994-a en 1994-b; zie ook Wolfert, 1991). De fundamentele, abiotische structuur van het landschap komt hierdoor steeds minder in het ruimtelijk beeld tot expressie. Dit is een van de factoren die bijdraagt aan de uniformering en fragmentering van het landschap in de Nederlandse zandgebieden. In hoofdstuk 5 wordt uitgebreid op deze ontwikkeling ingegaan.

1.3 Theoretische oriëntatie van het onderzoek

1.3.1 Landschapsplanning en het ontwerpproces

Landschapsplanning is hier opgevat als een vorm van ruimtelijke planvorming gericht op het ontwerpen van concrete voorstellingen van het landschap¹⁹. Het begrip kan worden vergeleken met het uit de Angelsaksische literatuur bekende 'Landscape Planning' (vergelijk ook: Hacket, 1971; Laurie, 1975; Lovejoy, 1979; Marsh, 1983; Simonds, 1983; Steiner, 1991). De hier gebruikte interpretatie van de landschapsplanning verwijst naar twee van de door Laurie (1975) onderscheiden toepassingsvelden binnen de landschapsarchitectuur, te weten de "landscape evaluation and planning" en de "site planning". Het eerste veld omvat "the systematic study of large areas of land and has a strong ecological and natural science base in addition to a concern for visual quality. The history of human use and scurrent demands represents a third subject area for analysis. ... The result is a land use plan or policy recommending the distribution and type of development, for example, housing, industry, agriculture, highway alignment, and recreation within a framework of resource and amenity conservation. The study area ideally coincides with a natural physiographic region, such as the watershed of a major river or some other logical unit of land, but unfortunately these seldom coincide with county and state boundaries" (Laurie, 1975; p. 11). "Site planning is the process in which the characteristics of the site and the requirements of the program for its use are brought together in creative synthesis. Elements and facilities are located on the land in its functional and aesthetic relationships and in a manner fully responsible to program, site and regional context" (Laurie, 1975; p 11). Elementen van beide door Laurie omschreven velden van toepassing zullen in de loop van dit onderzoek aan de orde komen.

Het ontwerpen

Het ontwerpen vormt de centrale activiteit binnen de landschapsplanning²⁰. Hoewel het ontwerpen zich moeilijk scherp laat definiëren²¹, zijn er vanuit de architectuurtheorie pogingen ondernomen om systematische ontwerpmethoden te ontwikkelen (zie bijvoorbeeld Alexander, 1964; Focqué, 1975; Jones, 1970; Lang, 1987; Rowe, 1991). Volgens Lang (1987) omvat een theorie over het ontwerpen van de leefomgeving een viertal componenten. Zoals de matrix uit figuur 1.4 weergeeft, maakt hij een onderverdeling tussen "positive" of "normative" kenniselementen, die beide van een "procedural" of een "substantive" aard kunnen zijn.

De positieve aspecten van het ontwerpen

De positieve aspecten van het ontwerpen verwijzen naar objective kenniselementen die volgens Lang (1987) moeten bestaan uit "logically related, complete, internally consistent and externally valid definitions and explanations" (p. 17).

De substantiële kennis in dit verband betreft de kennis van onze natuurlijke en gebouwde leefomgeving en de rol die deze spelen in de samenleving. Binnen de positieve, substantiële kennis bestaat nog het onderscheid tussen de "natural environmental theory" en de "person-environment theory". "Natural environmental theory deals with the physical, chemical, and geological nature of the surroundings of people and other organisms. ... The purpose for the development of this aspect of positive theory is to provide the knowledge base for the understanding how the environment can be structured in different ways and how the physical nature of these structures interacts with other aspects of the environment. ... It is here that the focus of concern of the individual design professions, rightly or wrongly, differentiates them. Landscape architects have a much greater understanding of the processes of some aspects of the natural world than architects have" (Lang, 1987; p 18). Hydrologische kennis behoort tot de "natural environmental theory".

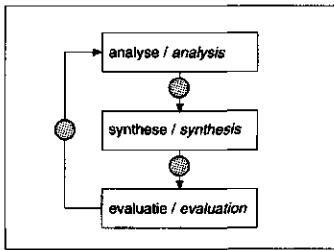
De positieve, procedurele kennis is gericht op de identificatie van objectieveerbare, rationele stappen in het ontwerpproces en betreft dus de methodologie van het ontwerpen. Een gezamenlijk element uit de vele ontwerpmethoden die zijn geopperd

Subject Matter of Theory	Orientation of Theory	
	Positive	Normative
Procedural		Professed
		Practiced
Substantive		Professed
		Practiced

Figuur 1.4
Het model van Lang voor de theorievorming over het ontwerp van de leefomgeving. Hij maakt daarbij een onderscheid tussen een oriëntatie op 'positieve' en 'normatieve' kenniselementen die beide van een 'procedurele' of 'substantiële' aard kunnen zijn.

Figure 1.4
The model concerning the major components of architectural theory as proposed by Lang. In this model a 'positive' and a 'normative' orientation of theory are distinguished. The subject matter of theory may be of a 'substantial' or a 'procedural' nature.

Bron / Source : Lang, 1987.



● moment in het proces waarin normatieve elementen een rol spelen (maken van keuzes, "creatieve sprongen", etc.) / stage in the design process dominated by normative decisions (choices, "creative leaps", etc.).

Figuur 1.5

Het ontwerpproces kan schematisch worden voorgesteld als een cyclische afwisseling van drie procedurele elementen: analyse, synthese en evaluatie. Normatieve inzichten geven richting aan het proces.

Figure 1.5

A schematic representation of the design process: a cyclic alternation of analysis, synthesis and evaluation, directed by normative decisions.

(Alexander, 1964; Foqué, 1975; Jones, 1970; Lang, 1987; Rowe, 1991) is de cyclische opeenvolging van analyse, synthese en evaluatie (figuur 1.5). Hypothese-stellende - het ontwerpen *sensu stricto* - en hypothese-toetsende elementen - de terugkoppeling van het ontwerp naar de initiële opgave - wisselen elkaar in die benaderingswijze af (vergelijk Kleefmann, 1984; Lang, 1987)²².

In de sequentie van hypothese-stellende en hypothese-toetsende elementen binnen het ontwerpproces worden de contouren zichtbaar van de door De Groot (1961) in zijn studie over de methodologie van het wetenschappelijk onderzoek voorgestelde "empirische cyclus". Deze omvat de fasen: observatie, inductie, deductie, toetsing en evaluatie. Beerling et al. (1972) stellen hieromtrent: "Het cycluskarakter komt daarin tot uiting dat met de toetsing en evaluatie opnieuw observaties gemoeid zijn, die weer uitmonden in inducties, deducties, enz. Het consequente verloop van deze hele werkwijze maakt het wetenschappelijke gehalte ervan uit." (p. 62).

De toepassing van systematische methoden heeft het wetenschappelijk karakter van het ontwerpen vergroot. Niet alleen omdat op deze wijze de toepassing van wetenschappelijke kennis in het ontwerpen zijn intrede heeft gedaan. Ook de expliciete, consequente beschrijving van de uitgevoerde (ontwerp)activiteiten, die de methoden mogelijk hebben gemaakt, levert daaraan een bijdrage. Het ontwerpproces kan, mits systematisch en expliciet uitgevoerd, als een methode voor het verrichten van wetenschappelijk onderzoek worden beschouwd (vergelijk Kleefmann, 1984; Lang, 1987)

De normatieve aspecten van het ontwerpen

In het ontwerpen spelen naast objectieve kennis ook andere aspecten een rol. Het gaat hier om "the different positions that have been taken or might be taken on what the built environment and/or the design process should be. It is concerned with the views of different designers or schools of design on what the role of the designer is, what a good environment is, and how the design process should be carried out" (Lang, 1987; p. 19).

Substantiële, normatieve aspecten hebben betrekking op de selectie van kennis over de leefomgeving die voor een bepaalde planningsopgave van belang wordt geacht. Het centraal stellen van hydrologische kennis in dit proefschrift is zo'n keuze.

Omtrent de procedurele, normatieve aspecten constateert Lang (1987): "The processes of designing can be subjected to detailed, if not scientific, scrutiny, although they seldom have been. This does not mean that the design process can be scientific - by definition, design cannot be scientific. It means rather that the process can be described and explained using the methods of scientific or quasi-scientific research" (Lang, 1987; p. 19). Ook andere auteurs verwijzen naar deze normatieve aspecten (zie bijvoorbeeld Foqué, 1975; Kleefmann, 1984; Rowe, 1991).

Dit betekent dat analyse, synthese en evaluatie weliswaar als karakteristieke, in generieke termen te beschrijven elementen van het ontwerpproces kunnen worden voorgesteld, maar dat deze zijn ingebed in een normatieve context die voor de uiteindelijke uitkomst van het proces doorslaggevend is. Het ontwerpen omvat meer dan het op grond van gedegen, substantiële kennis en op systematische wijze, via expliciete procedures, afleiden van hetgeen "waarschijnlijk" of zelfs "mogelijk" is; het uiteindelijke doel is om uit te vinden wat "wenselijk" is (vergelijk De Jong, 1992)²³. De normatieve context voor onderhavig proefschrift omvat naast de reeds gememoreerde keuze voor het water als centraal punt van aandacht de hiervoor verwoorde interpretatie van de problematiek in de zandgebieden en de navolgende formulering van de opgave voor landschapsplanning.

1.3.2 Landschapsplanning en haar opgave

Het wezen van de architectonische opgave is reeds geformuleerd door Vitruvius (33-22 v. Chr)²⁴. Deze stelde dat een goed gebouw aan drie basis-voorwaarden moet voldoen, zijnde "utilitas" (= bruikbaarheid/functionaliiteit), "venustas" (= schoonheid) en "firmitas" (= hechtheid van de constructie)²⁵. De Vitruviaanse drie-eenheid heeft het ontwerp- en planningsdebat tot in de moderne tijd beïnvloed (Lang, 1987). In de Nederlandse planningsliteratuur vinden we deze bijvoorbeeld terug in de discussies

rondom het begrip 'ruimtelijke kwaliteit' (Anonymus, 1988-a; Dauvellier, 1991-a; Keijsers, 1994). In de Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening (Anonymus, 1988-a) wordt dit begrip in een drietal samenhangende factoren opgesplitst: gebruikswaarde, belevingswaarde en toekomstwaarde²⁶. De driedeling van Vitruvius is hierin zonder veel moeite te herkennen.

Een eigentijdse op het landschap betrokken interpretatie van de Vitruviaanse benadering treffen we aan bij Kerkstra en Vrijlandt (1988), Sijmons (1991) en de Visie Landschap (Anonymus, 1991-a). Zij transformeren de functionaliteits-, schoonheids- en hechtheids-dimensies in respectievelijk economische, esthetische en ecologische kwaliteiten²⁷. De hechtheids-dimensie is hierbij ruim geïnterpreteerd en onder de noemer van 'ecologische duurzaamheid' gebracht. Het daadwerkelijk integreren van de drie kwaliteits-aspecten is geen gemakkelijke opgave²⁸. Dit blijkt uit een aantal fundamentele dilemma's die in theoretische discussies over (landschaps-)planning en ontwerp veelvuldig terugkomen. Voorbeelden van deze dilemma's zijn: de vorm-functie dichotomie²⁹ en het spanningsveld tussen verschillende categorieën van grondgebruik, c.q. tussen duurzaamheid en dynamiek (Kleefmann en Kerkstra, 1986-a en 1986-b; Sijmons, 1987; Kerkstra en Vrijlandt, 1988; Kleefmann en Van der Vlist, 1989).

In het verlengde van bovenstaande stellingname omtrent de architectonische opgave wordt hier - in zeer algemene termen geformuleerd - de opgave van landschapsplanning gezien als het ontwerpen van landschappen met economische, esthetische en ecologische kwaliteiten. De door Kerkstra (1991) gegeven plaatsbepaling van de (landschaps)architectuur geeft vervolgens een richting aan voor de wijze waarop deze opgave kan worden aangepakt. Hij stelt: "Als wij de opgave van de ruimtelijke planning omschrijven als het zoeken van de best denkbare, wederkerige aanpassing van samenleving en ruimte, dan is de architectonische discipline binnen deze opgave gericht op de mogelijkheden tot aanpassing van de (fysiek) ruimtelijke orde aan de eisen van een veranderende samenleving. Architectuur problematiseert in eerste instantie niet de maatschappelijke aanspraken, maar de vorm van de ruimte." (pag 119-121).

Landschapsplanning richt zich vanuit deze visie op de situering van het grondgebruik en op de inrichting en de vormgeving van het landschap.

Op grond van deze benadering wordt het spanningsveld tussen de verschillende categorieën van grondgebruik opgevat als onveranderbare randvoorwaarde voor de planvorming. Daarmee wordt tot uitdrukking gebracht dat het spanningsveld zich niet via architectonische middelen laat 'oplossen'. De fundamentele aard en de verankering van het spanningsveld in onze samenleving ligt daaraan ten grondslag. Bij het ontwerpen van landschappen moet dan ook worden gezocht naar mogelijkheden om beide typen aanspraken tot hun recht te laten komen. Dit standpunt ligt overigens in het verlengde van het hoofddoel van de ruimtelijke ordening, zoals geformuleerd in de Derde Nota over de Ruimtelijke Ordening (Anonymus, 1977) - en bekrachtigd in de Vierde Nota (Anonymus, 1988-a):

"Het bevorderen van zodanige ruimtelijke en ecologische condities, dat:

- a. de wezenlijke strevingen van individuen en groepen in de samenleving zoveel mogelijk tot hun recht komen;
- b. de diversiteit, samenhang en duurzaamheid van het fysisch milieu zo goed mogelijk wordt gewaarborgd."

1.3.3 De landschapsplanningsopgave voor de zandgebieden

Vanuit de hiervoor beschreven optiek kan de problematiek van de zandgebieden worden geduid als een gebrekkige ruimtelijke situering van de onderscheiden categorieën van grondgebruik³⁰, waardoor deze elkaar in negatieve zin beïnvloeden. Zowel de ruimtelijke relaties tussen de vormen van grondgebruik als de wijze waarop deze op de aanwezige natuurlijke systemen zijn gesuperponeerd spelen daarbij een rol³¹.

Tegelijkertijd is duidelijk geworden dat de oorspronkelijke ruimtelijke structuur van de betreffende landschappen verloren is gegaan zonder dat daarbij een duidelijke, nieuwe ruimtelijke structuur is ontstaan. De fundamentele abiotische structuur van de betref-

fende landschappen komt steeds minder in het ruimtelijk beeld tot expressie. De opgave voor de landschapsplanning in de zandgebieden kan nu als volgt worden omschreven: het zodanig wijzigen van de locatie van het grondgebruik en van de inrichting van het landschap dat de betrokken vormen van grondgebruik duurzaam tot ontwikkeling kunnen komen en waarbij een ruimtelijke structuur wordt gevormd die fundamentele natuurlijke patronen weer tot uitdrukking brengt. Duurzaam impliceert in dit verband dat aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- de negatieve (wederzijdse) beïnvloeding tussen vormen van grondgebruik dient te worden voorkomen of geminimaliseerd;
- er moet worden ingespeeld op de potenties die het natuurlijke systeem biedt voor het grondgebruik.

Deze typering van de landschapsplanningsopgave bevat verwijzingen naar zowel de ecologische ('duurzaam', 'inspelen op de potenties van natuurlijke systemen'), de economische ('grondgebruik') als de esthetische ('duidelijke ruimtelijke structuur', 'expressie van natuurlijke patronen') kwaliteitsaspecten. Wel dient daarbij te worden bedacht dat het een normatieve stellingname betreft die - wanneer concrete ontwerpgegevens aan de orde zijn (hoofdstukken 5 en 6) - nader uitgewerkt zal worden.

1.3.4 Planningsconcepten voor de zandgebieden: ruimtelijke netwerken

De interpretatie van de planningsopgave voor de zandgebieden heeft aanleiding gegeven tot een levendig debat. Hiervan getuigen bijvoorbeeld de publicaties van Kleefmann en Kerkstra (1986), Kerkstra en Vrijlandt (1988), Anonymus, (1989-a), De Regt (1989), Van Buuren et al. (1991), Dauvellier (1991-b), Opdam (1991), Schotman (1991), Sijmons (1991), Van der Vlist (1991), Harms en Vlaanderen (1992), Vissers (1993), Stroeken (1994). Naast soms scherpe tegenstellingen en verschillen van inzicht is het opmerkelijk dat dit planningsdebat ook overeenstemming heeft gebracht op het vlak van de toe te passen planningsconcepten. Een gemeenschappelijk element dat bij de aanpak van de problemen van verschillende kanten wordt bepleit is het ontwerp van 'ruimtelijke netwerken'.

Bij de planvorming voor dergelijke ruimtelijke netwerken gaat het om het maken van voorstellen voor de realisering van aan elkaar gerelateerde clusters van (natuur)gebieden ten behoeve van de ontwikkeling van bepaalde (combinaties van) grondgebruiksvormen en voor het herstel van ruimtelijke en temporele samenhangen in het landschap. Het Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud (Anonymus, 1980) introduceert het concept van de 'ecologische infrastructuur' (zie voorts ook Van Selm, 1985-a en 1985-b; Dekker en Knaapen, 1986; Schoorl et al., 1988). In het Natuurbeleidsplan (Anonymus, 1989-a) wordt de 'ecologische hoofdstructuur' voorgesteld, hetgeen kan worden beschouwd als een ruimtelijke uitwerking van de ecologische infrastructuur op nationaal beleidsniveau. Het 'casco-concept' (Kerkstra en Vrijlandt, 1988; Van Buuren et al., 1991; Sijmons, 1991), maar ook de z.g. 'greenway movement' (Smith and Hellmund, 1993; Fabos en Ahern, 1995) zijn planningsconcepten waarin het ontwerp van dergelijke ruimtelijke netwerken vanuit een meer omvattend, multi-functioneel perspectief wordt voorgesteld. De ruimtelijke netwerken wordt daarin naast een ecologisch doel ook een betekenis toegedacht voor andere vormen van grondgebruik zoals extensieve vormen van openluchtrecreatie, waterbeheer en houtproductie. Het casco-concept vormt het perspectief van waaruit de planvorming in dit onderzoek zal worden uitgevoerd.

1.3.5 Het casco-concept

Het casco-concept (Kerkstra en Vrijlandt, 1988; vergelijk De Bruin et al., 1987; Anonymus, 1991-a; Van Buuren et al., 1991; Sijmons, 1991) behelst het ontwerp van een landschappelijk raamwerk of casco, bestaande uit een netwerk van gebieden dat duurzaam de randvoorwaarden schept voor de ontwikkeling van de laag-dynamische vormen van grondgebruik²⁴. In de door het raamwerk omsloten ruimte - de (landbouw)gebruiksruimte - worden optimale omstandigheden geboden voor de hoog-dynamische grondgebruiksvormen. Op deze wijze ontstaat een landschap met een sta-

biele structuur (het raamwerk) met daarbinnen ruimten die in relatief korte planningscycli, afhankelijk van economische en technische ontwikkelingen, heringericht kunnen worden. Het concept gaat daarbij uit van:

- een herordening van het grondgebruik, gericht op de ruimtelijke scheiding van hoog- en laag dynamische grondgebruiksvormen³³;
- een vergroting van het areaal natuurgebied om het ecologisch functioneren van het landschap te stimuleren.

Het casco-concept verwijst naar de door Kerkstra (1991) voorgestelde plaatsbepaling van de landschapsarchitectuur: niet de maatschappelijke aanspraken op het landschap als zodanig worden geproblematiseerd, maar de wijze waarop deze - via het grondgebruik - vorm krijgen in het landschap. Met andere woorden, het casco-concept stelt de situering van het grondgebruik centraal in de aanpak van de landschapsplanningsopgave. Het is met name van belang zodanige locaties voor raamwerk en gebruikruimte te vinden dat aan de criteria voor duurzaamheid (§ 1.3.3) wordt voldaan. Hydrologische processen en daarmee samenhangende ruimtelijke relaties spelen daarin een cruciale rol³⁴.

Op deze wijze beschouwd kan het casco-concept worden opgevat als een hypothese omtrent de wijze waarop via landschapsplanning een bijdrage kan worden geleverd aan het oplossen van de problematiek in de zandgebieden (Van Buuren et al., 1991).

1.4 De onderzoeksvragen

De beschrijving van de problematiek in de Nederlandse zandgebieden, de interpretatie van de opgave voor landschapsplanning hierbij en het belang van de ecologisch-functionele aspecten van het water geven aanleiding tot het formuleren van een tweetal centrale onderzoeksvragen:

- 1. hoe functioneert het water in het landschap, c.q. als landschapsvormende factor?;*
- 2. hoe kan gesystematiseerde hydrologische kennis in de landschapsplanning worden toegepast?*

Vanuit het hiervoor geponeerde gezichtspunt omtrent de planningsopgave voor de zandgebieden - het wijzigen van de locatie van het grondgebruik - kan de eerste onderzoeksvraag nader worden aangescherpt. Dit perspectief impliceert dat inzicht nodig is in het stelsel van ruimtelijke relaties dat ten gevolge van hydrologische processen in het landschap aanwezig is en in de sturende mechanismen daarvoor. Dergelijke inzichten zijn immers van essentieel belang voor een goede beschrijving en begrip van de wijze waarop vormen van grondgebruik elkaar in ruimtelijke zin beïnvloeden, c.q. voor het afleiden van planningsmaatregelen voor de aanpak van de problemen. Op grond van deze overwegingen kan de volgende subvraag worden geformuleerd:

- 1-a: wat zijn de sturende mechanismen voor het ruimtelijk relatiestelsel dat ten gevolge van hydrologische processen in het landschap kan worden onderscheiden en hoe kan dit stelsel worden beschreven?*

Een belangrijk element van de planningsopgave betreft voorts de wijze waarop natuurlijke systemen in het landschap weer tot expressie kunnen worden gebracht. Vanuit dit gezichtspunt dient dan ook te worden onderzocht welke concrete ruimtelijke patronen onder invloed van het water, c.q. het daaruit resulterende relatiestelsel ontstaan. Dit leidt tot de volgende uitwerking van de eerste onderzoeksvraag:

- 1-b: welke ruimtelijke patronen vloeien voort uit het functioneren van het water, c.q. uit het daaraan gekoppelde relatiestelsel?*

Het aandachtspunt in de tweede onderzoeksvraag betreft de toepassing van de kennis over het water in de landschapsplanning. Deze vraag verwijst naar de (methodische aspecten van) de centrale activiteit in de landschapsplanning: het ontwerpen, c.q. het ontwerpproces. Als de drie hoofdonderdelen daarbinnen zijn aangemerkt: de analyse,

de synthese en de evaluatie. Deze interpretatie van de tweede onderzoeksvraag geeft aanleiding tot de volgende subvraag:

2-a: hoe kan gesystematiseerde hydrologische kennis in de drie hoofdonderdelen van het ontwerpproces, respectievelijk analyse, synthese en evaluatie, worden gebruikt?

Daarnaast kan in de tweede onderzoeksvraag het gebruik van de hydrologische kennis in concrete ontwerpgevallen worden herkend. Via voorbeeldstudies kunnen de toepassingsmogelijkheden van de verkregen inzichten (vraag 1) of methoden (vraag 2-a) worden getoetst en zondig aangescherpt. Deze gedachtengang sluit aan bij de opvattingen omtrent het gebruik van het ontwerpen als methode van onderzoek. Vanuit dit perspectief kan de tweede onderzoeksvraag als volgt worden uitgewerkt:

2-b: hoe kan gesystematiseerde hydrologische kennis in concrete ontwerpgevallen (voorbeeldstudies) worden gebruikt en welke implicaties omtrent de aanpak van de problematiek in de Nederlandse zandgebieden vloeien daaruit voort?

Opbouw van het proefschrift

De opbouw van dit proefschrift volgt in grote lijnen de oriëntatie op basis van het theoretische model van Lang. Na onderhavige proloog (het eerste hoofdstuk) volgt een deel dat de positieve kenniselementen behandelt (hoofdstukken 2 en 3). Hoofdstuk 2, waarin water als landschapsvormende factor aan de orde komt, beschrijft de substantiële kennis. In hoofdstuk 3 staat het procedurele aspect centraal.

Het tweede deel van het proefschrift (hoofdstukken 4, 5 en 6) beschrijft een drietal voorbeeldstudies, die zijn gesitueerd in het stroomgebied van de Regge in Twente (Overijssel). Na een analyse van dit gebied (hoofdstuk 4) volgen respectievelijk een (landschaps)planningsstudie op een regionaal (hoofdstuk 5) en een subregionaal (hoofdstuk 6) schaalniveau. De toepassing van de in het algemene deel van deze studie beschreven kennis, vanuit een specifieke normatieve invalshoek, staat daarbij centraal. Het proefschrift wordt afgesloten met een epiloog waarin kanteekeningen bij de resultaten van deze studie worden geplaatst (hoofdstuk 7).

1 Spirm (1988) duidt op deze betekenis wanneer zij stelt: "Water and its use for human purposes has great potential to forge emotional, functional and cognitive links between people and nature in the city. Water moves through the hydrologic cycle as liquid, solid, and gas; powered by the fire of the sun and the force of gravity, water connects air and earth, and living organisms. Water comprises most of the human body. ... Like a primordial magnet, water pulls at a primitive and deeply rooted part of human nature. Water is a source of life, power, comfort, fear, and delight; it is a symbol of purification, of both the dissolution of life and its renewal. The creation of myths of many cultures portray water as the primary element from which life emerged" (p. 119).

Ook Simonds (1983) wijst hierop: "Free water is the shining splendor of the natural landscape. ... To some degree we humans still seem to share with our earliest predecessors the urgent and instinctive sense that drew to the water's edge" (p. 47).

2 SWNBL staat voor Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. Een overzicht van alle onderzoeksresultaten die in dit kader zijn uitgevoerd kan worden gevonden in Van Beusekom et al. (1990).

3 Dit blijkt uit de volgende gevolgtrekking van de auteurs: "Dit onderzoek is aanvankelijk vooral gericht op "water en landschapsbeeld" (overeenkomstig het thema van de SWNBL-deelrapporten 6, 6a en 6c). Gaandeweg dit onderzoek is in overleg met de begeleidingsgroep besloten tot verbreding van "water en landschapsbeeld" naar "water en landschap". Dit werd nodig geacht om een zinvolle studie voor dit proefgebied te kunnen uitvoeren. Het visueel waarneembare beeld van het landschap wordt namelijk beschouwd als de uitdrukking (de expressie) van de functies van het betreffende landschap. En zonder aandacht aan de functies van het landschap te besteden leidt een studie over "water en landschapsbeeld" voor een gebied als de Krimpenerwaard - zeker waar het onderzoek ten behoeve van de landschapsplanning betreft - tot een zwevend in plaats van tot een functioneel verankerd resultaat" (De Jongh et al., 1986; p. 15).

4 "It is only recently that entire river basins have come to be studied as unified and interrelated systems. Such a rational approach increases rather than limits the possibilities of fuller use and enjoyment and sets a workable framework within which all subareas may then be better planned" (Simonds, 1983; p. 48).

5 "A unified view of landscape hydrology such as that described in this paper can allow landscape architects to analyze systematically the hydrologic structures and functions of landscapes, and to understand fully the potential hydrologic impacts of proposed land use changes. Even when a designer is interested in only one isolated phenomenon at a time, such as streambank stabilization or golf course irrigation, a unified viewpoint reminds him of the hydrologic context of that phenomenon, and its interactions with its landscape surroundings" (Ferguson, 1983; p. 17).

6 "The hydrologic cycle, the nutrient cycle, and the food chain are essential to human life; they sustain us,

and they link us to the environment in which we live and to the other organisms, both human and non-human, that share our habitat. Yet to most people these cycles are abstractions, something to read about in textbooks, then quickly forgotten. The urban landscape affords abundant opportunities to celebrate these cycles, to make legible and tangible the connections they forge" (Spirm, 1988; p. 122).

7 "There exists in the landscape a functional and spatial pattern which can act as a core physical structure to which all landscape planning activities can and should respond. This pattern is resident in the hydrologic and riparian attributes of most landscapes. From the point of view of most people it would be a pattern which they can easily identify, understand, and associate with regards to its form and its meaning. Likewise, from a professional and scientific view, this core structure represents a significant array of systems and spatial interdependencies via the hydrologic cycle to which each discipline can relate and contribute" (Toth, 1990; p. 2).

"As a process, the hydrological cycle is a powerful phenomenon which gives form to continents and regions, sustains life as we know it and provides mankind with a multitude of vocations from fishing to the manufacture of paper. To advocate that a key attribute for land planning be hydrologic features (water sheds and drainage basins) is not new. The major difference proposed here is that we utilize the pattern that these systems produce in the landscape, both terrestrial and aquatic, precisely because they are a result of the processes taking place in the hydrologic cycle" (Toth, 1990; p. 2).

8 Hierbij dient te worden bedacht dat er - zeker in Nederland - een eeuwenoude planningstraditie bestaat op het vlak van de waterstaat. Hoewel in dit kader ingrijpende veranderingen in het landschap hebben plaatsgevonden, is deze voornamelijk technische planvorming grotendeels buiten het directe aandachtsveld van de integrale landschapsplanning gebleven.

9 Belangrijk voorwerk voor de toepassing van kennis over het water in de ruimtelijke planvorming vormde het onderzoek naar landschapsecologische relaties (Vos et al., 1981; Farjon, 1982; Roelofs et al., 1982). Het lijkt overigens ook meer dan toevallig dat in ongeveer dezelfde periode de opkomst van het "integraal waterbeheer" (Anonymus, 1985-a; Bijlsma, 1988; Anonymus, 1990-a) zijn beslag krijgt.

10 Het is evenwel zaak dat deze aandacht voor de ecologisch-functionele betekenis van water niet betekent dat de meer klassieke zintuiglijke en poëtische kwaliteiten uit het aandachtsveld geraken. Het essay van Spirm (1988) geeft daarvoor een inspirerende richting aan.

11 De esdorpen landschappen - met hun karakteristieke geconcentreerde bewoning - zijn ontstaan in gebieden waar de natuurlijke omstandigheden het toelieten grote, aaneengesloten akkers en weide- en hooilanden te ontwikkelen. De kampen landschappen - waarvoor verspreide nederzettingvormen kenmerkend zijn - zijn ontstaan in gebieden met een veel grotere variatie in de abiotische omstandigheden (Keuning, 1955).

12 Deze eenheden zijn een gevolg van het bij de occupatie ontwikkelde gemengde landbouwsysteem. Kenmerkend voor dit systeem is de nauwe functionele samenhang tussen de akkers, de wei- en hooilanden en de woeste gronden. De akkers werden kunstmatig opgehoogd met een mengsel van plaggen, strooisel en mest. Hierdoor ontstond een deklaag van soms enkele meters dik. Deze plaggen werden gestoken in de woeste (heide) gronden. De mest was afkomstig van het vee. Op deze wijze werd op de akkers de vruchtbaarheid en het vermogen om vocht vast te houden kunstmatig in stand gehouden. Tegelijkertijd werden de omliggende gronden waar de plaggen werden gestoken op deze wijze verarmd (Vink, 1980). In het gemengde landbouwsysteem bepaalden de mogelijkheden om strooisel en plaggen te winnen en om vee te houden het produktievermogen (en het areaal) van de akkers en daarmee indirect ook de omvang van de bevolking. Door de menselijke ingrepen zijn van nature aanwezige verschillen in vruchtbaarheid, hoogteligging en waterhoudend vermogen versterkt en zijn gradiënten daartussen ontstaan (Harms en Kalkhoven, 1979). Uit recent onderzoek van Spek en Ufkes(1995) is overigens een nuancering van bovenstaand beeld omtrent het functioneren van het gemengde landbouwsysteem naar voren gekomen. Het onderzoek duidt op een aanzienlijk jongere datering van de plaggenlaag dan doorgaans werd aangenomen. Deze zou pas vanaf de zestiende eeuw zijn gevormd. Daarvoor werd de vruchtbaarheid van de akkers op peil gehouden door braaklegging.

Een tweede nuancering betreft de aanwezigheid van bevoeiingssystemen, die met name zijn beschreven voor de oostelijke zandgebieden (Staring, 1860; Baaijens, 1988; De Poel, 1992). Door cultuurgronden kunstmatig te laten overstromen met mineraal rijk water (aangerijkt grondwater uit kwelgebieden) kan de bodemvruchtbaarheid worden vergroot. Hiervoor zijn op grote schaal beken verlegd, verdeelsystemen ontwikkeld en nieuwe waterlopen aangebracht. Volgens Baaijens (1988) is dit een van de factoren waardoor in de Achterhoek de verhouding tussen grasland en bouwland veel krappier is dan elders in de zandgebieden. Dit wijst op andere bronnen van mineralen dan alleen uit mest van het in de graslanden gehouden vee.

13 Soms is er in de literatuur een statisch beeld geschetst van de maatschappelijke en daarmee ruimtelijke ontwikkelingen in de zandgebieden (De Smidt, 1978; Roessing, 1979). Bieleman (1987; p. 26-27) stelt dat dit beeld als een "karikatuur van de historische werkelijkheid" moet worden beschouwd, ondermeer voortgekomen uit "het feit dat men de ontegenzeggelijk geringere dynamiek van landbouw en samenleving in het verleden zonder meer plaatste tegenover de geweldige dynamiek van onze tijd". Ook ten tijde van de Middeleeuwen bleek de landbouw onderhevig aan schommelingen onder invloed van (macro-)economische en andere maatschappelijke en natuurlijke factoren. De arealen cultuurgrond en de onderlinge verhoudingen tussen akker- en weidegronden varieerden al naar gelang dergelijke schommelingen. Spek en Ufkes(1995) onderscheiden in dit verband een drietal ontwikkelingsfasen van de Drenthse landbouw.

14 In de praktijk van de ruimtelijke planvorming en in de literatuur hieromtrent worden de begrippen 'grondgebruik' of 'vorm van grondgebruik', 'functie' en 'bestemming' nogal eens door elkaar gehaald en als synoniemen gebruikt, hetgeen verwarrend werkt. Vandaar een poging deze begrippen hier te omschrijven. Het natuurlijk milieu i.c. de 'verbouwde' vorm daarvan - het landschap - stelt de samenleving in staat behoeften te bevredigen (verg. Van der Maarel, 1977). De feitelijke vervulling van een of meer van die behoeften geschiedt via maatschappelijke activiteiten die bepalend zijn voor de wijze waarop het landschap wordt gebruikt: hier aangeduid als de verschillende vormen van grondgebruik.

Functie heeft betrekking op een bepaalde werking, zoals blijkt uit de omschrijving van het begrip in Van Dale Groot Woordenboek der Nederlandse Taal: "bijzondere werking en verrichting, ..., als zodanig werken". In deze studie wordt dit begrip dan ook gereserveerd om de werking, het functioneren van het landschap -

zoals bijvoorbeeld in hydrologische zin - aan te duiden. Deze betekenis van het begrip functie sluit aan bij hetgeen in de landschapsecologische literatuur gebruikelijk is. Zo definiëren Forman en Godron (1986) 'function' als "the flow of mineral nutrients, water, energy or species", terwijl Lyle (1985) spreekt van "... function, or the flow of energy and materials ...".

Een bestemming tenslotte is een beleidsbegrip waarmee de juridische status ten aanzien van het gebruik van het landschap, voortvloeiend uit de wetgeving over de ruimtelijke ordening, is vastgelegd.

15 *Sijmons (1987) spreekt in dit verband van het "snelle wiel" en het "langzame wiel" in het landschap. Kerkstra en Vrijlandt (1988) duiden het onderscheid aan als "intensieve, flexibiliteit vereisende en meer extensieve, stabiliteit vereisende functies".* *Sijmons (1991) gebruikt de termen "hoogdynamische en laagdynamische functies". Mede gezien het gestelde in de voorafgaande noot en het feit dat het verschil in ruimtelijke dynamiek het meest wezenlijke is wordt hier gesproken over 'laagdynamische' resp. 'hoogdynamische' vormen van grondgebruik.*

De verschillen in ruimtelijke dynamiek zijn niet absoluut, maar moeten als relatieve verschillen worden geïnterpreteerd. Bovendien moet worden bedacht dat dynamiek in ruimtelijke zin niet zonder meer gelijk gesteld kan worden met dynamiek vanuit een ecologisch perspectief (Jongman, 1992; Sijmons, 1991).

16 *'De natuur' wordt daarbij gerekend tot de 'bedreigde' categorie van de 'laagdynamische grondgebruiksvormen'; 'de landbouw' tot de 'bedreigende' categorie van de 'hoogdynamische grondgebruiksvormen'. De ambivalentie van de drinkwaterwinning in haar relaties met natuur en landbouw, betekent dat deze soms tot de 'bedreigde', soms tot de 'bedreigende' categorie gerekend kan worden.*

17 *Indirect leidt een daling van het (grond)watervolume ook tot allerlei effecten op de mineralenhuishouding in de bodem en heeft daarmee ook invloed op de kwalitatieve eigenschappen van het watersysteem en op processen als verontreiniging, overbemesting, verzuring en eutrofiëring (zie bijvoorbeeld Van Wirdum, 1979; Kemmers, 1986; Koerselman, 1989; Van Beusekom et al., 1990; Stuyfzand, 1993; Van Buuren et al., 1996; Wassen et al., 1996).*

18 *Anderzijds zijn er juist ook natte natuurgebieden die gevoed worden door diep grondwater met een hoge ouderdom. De specifieke kwaliteit van dit water kan een belangrijke bescherming van de ecologische kwaliteit van het betreffende gebied tot gevolg hebben (zie bijvoorbeeld Garritsen, 1988; Stuurman et al., 1989).*

19 *Het landschap wordt hier opgevat als het waarneembare deel van de aarde dat ontstaat uit de wisselwerking tussen natuurlijk milieu en samenleving (Kerkstra et al., 1976; Lörzing, 1982; Vroom, 1981; Anonymus, 1991-a). Wezenlijke elementen in deze omschrijving zijn:*
- er is sprake van een deel van het aardoppervlak dat waarneembaar is;
- het landschap komt tot stand in een wisselwerking tussen vormende processen van natuurlijke (geologie, hydrologie, ecologie) en van menselijke (economie, cultuur) aard;
- die wisselwerking levert geen statisch geheel op; in het landschap is sprake van voortdurende veranderingen. Door deze tijdsdimensie zullen momentopnamen van één plek verschillende resultaten - landschappen - te zien geven. De term 'cultuurlandschap' brengt feitelijk tot uitdrukking dat in de meeste Noord-West Europese landschappen de samenleving een dominante factor in de landschapsvorming is geworden.

20 *Ontwerpen betekent: "uitdenken, in schets brengen, beramen" (Van Dale).*

21 *Afhankelijk van de persoon die ontwerpt, en binnen welke context dit plaats vindt, kan daaronder een groot aantal activiteiten worden gevat. Foqué (1975) stelt: "Zelfs indien men het - (ontwerpen MvB) - beperkt tot de activiteiten van ingenieurs, architecten, stedenbouwkundigen en industriële vormgevers, vindt men geen coherente aanknopingspunten voor een algemeen bruikbare definitie" (p. 13).*

22 *Het ontwerpen vereist het mobiliseren van zeer gedifferentieerde kennis over het betreffende gebied en omtrent de te realiseren doelstellingen. Een analyse van die inzichten leidt tot een probleemstelling. Cruciaal is vervolgens de synthese van de inzichten uit inventarisatie en analyse in ruimtelijke voorstellingen of plannen, waarmee problemen kunnen worden aangepakt. Deze synthese, het ontwerpen sensu stricto, omspannt het hypothese-stellende element in het ontwerpproces. Anderzijds kan juist een evaluatie van die synthese aangeven in hoeverre de gestelde opgave ook daadwerkelijk is vervuld (toetsing van de hypothese). Naast de effectiviteit van de gekozen oplossing(en) komt daarbij aan de orde of er leemten bestaan in de in eerste aanleg gebruikte kennis. De toetsing kan vervolgens aanleiding geven tot een nieuwe cyclus in het ontwerpproces. Elkaar opeenvolgende ontwerpcycli kunnen de problemen van het onderzoeksobject steeds scherper in beeld brengen en daarvoor steeds betere oplossingsrichtingen aandragen.*

23 *Lang (1987) stelt hieromtrent: "While positive theory may clarify many of the issues facing the designer, it cannot specify the ends of design. They depend on what an individual designer believes and the degree to which society as a whole and individual clients are willing to accept those beliefs" (p. 241). En: "It is clear that designs would be different even if every designer had the same understanding of positive theory. Goals are not established scientifically or even rationally, but our knowledge of the world does affect the decisions we make" (p. 218).*

24 *Vitruvius heeft in zijn "Tien boeken over architectuur" de kennis op de terreinen van bouwkunde en civieltechniek uit zijn tijd opgetekend. Het is overigens opmerkelijk dat hij daarbij ook als eerste de hypothese stelde omtrent het bestaan van 'horizontale' of 'chorologische' relaties via de stroming van grondwater. Todd (1980) stelt hieromtrent: "An important step ... was made by the roman architect Vitruvius. He explained the now-accepted infiltration theory that the mountains receive large amounts of rain that percolate through the rock strata and emerge at their base to form streams" (p. 3).*

25 *Wotton (1624) formuleerde op basis van de stelling van Vitruvius de architectonische opgave als volgt: "In Architecture as in all other Operative Arts, the end must direct the operation. The end is to build well. Well-building hath three Conditions: Commoditie, Firmines and Delight."*

26 *"Ruimtelijke kwaliteit wordt bepaald door drie factoren in onderlinge samenhang. Het gaat om functie, vorm en tijd. Allereerst functie: net als de indeling van een huis moet ook de ruimtelijke structuur van ons land doelmatig zijn. Een hoge gebruikswaarde wordt bereikt als in elkaars omgeving gesitueerde functies elkaar niet hinderen, maar ondersteunen. Dan de vorm: net als voor een gebouw geldt voor ons land als geheel dat het er goed uit moet zien. Aan de beleefswaarde van onze omgeving worden hoge eisen gesteld. Tenslotte is er de factor tijd. Voor een gebouw geldt dat het zo in elkaar moet zitten dat het een*

lange tijd mee kan en dat het in de loop van de tijd aangepast moet kunnen worden aan veranderende eisen. Als dat ook geldt voor de gebouwde omgeving is er sprake van een ruimte met toekomstwaarde" (Anonymus, 1988-a).

27 Sijmons (1991) stelt daarbij dat discussie over de kwaliteitsaspecten alleen zin heeft aan de hand van concrete gebiedssituaties. Absolute waarde-oordelen kunnen daarbij niet worden geveld. "de kwaliteit laat zich niet uitdrukken in een vaste mengverhouding tussen de drie E's" (Sijmons, 1991; p. 5).

28 Scott (1914) formuleerde dit probleem zeer treffend: "Architecture is a focus where three separate purposes have converged. They are blended in a single method; they are fulfilled in a single result; yet in their own nature they are distinguished from each other by a deep and permanent disparity."

29 De vorm-functie dichotomie is betrokken op de relatie van 'functionaliteit' en 'schoonheid'. De discussie op dit vlak heeft een belangrijke rol gespeeld in de stroming van het 'modernisme' en het als reactie daarop opgekomen 'post-modernisme' (zie Lang, 1987).

30 Dit wil niet zeggen dat het aanpakken van de huidige problematiek in de zandgebieden alleen een kwestie is van ruimtelijke maatregelen (vergelijk de discussie over de relatie ruimte-water-milieu in planning en beleid; Anonymus, 1988-a; Van der Vliet en Brussaard, 1989; Van der Aa et al., 1989; Van den Aarsen, 1994). Met name de hoog-dynamische grondgebruiks-activiteiten zullen aan milieuvoorwaarden moeten worden gebonden.

31 In dit verband wordt in de landschapsarchitectuur doorgaans het onderscheid gemaakt tussen "horizontale" en "verticale" relaties (Vroom, 1981). De verticale relaties betreffen de samenhangen tussen de abiotische, biotische en antropogene landschapsvormende factoren op één bepaalde plek. De horizontale relaties betreffen dergelijke samenhangen tussen verschillende plekken. In de landschapsecologie wordt in dit verband een onderscheid gemaakt tussen (landschapsecologische) relaties van resp. topologische en chorologische aard (Schroevers, 1982). De topologische relaties hebben betrekking op "functionele relaties tussen componenten (attributen) binnen een als homogeen ervaren stuk ruimte" (Schroevers, 1982; p. 100), terwijl de chorologische relaties duiden op "functionele relaties tussen als verschillend ervaren onderdelen van de ruimte" (Schroevers, 1982; p. 88). Het is in de landschapsecologie, en met name in de daarbinnen te onderscheiden (eco)hydrologische disciplines gebruikelijk om binnen het topologische relatiestelsel een nader onderscheid aan te brengen tussen conditionele en operationele samenhangen (zie onder andere Van Wirdum, 1979; Anonymus, 1986).

In samenhang met dergelijke samenhang op een ruimtelijke schaal ontstaan ook relaties in de tijd ('temporele' of 'sequentiële' relaties). Het samenspel van de landschapsvormende processen leidt op verschillende momenten tot verschillende resultaten, hetgeen tot uiting komt in de verschijningsvorm van het landschap (Kerkstra et al., 1976).

32 Het betreft hier grondgebruiksvormen die zich voor wat betreft ontwikkelings-tijd, milieu-condities en overheids-verantwoordelijkheid relatief goed ruimtelijk laten vermengen.

33 Deze ruimtelijke ont koppeling is niet absoluut. Ruimtelijke vermenging van hoog- en laag-dynamische grondgebruiksvormen op een locale schaal (het 'bedrijfs-niveau') wordt uitgesloten. Dit geldt niet voor de hoog- en laag-dynamische grondgebruiksvormen onderling. Bovendien neemt het zoeken naar (nieuwe) vormen van functionele verbanden tussen de compartimenten uit het casco-landschap (c.q. raamwerk en gebruikruimte) een belangrijke rol in. Kerkstra en Vrijlandt (1988) wijzen in dit verband op de rol die het raamwerk kan spelen in de watervoorziening (vergelijk Farjon et al., 1990-b). Het concept probeert aan het credo "verweving waar mogelijk, scheiding waar nodig" een nieuwe uitwerking te geven.

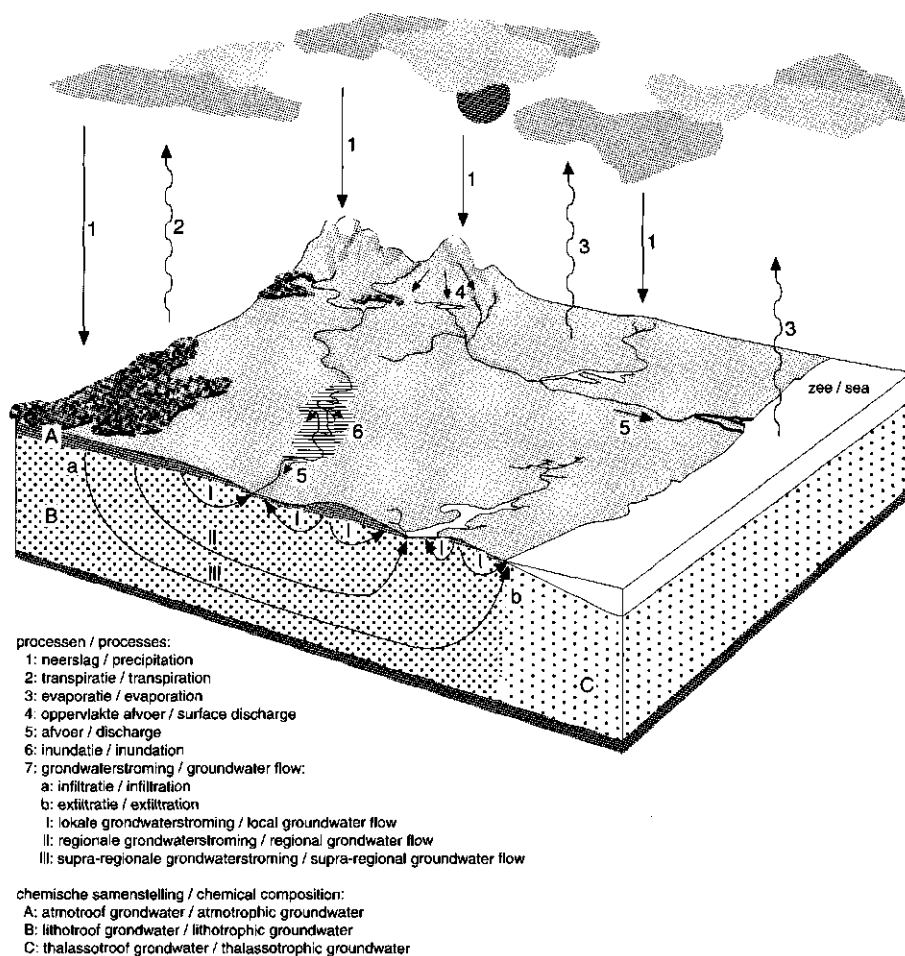
34 Het belang van het vinden van de juiste situering van het netwerk is een gezamenlijk en tegelijkertijd fundamenteel aandachtspunt in dit verband. Deze situering is mede bepalend voor het realiseren van de aan de ruimtelijke netwerken gestelde doelen en functies, i.c. het mogelijk maken en ondersteunen van de beoogde vorm(en) van grondgebruik.

DEEL 1 POSITIEVE KENNISELEMENTEN

2 WATER IN HET LANDSCHAP

2.1 De kringloop van het water

De hydrologische processen in het landschap kunnen op eenvoudige wijze worden beschreven met behulp van de kringloop van het water (figuur 2.1). Water slaat neer uit de lucht en wordt over of door de aarde getransporteerd. Daarbij verdampt water, al dan niet via levende organismen. Naast deze stromingsprocessen kan water ook voor kortere of langere tijd aan het aardoppervlak of in de ondergrond worden geborgen. Samenhangend met deze fysische (transport- en bergings-)verschijnselen, varieert ook de chemische samenstelling van het water van plek tot plek in de hydrologische kringloop. Van Wirdum (1980) maakt in dit verband een onderscheid tussen atmosferische, lithotrofe, thalassotrofe en antropotrofe watersamenstellingen¹.



Figuur 2.1
De hydrologische kringloop en de voornaamste daarin te onderscheiden stromingsprocessen. De aard van deze processen is mede bepalend voor de chemische samenstelling van het water op verschillende posities in de kringloop. Onderscheiden zijn een regenwater-achtige (atmotroof), een grondwater-achtige (lithotroof) en een zeevater-achtige (thalassotroof) samenstelling van het water.

Figure 2.1
The hydrological cycle and its major flow processes. The nature of these processes is a determining factor for the chemical composition of the water throughout the cycle. A distinction is made in rainwater (atmotrophic), groundwater (lithotrophic) and sea water qualities (thalassotrophic).

Stromingsprocessen en ruimtelijke relaties

De kringloop van het water als weergegeven in figuur 2.1 brengt het stelsel van ruimtelijke relaties, dat ten gevolge van hydrologische processen ontstaat, op hoofdlijnen in beeld en vormt daarmee een kader voor beschrijving en analyse van het water als landschapsvormende factor. Het water heeft daarbij een functie als 'agens' en als 'medium'². Water is immers één van de meest fundamentele voorwaarden voor leven; zonder water is leven ondenkbaar. Bovendien bewegen via het water materie, energie en organismen door het landschap, waarbij relaties in ruimte en tijd ontstaan. De stroming van grondwater en oppervlaktewater is daarvoor verantwoordelijk. Beide hydrologische processen behoren tot de belangrijkste mechanismen voor het ontstaan van landschapsecologische relaties (zie onder andere Van Wirdum, 1979; Kemmers, 1986, 1988, 1993; Farjon, 1982; Roelofs et al., 1982; Vos et al., 1982; Grootjans, 1985; Anonymus, 1988-b; Pedroli, 1989; Wassen et al., 1996). Daarbij dient overigens te worden bedacht dat zowel hydrologische verschijnselen van natuurlijke oorsprong, als verschijnselen die ontstaan zijn onder invloed van het menselijk gebruik, een rol spelen.

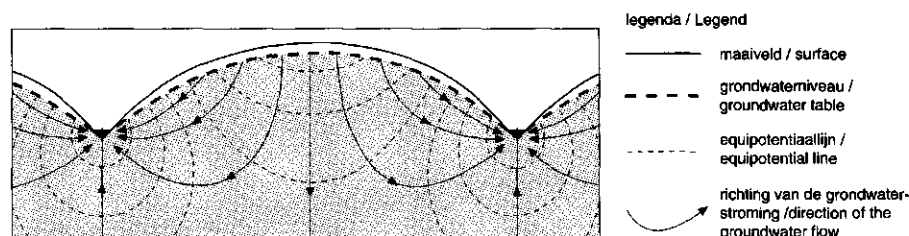
Landschappelijke patronen

De hydrologische processen in de kringloop van het water leiden aan het aardoppervlak tot karakteristieke landschappelijke patronen. Een evident voorbeeld daarvan vormt het stelsel van oppervlaktewaters met bijbehorende morfologische eenheden als beekdalen en inundatievlakten. Maar ook in de vegetatie en bij het grondgebruik zijn zulke landschappelijke patronen te herkennen. Dit hoofdstuk omvat een typering van de wijze waarop het water zich als landschapsvormende factor manifesteert. Daarbij zal de nadruk liggen op het beschrijven van het stelsel van ruimtelijke relaties dat door de stroming van grond- en oppervlaktewater ontstaat. In de eerste twee paragrafen staan de belangrijkste processen in dit verband - respectievelijk de stroming van grondwater (§ 2.2) en de stroming van oppervlaktewater (§ 2.3) - centraal. Vervolgens wordt ingegaan op de wijze waarop deze processen leiden tot ruimtelijke relaties en op de landschappelijke patronen die daarbij worden gevormd (§ 2.4). Hoewel de beschrijvingen een algemeen karakter hebben, vormt de situatie in de Nederlandse zandgebieden het vertrekpunt en worden voorbeelden daaruit gepresenteerd.

2.2 De stroming van grondwater

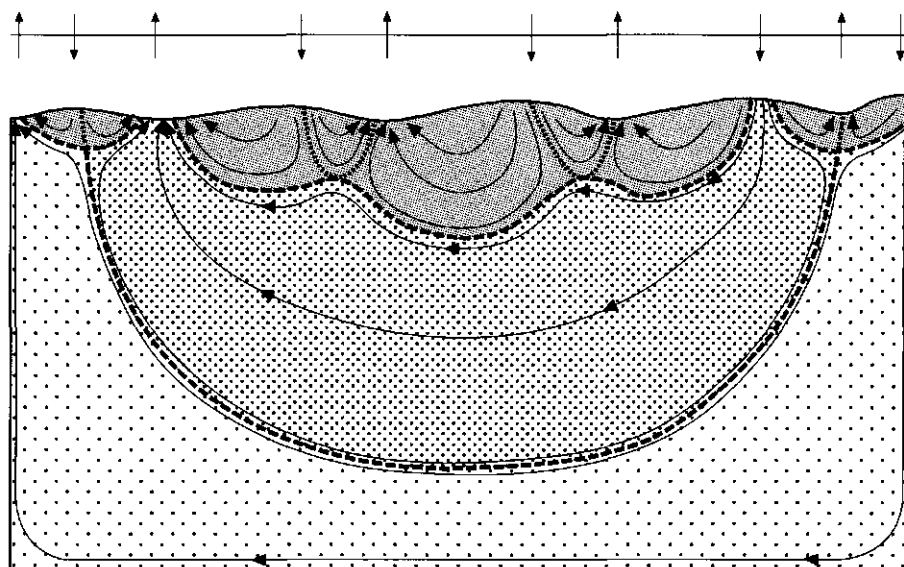
2.2.1 Grondwaterstromingsstelsels

Voor de beschrijving en analyse van de stroming van het grondwater³ wordt gebruik gemaakt van de resultaten uit de 'regionale grondwater hydrologie'⁴. Aan de basis van de theoretische beschouwingen in dit verband staat het werk van Hubbert (1940). Hij leverde voor het eerst een exacte mathematische representatie van de verschijnselen die de grondwaterstroming in stationaire, isotrope omstandigheden⁵ beschrijven (figuur 2.2). Stroomlijnen markeren de door het grondwater afgelegde weg tussen infiltratie- en exfiltratiegebieden. Voortbouwend op de analyses van Hubbert

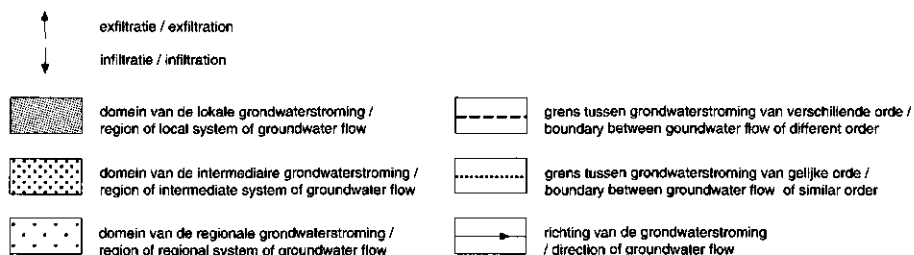


*Figuur 2.2
Het patroon van grondwaterstroming in een uniform doorlatend, freatisch watervoerend pakket volgens Hubbert.*

*Figure 2.2
The pattern of groundwater flow in a uniformly permeable unconfined aquifer.
Naar / After : Hubbert, 1940.*



Legenda / Legend



Figuur 2.3

Het concept van de hiërarchisch ten opzichte van elkaar gerangschikte en gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels van verschillende orde volgens Tóth. In de afgebeelde situatie is sprake van een homogeen en isotroop watervoerend pakket en een golvend reliëf met een overwegende terreinbelijning van rechts (hoog) naar links (laag).

Figure 2.3

The concept of hierarchically organised and superimposed groundwater flow systems of different order as proposed by Tóth in a homogeneous and isotropic aquifer and a slope from the right (high) to the left (low).

Bron / Source : Tóth, 1963.

komt Tóth (1963) tot het concept van de hiërarchisch gerangschikte en gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels (figuur 2.3). Tóth (1963) geeft van dit begrip de volgende omschrijving: "A flow system is a set of flow lines in which any two flow lines adjacent at one point of the flow region remain adjacent through the whole region; they can be intersected anywhere by an uninterrupted surface across which flow takes place in one direction only" (p. 4806). Op basis van het door Tóth ontwikkelde stromingsconcept kan de stroming van water aan en beneden het aardoppervlak worden beschouwd als een hiërarchisch geheel van gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels. Hij maakt daarbij (zie figuur 2.3) een onderscheid tussen stelsels van een locale, een intermediaire en een regionale orde⁶. Freeze and Witherspoon (1966, 1967, 1968) hebben het door Tóth ontwikkelde concept een meer algemene geldigheid gegeven. De theoretisch-mathematische beschouwingen van Tóth zijn door verschillende auteurs in gebiedsstudies uitgewerkt en getoetst. Winter (onder andere 1978-a, 1978-b, 1983, 1986) en Winter en Carr (1980) hebben de concepten toegepast voor de verklaring van relaties tussen meren en het grondwater. Meyboom (1966-a, 1967) heeft studies uitgevoerd waarin waarnemingen van hydrologische verschijnselen en vegetaties verklaard konden worden uit het concept van de grondwaterstromingsstelsels van verschillende orde (vergelijk Domenico, 1972). Meer recente studies die voortbouwen op het stromingsconcept van Tóth, vinden we bij Engelen and Jones (1986), Carter and Novitzki (1988), Ortega and Farvolden (1989), Ophori and Tóth (1990) en Winter en Ming-Koo (1990).

Voor de situatie in Nederland is op dit terrein met name onderzoek verricht door een groep binnen de Vrije Universiteit rond Engelen, in samenwerking met het Instituut voor Grondwater en Geo-energie NITG-TNO (voorheen de Dienst Grondwaterverkenningen van het TNO; zie onder andere: Engelen, 1984; Engelen and Jones, 1986; De Ruiter, 1986; Garritsen, 1988; Gieske, 1989; Engelen et al., 1989; Stuurman et al., 1989; Zijl, 1990; Engelen et al., 1990; Kloosterman en Stuurman, 1992; Kloosterman et al., 1993; Stuurman en Van der Mey, 1993; Foppen et al., 1994; Engelen en Kloosterman, 1996). Daarbij zijn zowel gebiedsanalyses als meer theoretische beschouwingen aan de orde gekomen. Het aan Tóth (1963) ontleende begrip 'grondwaterstromingsstelsel' wordt in die studies centraal gesteld en geïnterpreteerd als "een driedimensionaal dynamisch samenhangend stromingslichaam van grondwater dat zich in ruimte en tijd kan wijzigen onder invloed van veranderingen in patroon en grootte van in- en uitvoer en van veranderingen in de doorlatendheid van het doorstroomde medium" (Engelen et al., 1989).

Het voorkomen en functioneren van de grondwaterstromingsstelsels is van een aantal variabelen afhankelijk. Deze kunnen zowel van natuurlijke als van antropogene oorsprong zijn. Natuurlijke variabelen zijn: klimaat, topografie en geologische opbouw. Het klimaat bepaalt neerslag en verdamping en daarmee de hoeveelheid water die (boven- dan wel ondergronds) tot afvoer komt. De topografie, in combinatie met de geologische opbouw, is van groot belang voor de verdeling tussen bovengrondse en ondergrondse afvoer en voor de snelheid waarmee het water wordt getransporteerd. De geologie, c.q. de samenstelling van de doorstroomde formaties, speelt bovendien een rol in de chemische samenstelling van het water. Kunstmatige met menselijke ingrepen in verband staande randvoorwaarden voor grondwaterstromingsstelsels zijn bijvoorbeeld: grondwateronttrekkingen, beregening, peilbeheersing, bemaling, infiltratie, et cetera (Engelen en Jones, 1986).

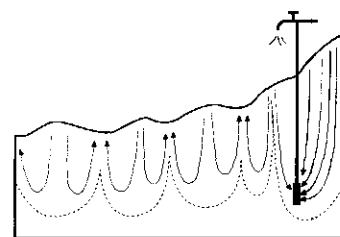
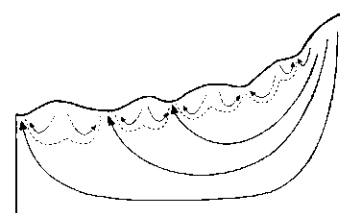
2.2.2 Eigenschappen van grondwaterstromingsstelsels

In afhankelijkheid van de wijze waarop de voor grondwaterstromingsstelsels bepalende factoren zich manifesteren kunnen de eigenschappen van de stelsels aanzienlijk verschillen. Belangrijke eigenschappen zijn: omvang, vorm, ontstaansgeschiedenis, positie ten opzichte van andere stelsels, gedrag in de tijd en chemische samenstelling van het grondwater (Engelen en Jones, 1986).




De omvang of het volume van de grondwaterstromingsstelsels is afhankelijk van de potentiaal verschillen die de stroming aandrijven, alsmede van de patronen en waarden van de stromingsweerstand in de geologische formaties waarin het stelsel zich manifesteert. Zoals in figuur 2.3 reeds is geschematiseerd leiden macro-reliëfeenheden doorgaans tot omvangrijke, diep in de ondergrond doordringende stelsels. Kleinere reliëfeenheden hebben minder omvangrijke stelsels tot gevolg die als het ware op de grotere drijven. Bij de regionale stelsels manifesteren de betrokken stromingsprocessen zich bovendien over aanzienlijk grotere afstanden dan bij de lokale stelsels.

De vorm en het gedrag in de tijd zijn nauw aan elkaar gerelateerd. In situaties waarin geen veranderingen van de bepalende factoren in de tijd optreden, is de vorm van de stelsels min of meer constant en zijn er vaste begrenzingen. Is er evenwel sprake van variatie - bijvoorbeeld onder invloed van meteorologische processen - dan varieert de vorm en daarmee ook de begrenzing. De vorm van de stromingsstelsels wordt voorts bepaald door factoren als de invloed van en de veranderingen in naburige stelsels en de variatie van de stromingsweerstand in de ondergrond. Lokale grondwaterstromingsstelsels vertonen voor wat betreft de vorm en het gedrag in de tijd een sterk wisselend karakter. Deze stelsels reageren sterk op meteorologische condities en daarin optredende fluctuaties. De geringe omvang van de betreffende stelsels betekent bovendien dat het grondwater een relatief korte verblijftijd heeft. De omvangrijke grondwaterstromingsstelsels van regionale orde daarentegen hebben een veel constanter karakter, waarbij weersinvloeden worden 'uitgemiddeld' en kenmerken zich door langere verblijftijden van het grondwater. Overigens verlopen de stromingsprocessen in het grondwater ten opzichte van die in het oppervlaktewater zeer traag en zijn de verblijftijden navenant groter.

De grondwaterstromingsstelsels kunnen elkaar beïnvloeden. Veranderingen in een



Legenda / Legend:

-  gasuperponeerd grondwatersysteem van lokale orde / superimposed local groundwater flow system
-  diep regionaal grondwatersysteem / deep regional groundwater flow system
-  grondwaterwinning / groundwater pumping station

Figuur 2.4
Een schematische weergave van de wijze waarop de ligging van de grenzen tussen de stromingsstelsels kan veranderen. In dit geval neemt ten opzichte van de uitgangssituatie (boven) de ruimtelijke verbreding van de lokale grondwaterstromingsstelsels toe door het oppompen van water uit het diepe stromingssysteem (onder).

Figure 2.4
A schematic representation of the way the boundaries between groundwater flow systems may change. In this case the original flow pattern (above) is changed as a consequence of groundwater pumping from the deepest system (below).

bepaald stelsel of een serie daarvan kunnen van invloed zijn op de vorm en omvang van omringende stelsels. Een voorbeeld hiervan is geschematiseerd in figuur 2.4. De winning van grondwater uit diepe stromingsstelsels verstoort het potentiaal veld. Een verschuiving van stelselgrenzen is daarvan het gevolg, waarbij in dit geval de ruimtelijke verbreiding van de lokale stelsels toeneemt.

De eigenschappen van grondwaterstromingsstelsels weerspiegelen de (ontstaans) geschiedenis of de ontwikkeling die zij (hebben) ondergaan. Het samenspel van de bepalende factoren heeft in vroegere perioden wellicht anders uitgewerkt dan nu, hetgeen zich weerspiegelt in de eigenschappen van de huidige stromingsstelsels. Soms hebben stelsels zich nog niet volledig aan de nieuwe condities aangepast. Een voorbeeld hiervan is gegeven door De Ruiter (1986). Zij beschrijft voor West-Nederland diepe grondwaterstromingsstelsels die onder invloed van de Noordzee zijn ontstaan. De huidige omstandigheden leiden tot verzoeting, die evenwel nog niet volledig is doorgedrongen.

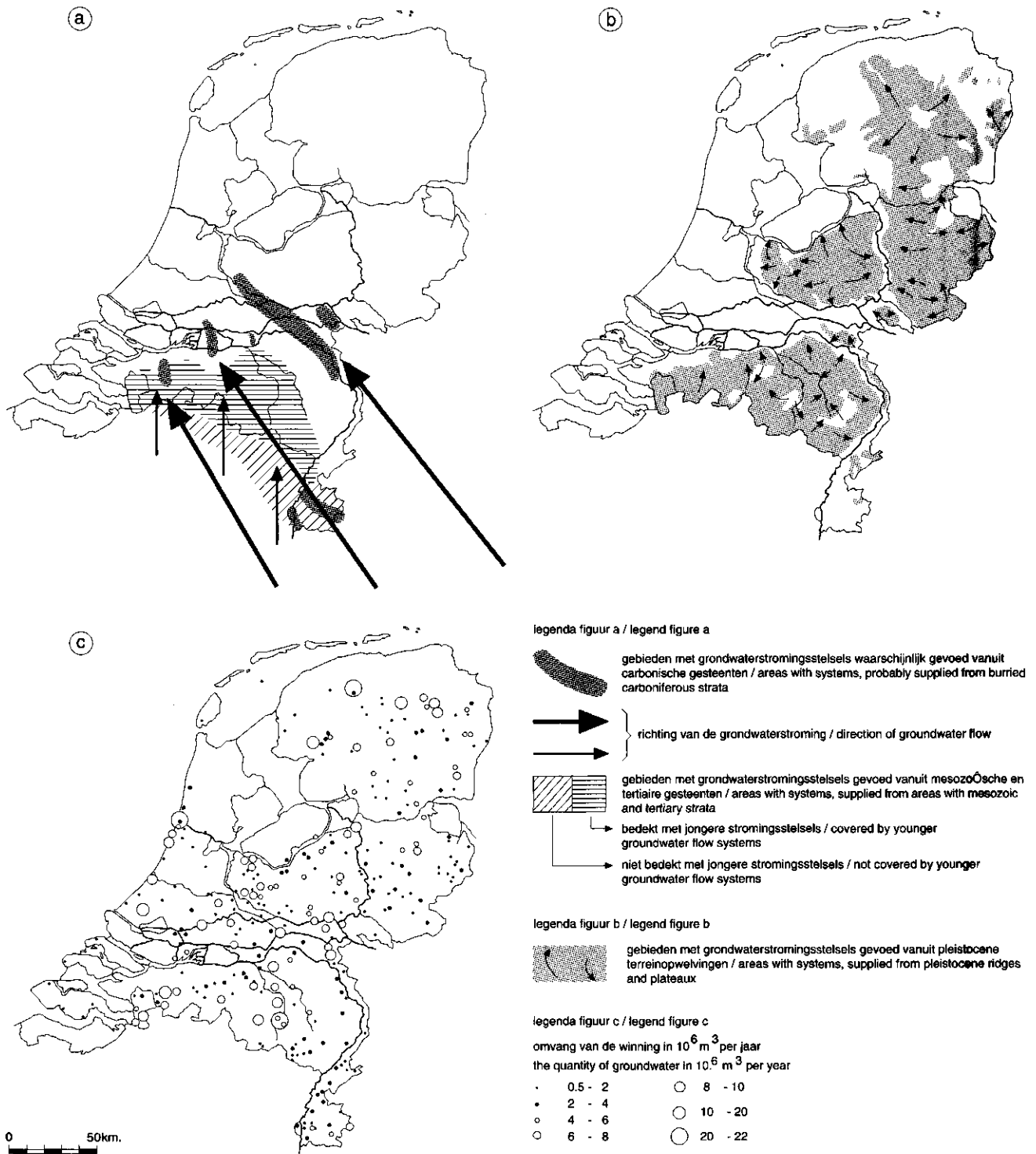
De chemische samenstelling of reeks van samenstellingen van het water is een van de meest karakteristieke eigenschappen waarin de grondwaterstromingsstelsels van elkaar verschillen (Tóth, 1963; Stuurman et al., 1987). Domenico (1972) noemt voor de chemische samenstelling van het grondwater een tweetal fundamentele uitgangspunten. Ten eerste is de concentratie van in het grondwater opgeloste mineralen min of meer evenredig met de lengte van de stroombaan en met de verblijftijd van het water. Ten tweede is de chemische samenstelling van het grondwater op een zeker punt afhankelijk van zowel de chemische samenstelling van het doorstroomde materiaal op dat punt als van de ontwikkelingsgeschiedenis van de watersamenstelling voor het bereiken van dat punt. Deze uitgangspunten betekenen dat tussen, maar ook binnen grondwaterstromingsstelsels de samenstelling van het water kan variëren⁸. Op grond hiervan geeft Tóth (1963) dan ook aan dat in de ondergrond de ligging van de diverse stromingsstelsels wordt gemarkeerd door relatief scherpe veranderingen in de samenstelling van het grondwater: "Relatively rapid changes of the chemical composition of the water across the boundaries,..., could be expected because of the different locations of the recharge and the different lengths of the flow paths of the different systems".

Het grondwater in lokale grondwaterstromingsstelsels zal bijgevolg - onder overigens gelijke condities voor wat betreft ontwikkelingsgeschiedenis, aard van het doorstroomde materiaal, et cetera - minder zijn 'verrijkt' met mineralen dan dat in regionale stelsels. Binnen de stromingsstelsels bestaat het karakteristieke verschil tussen de samenstellingen van het grondwater in infiltratie- en in exfiltratiezones. Bij infiltratie vertoont het water nog duidelijke overeenkomsten met de neerslag (atmotroof); bij uitstroming heeft aanrijking plaatsgevonden (lithotroof; Van Wirdum, 1980).

2.2.3 Grondwaterstromingsstelsels in de Nederlandse zandgebieden

De verscheidenheid aan variabelen van natuurlijke en antropogene aard leidt tot een divers geheel van in de Nederlandse zandgebieden te onderscheiden grondwaterstromingsstelsels. Gerangschikt naar de tijd-ruimte schalen van die stromingsstelsels, kunnen worden onderscheiden (Engelen et al., 1989; figuur 2.5):

- grondwaterstromingsstelsels vanuit de Mesozoïsche en Tertiaire omranding van het Noordzeebekken met natuurlijke, door de zwaartekracht aangedreven stroming (verblijftijden in de orde van duizenden jaren);
- grondwaterstromingsstelsels vanuit Pleistocene terreinopwelvingen met natuurlijke, door de zwaartekracht aangedreven stroming (verblijftijden in de orde van honderden jaren);
- jonge, kunstmatig door grondwaterwinning in stand gehouden grondwaterstromingsstelsels (verblijftijden in de orde van tientallen jaren);
- jonge, kunstmatig ten behoeve van landbouw, infrastructurele voorzieningen, et cetera in stand gehouden grondwaterstromingsstelsels. Het gaat hier om kleine en ondiepe, doorgaans aan het oppervlaktewater gebonden stelsels. Een deel van deze stelsels heeft een niet-permanent karakter en functioneert in afhankelijkheid van de meteorologische condities (verblijftijden enige weken of dagen)⁹.



Figuur 2.5
Een karakterisering van de voornaamste grondwaterstromingsstelsels die in de Nederlandse zandgebieden kunnen worden aangetroffen.

- a. grondwaterstromingsstelsels gevoed vanuit het Carboon (thermo-mineraal) en vanuit de mesozoïsche en tertiaire omranding van het Noordzeebekken (verblijftijden in de orde van tienduizenden jaren).
- b. grondwaterstromingsstelsels gevoed vanuit pleistocene terreinopwellingen (verblijftijden honderden tot duizenden jaren).
- c. grondwaterstromingsstelsels die door grondwaterwinning in stand gehouden worden (verblijftijden enige tientallen jaren).

Figure 2.5
A characterisation of the major groundwater flow systems of the Dutch pleistocene sandy areas.

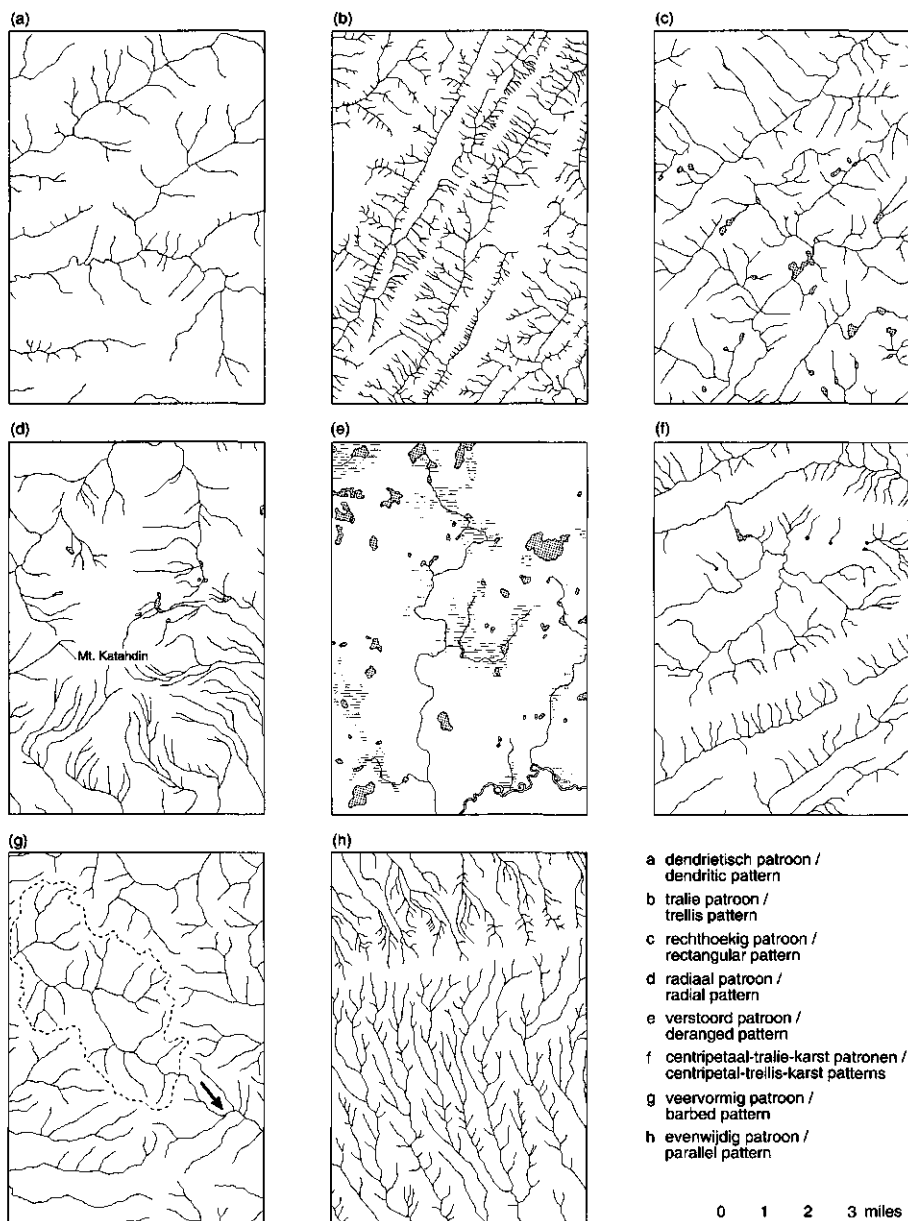
- a. groundwater flow systems supplied from carboniferous strata (thermo-mineral water) and from areas with mesozoic and tertiary strata (residence time several ten-thousands of years).
- b. groundwater flow systems supplied from pleistocene ridges and plateaux (residence time several thousands to hundreds of years).
- c. groundwater flow systems maintained by pumping of water for drinking-water production (residence time several decades).

Bron / Source : Engelen et al., 1989.

2.3 De stroming van oppervlaktewater

2.3.1 Opperlaktewaterstromingsstelsels

Opperlaktewater is "het water dat stroomt over of verblijft op het aardoppervlak" (Hooghart, 1986). Onder natuurlijke omstandigheden zijn de bepalende factoren voor de stroming van het oppervlaktewater: het klimaat, de geologische en bodemkundige opbouw en het reliëf (zie onder andere: Doeglas, 1973; De Vries, 1974; Zonneveld, 1981; Petts en Foster, 1985). Op grond van de verschillen waarop deze factoren zich in een bepaalde situatie voordoen zijn er diverse drainagepatronen denkbaar (Thornbury, 1965; figuur 2.6). Naast verschillen in de vorm van het drainagepatroon is er een onder-



Figuur 2.6
 Afhankelijk van klimaat, geologische opbouw en reliëf kunnen verschillende drainagepatronen ontstaan; een typologie van Thornbury.

Figure 2.6
 Depending on climate, geology and relief different drainage patterns may be found; a typology from Thornbury

Bron / Source : Thornbury. 1965

scheid mogelijk op grond van de dichtheid en de vertakkingsgraad¹⁰. Drainagepatronen kunnen worden opgevat als "branching networks" (Hagget en Chorley, 1969), dat wil zeggen netwerken met een boomstructuur, met daarbinnen een gerichte, hiërarchische organisatie¹¹ (vergelijk Horton, 1945; Strahler, 1952).

Een centraal begrip bij de stroming van oppervlaktewater is het stroomgebied: het "gebied waaruit het afstromende water door één bepaalde waterloop wordt afgevoerd" (Hooghart, 1986). Via (ondiepe) grondwaterstroming, afvoer over het maaiveld of via kleine vertakkingen wordt het water naar de betreffende waterloop getransporteerd. Het stroomgebied kan als een basiseenheid voor de stroming van oppervlaktewater worden opgevat, waarbij moet worden bedacht dat allerlei eigenschappen zoals grondgebruik, geologie, vegetatie, et cetera per stroomgebied kunnen verschillen. De organisatie van de oppervlaktewateren leidt tot een hiërarchische structuur van stroomgebieden van diverse orde.

Gezien de parallel met de stroming van grondwater zal hieronder in het vervolg worden gesproken van oppervlaktewaterstromingsstelsels. Daarmee wordt zowel verwezen naar het geheel van in stroomgebieden van diverse orde georganiseerde oppervlaktewateren als de daarbinnen aanwezige eigenschappen, processen en relaties die met de stroming van oppervlaktewater samenhangen.

2.3.2 Eigenschappen van oppervlaktewaterstromingsstelsels

Oppervlaktewaterstromingsstelsels kunnen worden opgevat als open, zogenaamde "process-response" systemen (Schumm, 1977 op citaat Wolfert, 1991) die streven naar het bereiken van een "dynamisch evenwicht" (Leopold et al., 1964; Schumm, 1977; Zonneveld, 1981; Newson, 1984; Petts and Foster, 1985)¹². De term "process-response" betekent dat er externe, onafhankelijke factoren (processen) zijn te onderscheiden die bepalend zijn voor de variabelen waarmee de eigenschappen van de stelsels zijn te definiëren. Het dynamische evenwicht houdt in dat deze eigenschappen weliswaar kunnen variëren, maar binnen een bepaald bereik blijven zolang de externe, bepalende factoren constant zijn. Tot deze bepalende factoren rekent Wolfert (1991): de afvoer, de terreinhelling, het sedimenttransport, de textuur van het beddingmateriaal, de aard van het oevermateriaal en de (oever)vegetatie (vergelijk: Leopold and Maddock, 1953; Leopold et al., 1964; Zonneveld, 1981). De eigenschappen van oppervlaktewaterstelsels die door deze factoren worden bepaald zijn: de breedte, de diepte, de maximumdiepte, de stroomsnelheid, de sinuositeit en de meanderlengte (Wolfert, 1991). Op grond van diverse waarden van de onafhankelijke factoren kan een onderscheid worden gemaakt tussen oppervlaktewaterstromingsstelsels met een vlechtende, een meanderende of een rechte vorm.

In een evenwichtssituatie zijn de eigenschappen van de oppervlaktewaterstromingsstelsels aangepast aan de heersende toestand van de bepalende factoren. Een verandering in één of meer van die factoren betekent dat de eigenschappen zullen wijzigen totdat een nieuw evenwicht is bereikt. Ingrepen van menselijke aard kunnen - via directe of indirecte wijzigingen in de bepalende factoren - leiden tot een verstoring van de evenwichtssituatie. Afhankelijk van de aard van zo'n ingreep - met name of daarbij sprake is van een tijdelijke of permanente verandering van de bepalende factoren - zal het oude evenwicht worden hersteld of zal er een nieuw evenwicht worden gezocht waarbij de (vorm)eigenschappen van de stelsels worden aangepast¹³.

Boven-, midden- en benedenloop

In benedenstroomse richting nemen de afvoer, de breedte en de diepte van een waterloop doorgaans toe. Opvallend is dat in dezelfde richting de stroomsnelheid ongeveer gelijk blijft of iets toeneemt (Leopold and Maddock, 1953; Leopold et al., 1964; Newson, 1984). Als gevolg hiervan is niet de stroomsnelheid maar de verhouding tussen erosie en sedimentatie bepalend voor het onderscheid tussen boven-, midden- en benedenloop. In de bovenloop overheerst erosie; in de benedenloop is sprake van netto-sedimentatie; in de middenloop houden beide processen elkaar ongeveer in evenwicht.

De vegetatie

De vegetatie in en langs waterlopen, maar ook die op het niveau van het stroomgebied als geheel is een bepalende factor voor de eigenschappen van de oppervlaktewaterstromingsstelsels. De vegetatie is van belang voor de verdamping in het stroomgebied en daarmee voor de hoeveelheid water die via het oppervlaktewater wordt afgevoerd (Anonymus, 1984-d; Van Beusekom et al., 1990).

Een vegetatiezoom heeft voorts invloed op de chemische samenstelling van het water in de waterlopen. Voor dergelijke vegetatiestroken is een bufferende werking geconstateerd voor wat betreft de toevoer naar het oppervlaktewater van nutriënten vanuit het omringende gebied (zie onder anderen: Peterjohn en Correl, 1984; Lowrance et al., 1985; Kuenzler, 1989; Orleans et al., 1995; Uunk en Smidt, 1995; Vought et al., 1995). Op grond van deze waarneming wordt dan ook geopperd om dergelijke vegetaties te benutten voor de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater in stroomgebieden met een overwegend agrarisch gebruik. Naast deze 'filter'-werking heeft de vegetatie ook via het micro-klimaat invloed op de watersamenstelling. Zo leidt beschaduwing van het water tot een lagere watertemperatuur en een navenant hoger zuurstofgehalte in de waterloop (Karr en Schlosser, 1978; Dawson en Kern-Hansen, 1979; Anonymus, 1984-a; Konold, 1984).

De vegetatie langs en in het water is van invloed op erosie en sedimentatie. De oevers (en het talud) van waterlopen kunnen door de begroeiing worden gestabiliseerd en zijn daarmee minder gevoelig voor erosie (Anonymus, 1984-a; Aukes et al., 1988)¹⁴. Voorts heeft de vegetatie invloed op de stromingskarakteristieken. Planten in het water kunnen de stromingsweerstand vergroten (Newson, 1984; Aukes et al., 1988; Den Ouden, 1993). Daarnaast veroorzaakt de begroeiing (door omgevallen stammen, afgevallen takken en bladeren, et cetera) turbulenties in of belemmering van de stroming van het water. Dit leidt tot -pleksgewijze- erosie- en sedimentatie. De aanwezigheid van organisch materiaal tenslotte versterkt nog de differentiatie van de bodem in en langs de waterlopen (Tolkamp, 1981).

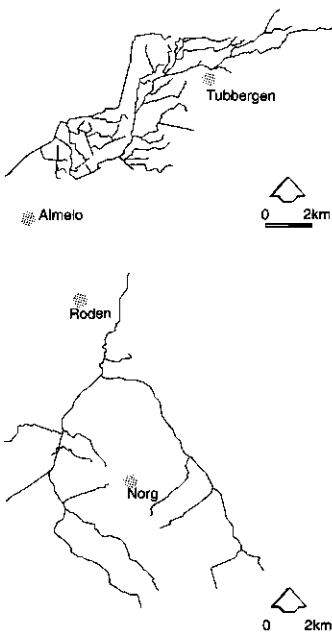
2.3.3 De oppervlaktewaterstromingsstelsels van de zandgebieden

In de zandgebieden van Nederland wordt door een combinatie van het weinig extreme neerslag-regime, de relatief vlakke topografie en de goede doorlatendheid van de geologische formaties, de infiltratie-capaciteit van de bodem niet of nauwelijks overschreden. Bijgevolg kan worden aangenomen dat in het afvoerproces de grondwaterstroming een dominante rol speelt (De Vries, 1974). De oppervlaktewaterstromingsstelsels kunnen dan ook worden beschouwd als een afgeleide van het grondwater. De Vries (1974) stelt dat het netwerk van beken in de zandgebieden van Nederland is ontstaan uit, en primair wordt gevoed door, grondwater dat in kwelzone's uitteedt¹⁵. Dit netwerk van beken in de Nederlandse zandgebieden is dendritisch of veervormig ontwikkeld (figuur 2.7; De Vries, 1974). De verschillen tussen beide vormen zijn terug te voeren op het al dan niet voorkomen van slecht erodeerbare formaties dicht aan het maaiveld. De dichtheid van het netwerk hangt samen met de intensiteit van de grondwaterstroming. De bepalende factoren voor de oppervlaktewaterstromingsstelsels in de Nederlandse zandgebieden hebben tot een specifiek beektype geleid: de laaglandbeek¹⁶.

Laaglandbeken

Kenmerkend voor laaglandbeken is de relatief geringe stroomsnelheid van minder dan 0.3 - 0.5 m. per seconde¹⁷, de differentiatie in het bodemsubstraat (van -grof- zand tot slib) en de meanderende loop (Moller-Pillot, 1971; Bink et al., 1979; De Molenaar, 1980; Tolkamp, 1981; Van Straaten en Von Meyenfeldt, 1983; Van den Brand et al., 1983; Higler, 1983). In de oorspronggebieden worden laaglandbeken gevoed door neerslag en lokaal grondwater in terrein-depressies¹⁸. Deze herkomst van het water heeft een wisselend, van neerslag variaties afhankelijk debiet van de beken tot gevolg. Perioden met stilstaand, van droogstand zijn niet uitzonderlijk (Higler, 1983).

In niet tot weinig antropogeen beïnvloedde situaties¹⁹ ontwikkelen laaglandbeken een meanderende bedding. Het gevolg is een karakteristieke sequentie van dwarsprofielen

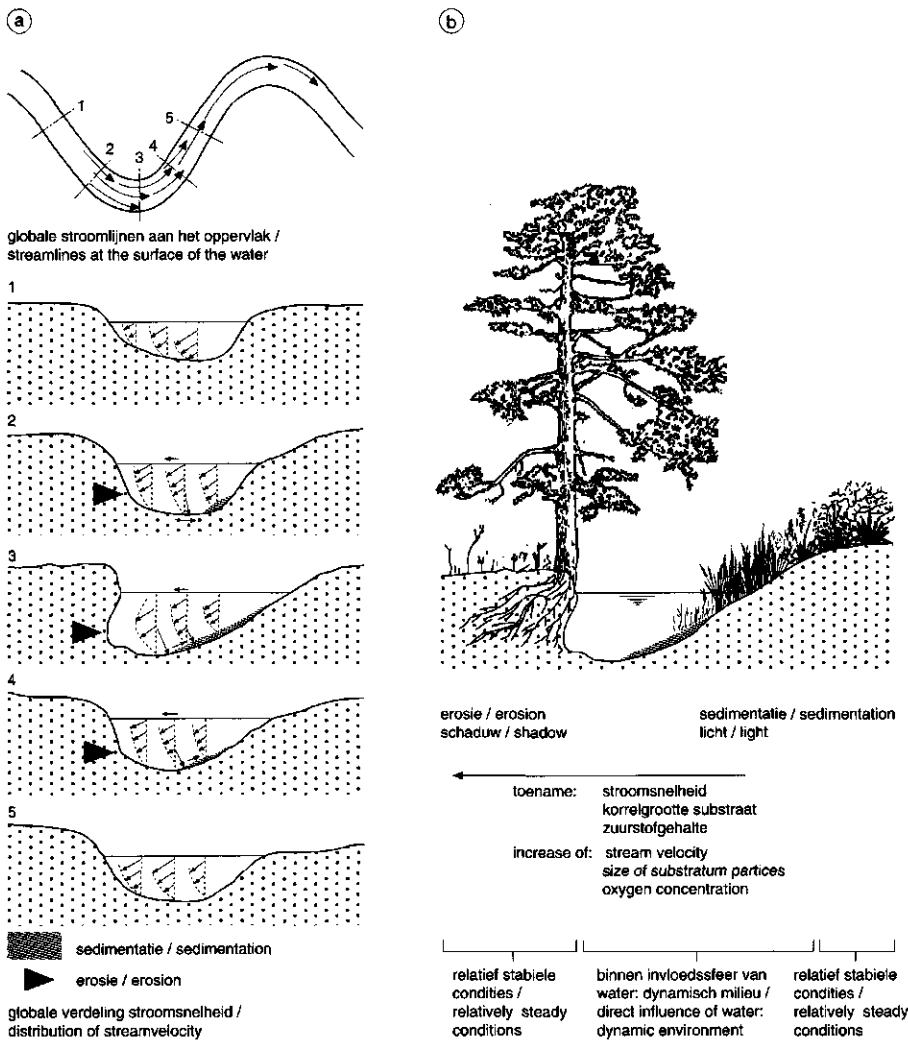


Figuur 2.7
De beken van de Nederlandse zandgebieden worden doorgaans gekenmerkt door een dendritisch (boven) of een veervormig (onder) drainagepatroon.

Figure 2.7
The streams in the Dutch pleistocene sandy areas are characterised by a dendritic (above) or barbed (below) drainage pattern.

Naar / After : De Vries, 1974.

met bijbehorende afwisseling van milieucondities (figuur 2.8). In het lengteprofiel van een laaglandbeek bestaat een karakteristieke sequentie van stromingscondities (figuur 2.8-a). In afhankelijkheid van die condities ontstaat een specifieke vorm van het dwarsprofiel. Tussen twee meanderbochten in (situaties 1 en 5) vindt voornamelijk doorvoer van water plaats. In de meanderbocht (situaties 2 tot en met 3) is de verdeling van de stroomsnelheid zodanig dat in de buitenbocht erosie en in de binnenbocht sedimentatie plaats vinden. Er is dan een stromingscomponent dwars op de stromingsrichting aanwezig waarmee geërodeerd materiaal van de buiten- naar de binnenbocht wordt getransporteerd. Figuur 2.8-b geeft aan welke milieucondities hierdoor bij situatie 3 kunnen worden gevonden. Daarbij is ook de natuurlijke vegetatie betrokken. Gaande van de binnen- naar de buitenbocht nemen de stroomsnelheid, de korrelgrootte van het bodemsubstraat en het zuurstofgehalte toe. Binnen de directe invloedssfeer van het



Figuur 2.8
De stromingsprocessen in een meanderende beek veroorzaken een karakteristieke sequentie van dwarsprofielen met een bijbehorende afwisseling van milieucondities.

a. de verdeling van de stroomsnelheid in het dwarsprofiel op een vijftal posities in een meanderbocht.

Naar: Leopold et al., 1964.

b. de differentiatie van milieucondities ten gevolge van de stromingsprocessen uitgewerkt voor positie 3 uit figuur 2.8a.

Naar: Moller-Pillot, 1971; Van den Brandt et al., 1983; Harmsen et al., 1988.

Figure 2.8
The flow processes in a meandering stream cause a characteristic sequence of cross-sections and a rich variety in environmental conditions.

a. the distribution of stream velocity in the cross-section at five positions within a meander curve.

After: Leopold et al., 1964.

b. the differentiation of environmental conditions caused by the flow processes as may be found at position 3 of figure 2.8-a.

After: Moller-Pillot, 1971; Van den Brandt et al., 1983; Harmsen et al., 1988.

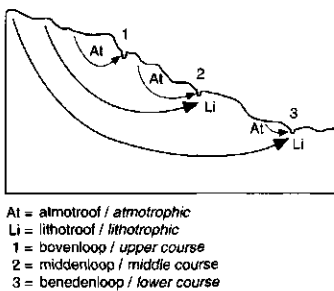
stromende water is sprake van grote dynamiek; de oevervegetatie zorgt voor relatief stabiele condities.

Is in een laaglandbeek eenmaal een meanderende bedding ontstaan die onder de heersende (externe) condities de toestand van het 'dynamische evenwicht' vertegenwoordigt, dan zullen vorm-veranderingen langzaam verlopen (vergelijk Wolfert, 1991²⁰). Een illustratie van dit verschijnsel voor de laaglandbeken treffen we aan bij Kuenen (1944): tussen 1922 en 1944 kon hij in enkele Drentse stroomgebieden slechts marginale verschuivingen van meanderbochten constateren²¹.

Het is evenwel de vraag in hoeverre de huidige dynamiek van de waterhuishouding in de zandgebieden van Nederland (peilbeheer, drainage, wijzigingen in het grondgebruik, aanvoer van water, et cetera) condities bieden voor het ontwikkelen van een evenwichtssituatie in de laaglandbeken.

De samenhang met de stromingsstelsels van het grondwater

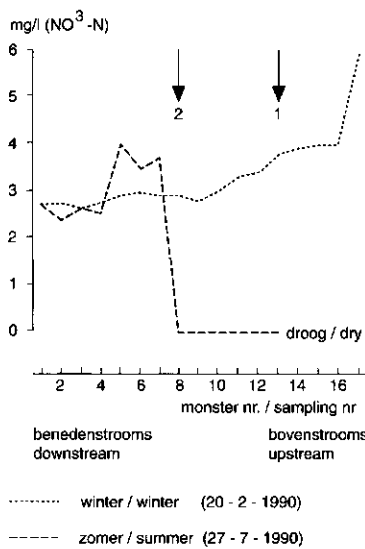
De wijze waarop waterlopen ten opzichte van de grondwaterstromingsstelsels zijn geïmponeerd is vervolgens bepalend voor de kwalitatieve en kwantitatieve eigenschappen van het water c.q. voor de milieucondities ter plekke (Van der Aart et al.,



Figuur 2.9
De hydro-chemische gradiënt in een laaglandbeek. In benedenstroomse richting neemt het aandeel grondwater uit regionale stromingsstelsels toe. Het beekwater ontwikkelt hierdoor van een atmotrofe naar een lithotrofe samenstelling.

Figure 2.9
The hydro-chemical gradient in a lowland stream. This gradient from an atmotrophic to a lithotrophic composition of the water results from an increasing amount of deep groundwater (lithotrophic) discharging in a downstream direction.

Bron / Source : Van den Aart et al. 1988.



Figuur 2.10
De ontwikkeling van de waterkwaliteit in twee laaglandbeken in Noord-Brabant. In beide gevallen treedt een verbetering van de waterkwaliteit op bij voeding uit regionale grondwaterstromingsstelsels.

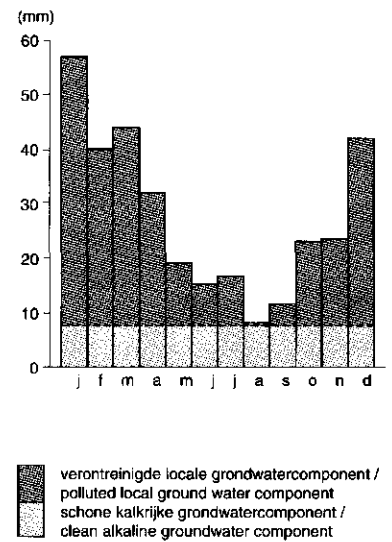
a. Het $\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte van 17 monsterpunten in de Chaamse Beken in een zomer en een winter situatie. 's Zomers staat de beek droog tussen de punten 17 en 13. Vanaf punt 13 vindt dan voeding plaats met schoon, diep grondwater ($\text{NO}_3\text{-N}$ gehalte is 0). Bij punt 8 stroomt oppervlaktewater uit verontreinigde zijbeken in de Chaamse Beken. De $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie neemt sterk toe. De voeding met het schone diepe grondwater vanaf punt 13 leidt 's winters tot een geleidelijke verlaging van de $\text{NO}_3\text{-N}$ concentratie.
Bron: Wassink, niet gepubliceerd.

b. De verandering van de samenstelling van het oppervlaktewater in het Merkske gedurende het jaar. 's Zomers verbetert de kwaliteit door het uitdrogen van de ondiepe, door de landbouw gedomineerde stromingsstelsels, waardoor alleen voeding uit de schone diepe stelsels resteert. In het natte jaargetijde (winter) overheerst voeding door de verontreinigde (landbouw) stelsels.
Bron: Stuurman et al., 1987.

Figure 2.10
The development of the water quality in two lowland streams in the province of Noord-Brabant. In both examples an improvement of water quality appears as a consequence of the supply from regional groundwater systems.

a. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in 17 sample sites in the Chaamse Beken in summer and winter. In summer the stream is dry in its upper course (sites 17-13). From point 13 onward the stream is supplied by clean water from deep groundwater systems ($\text{NO}_3\text{-N}$ concentration is zero). At point 8 water from polluted branches of the Chaamse Beken system debouches in the mainstream, which is reflected by a sharp increase in the $\text{NO}_3\text{-N}$ load. The supply with clean, deep groundwater from point 13 results in winter in a gradual decrease of nitrate concentration.
Source : Wassink, unpublished.

b. The development of water quality in the Merkske stream during a year. In summer water quality improves, while polluted local groundwater flow systems dry out and the stream is only supplied with clean groundwater from deep systems. In winter the supply with water from the polluted systems dominates.
Source : Stuurman et al., 1987.



1988). In situaties waar een beek wordt gevoed door lokale grondwaterstromingsstelsels vanuit de direct aanliggende gronden vinden we de gevoeligheid van deze lokale stelsels voor wisselende meteorologische omstandigheden terug in fluctuerende debieten en stroomsnelheden. De watersamenstelling is atmosferisch. In situaties waar naast lokale stelsels de grondwaterstromingsstelsels van regionale orde domineren leidt het permanente karakter van de diepe(re), regionale stromingsstelsels tot meer continue stromingskarakteristieken en een lithotrofe watersamenstelling. Kenmerkend voor de laaglandbeken is dat deze verschillen zich in het lengte profiel manifesteren zodat een hydrochemische gradiënt ontstaat: in benedenstroomse richting neemt de betekenis van lithotrofe invloeden toe (figuur 2.9; Van der Aart et al., 1988).

De slechte kwaliteit van het grondwater in met name de ondiepe grondwaterstromingsstelsels van de zandgebieden (Vissers et al., 1985; Langeweg, 1988; De Wit en Bleuten, 1988; Beugelink et al., 1989; Stuurman et al., 1989; Engelen et al., 1990) weerspiegelt zich in de milieucondities van de daaruit gevoede beken. Met name in natte perioden vindt aanvoer van sterk eutroof water plaats. In droge perioden drogen deze stelsels uit en kan, mits er sprake is van (enige) voeding uit diepere (schone) grondwaterstromingsstelsels en effluenten uit rioolwaterzuiveringsinstallaties ontbreken, de kwaliteit van het beekwater toenemen (Stuurman, et al., 1987). Is van aanvoer van diep grondwater geen sprake dan kan de beek droogvallen. Deze verschijnselen treffen we bijvoorbeeld aan in de Chaamsche Beken, het Merkske en de Tungelroysche Beek (figuur 2.10). De ontwikkelingsmogelijkheden van beken waar momenteel nog schoon (dieper) grondwater uittreedt, hangen af van de snelheid waarmee eventuele vervuilingfronten in de betreffende stromingsstelsels zich zullen verplaatsen. In Anonymus (1988-c) wordt een voorbeeld gegeven van een situatie waar een actueel door schoon grondwater gevoed natuurgebied over enige decennia door zo'n vervuilingfront zal worden bereikt.

2.4 De hydrologische landschapsstructuur en daaruit voortvloeiende ruimtelijke patronen

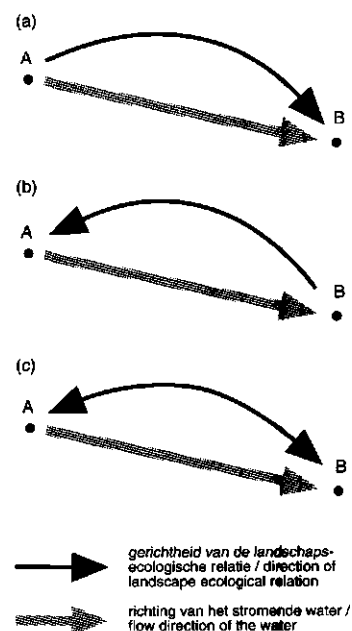
2.4.1 Ruimtelijke relaties ten gevolge van de stroming van grond- en oppervlaktewater

Uit de bespreking van de stromingsprocessen van het grond- en het oppervlaktewater blijkt dat tussen delen van het landschap relaties ontstaan met een bepaalde intensiteit, aard en richting en op verschillende tijd- en ruimteschalen. De stroming van grondwater en oppervlakte water is daarmee één van de belangrijkste mechanismen die tot het ontstaan van landschapsecologische relaties leidt (Van Wirdum, 1979; Kemmers, 1986, 1988; Farjon, 1982; Roelofs et al., 1982; Vos et al., 1982; Grootjans, 1985; Anonymus, 1988-b; Pedroli, 1989). In dit onderzoek wordt de nadruk gelegd op de relaties tussen delen van het landschap in ruimte en tijd: de chorologische en temporele landschapsecologische relaties²². Bij deze relaties kunnen worden onderscheiden (figuur 2.11):

1. relaties in de richting van het stromende water;
2. relaties in tegengestelde richting van het stromende water;
3. relaties in beide richtingen, wanneer er sprake is van een combinatie van 1 en 2.

Relaties in de stromingsrichting van het water

Via de stroombanen van het grondwater en door waterlopen wordt water in een bepaalde richting door het landschap getransporteerd. Met het water worden ook energie, materie en organismen van de ene naar de andere plek verplaatst. Hierdoor ontstaan de typische samenhangen tussen infiltratie- en exfiltratiegebieden en tussen bovenstrooms en benedenstrooms van elkaar gelegen delen van stroomgebieden. De condities in het 'bron' gebied (grondgebruik, vegetatie, meteorologische, geologische en bodemkundige omstandigheden, et cetera) zijn van groot belang voor de aard van de ruimtelijke relatie. Samen met de specifieke omstandigheden in het 'ontvangende' gebied zelf bepalen deze factoren - via onder anderen de aangevoerde hoeveelheden



Figuur 2.11
Een typering van de richting van landschapsecologische relaties ten opzichte van de stromingsrichting van het water.

- a. relaties in de richting van het stromende water
- b. relaties in tegengestelde richting van het stromende water
- c. relaties in beide richtingen

Figure 2.11
A typology of the direction of landscape ecological relations relative to the direction of water flow.

- a. relations that coincide with the direction of water flow
- b. relations that are opposed to the direction of water flow
- c. relations in both directions

water, de sedimentlast, de met het water meegevoerde stoffen en organismen - de milieucondities in het ontvangende gebied. Hierbij moet worden aangetekend dat tijdens het transport processen optreden, die bijvoorbeeld de samenstelling van de met het water meegevoerde stoffen wijzigen. Hierop is reeds gewezen bij de bespreking van de chemische samenstelling van het water in de grondwaterstromingsstelsels. Bij waterlopen is de wijze waarop landschapsecologische relaties zich manifesteren afhankelijk van de inunderende, infiltrerende of drainerende werking van de betreffende waterloop. Bij inundaties, maar ook bij infiltratie vanuit een waterloop, ontstaan er relaties vanuit de waterlopen naar de omliggende gebieden. Bij drainage zijn de stromingsprocessen, en daarmee de daaruit resulterende ruimtelijke relaties, op de waterlopen gericht. Overigens kunnen in een bepaalde waterloop perioden van inundatie, infiltratie en drainage, bijvoorbeeld onder invloed van de meteorologische omstandigheden, elkaar afwisselen.

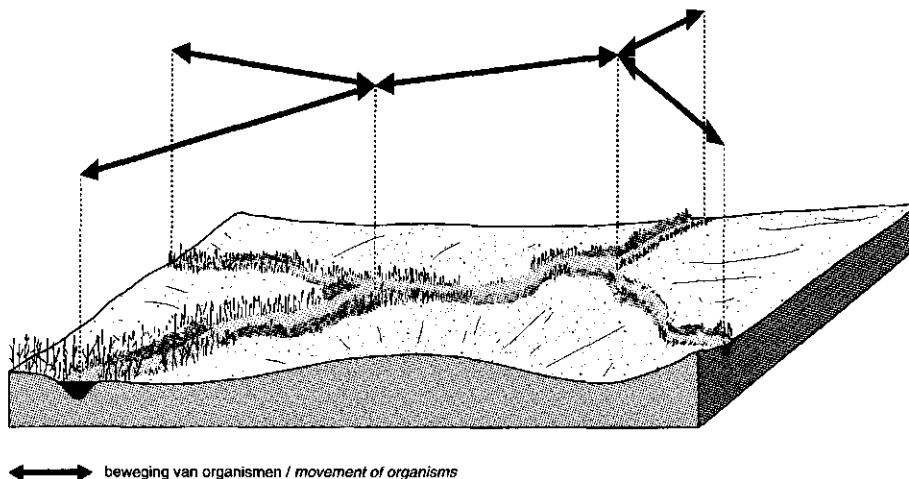
Relaties tegengesteld aan de stromingsrichting van het water

Het water kan dienen als medium waardoor verschijnselen zich tegen de stromingsrichting in voortplanten. In dit verband wordt gesproken van 'terugschrijdende processen'. Processen met een terugschrijdende effect zijn bijvoorbeeld de stagnatie van oppervlaktewater of peilverlaging. Als in een gebied de afvoer stagneert, dan kan het bovenstrooms gelegen deel van het stroomgebied z'n water ook niet meer kwijt, hetgeen tot inundaties leidt. Peilverlagingen in gebieden aan de uitstroomzijde van grondwaterstromingsstelsels of in een benedenstrooms gelegen deel van een stroomgebied, leiden tot verlaging van de drainagebases van de betreffende stromingsstelsels en hebben daarmee invloed op de omvang en de intensiteit van de infiltratie of op het stromingsregime in oppervlakte wateren.

In de fluviaatiele geomorfologie is het proces van 'terugschrijdende erosie' bekend (Harvey en Watson, 1986 en Simon, 1989 op citaat in Wolfert, 1991). Hiermee wordt bedoeld op de waarneming dat een instabiliteit van de oevers - waardoor via erosie de bestaande oevervorm wordt aangepast - zich stroomopwaarts verplaatst. Het sediment dat daarbij vrijkomt wordt vervolgens weer in stroomafwaartse richting afgevoerd. Dit voorbeeld maakt overigens duidelijk dat relaties in de richting van het stromende water en die daaraan tegengesteld soms nauw met elkaar zijn verweven en min of meer gelijktijdig kunnen optreden.

Relaties in beide richtingen

Het duidelijkste voorbeeld van relaties in beide richtingen treffen we aan bij de actieve verplaatsing van organismen. Waterlopen, oevers en vegetaties langs het water



Figuur 2.12

Waterlopen en bijbehorende vegetaties vormen min of meer continue zone's waarlangs en waarin actieve en passieve verplaatsing van organismen plaatsvindt. Hieraan ontlelen deze landschapselementen hun betekenis voor de 'ecologische infrastructuur'.

Figure 2.12

Streams and their riparian zones are important for active and passive movement of organisms through the landscape ('stream corridors').

vormen voor vele organismen logische, doorgaans continue zone's waarlangs of waarin zij door het landschap bewegen (zie bijvoorbeeld: Tolkamp, 1981; Hustings en Kwak, 1983; Schoorl et al., 1981; Gore, 1985). Het netwerk van waterlopen ontleent aan deze migratie mogelijkheden een belang in de 'ecologische infrastructuur' (figuur 2.12) van het landschap.

De verbinding van plekken in de richting parallel aan de stromingsrichting, betekent tegelijkertijd een isolerende werking in de richting loodrecht op de beek. Waterlopen kunnen immers ook barrières voor de verplaatsing van organismen vormen.

Deze bespreking van de relaties in het landschap ten gevolge van de stromingsprocessen in grond- en oppervlaktewater maakt duidelijk dat de hydrologische condities in een bepaald deel van de ruimte - en daarmee de milieuomstandigheden in meer brede zin - zowel door 'boven-' als door 'benedenstroomse' omstandigheden worden beïnvloed.

2.4.2 Ruimtelijke patronen ten gevolge van de stroming van grond- en oppervlaktewater

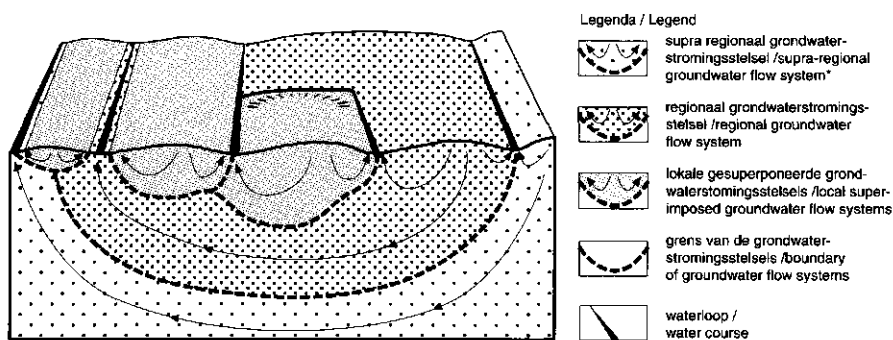
2.4.2.1 Inleiding

De stromingsprocessen in grond- en oppervlaktewater - en daarmee samenhangende relaties - leiden tot het ontstaan van specifieke ruimtelijke patronen. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen 'functionele' en 'zichtbare' ruimtelijke patronen. De 'functionele' ruimtelijke patronen omvatten de specifieke sequenties van eenheden in het landschap die op grond van verschillen in het hydrologisch functioneren kunnen worden onderscheiden (§ 2.4.2.2). Deze patronen zijn vaak niet zonder meer uit het landschap af te lezen. Daarnaast leidt het stromende water - hetzij direct of indirect - tot 'zichtbare' ruimtelijke patronen, zoals die met betrekking tot de geomorfologie en de vegetatie. Deze patronen komen in § 2.4.2.3 aan de orde.

2.4.2.2 De 'functionele' ruimtelijke patronen

Ruimtelijke patronen ten gevolge van de grondwaterstroming

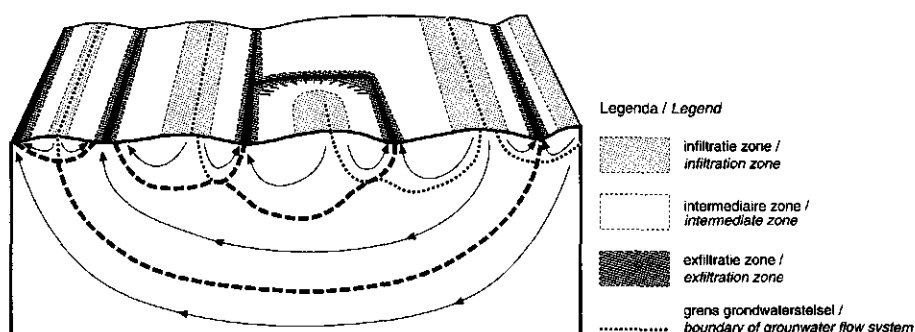
De ruimtelijke relaties die via de stroming van het grondwater ontstaan, leiden tot specifieke ruimtelijke patronen van al dan niet met elkaar verbonden delen van het landschap. Een schematisch beeld van deze patronen, kan worden verkregen door het model van Tóth uit figuur 2.3 in een blokdiagram uit te werken (figuur 2.13). De onderscheiden stromingsstelsels zijn daarbij op het maaiveld geprojecteerd. De hiërarchische organisatie van de stromingsstelsels weerspiegelt zich in de organisatie van de



Figuur 2.13
De hiërarchisch georganiseerde grondwaterstromingsstelsels van verschillende orde (vergelijk figuur 2.3) vormen specifieke landschappelijke patronen. Delen van het landschap zijn met elkaar verbonden of juist van elkaar gescheiden.

Figure 2.13
The hierarchically organised groundwater flow systems of different order (compare to figure 2.3) produce specific landscape patterns. Parts of the landscape are connected; others are separated.

As depicted in figures 2.13 through 2.16 the flows of groundwater and surface water lead to characteristic spatial relations and landscape patterns. As a consequence parts of the landscape are connected or, in contrast, separated from each other. The resulting organisation of the landscape and the related differentiation in environmental conditions, is here referred to as the hydrological landscape structure.



Figuur 2.14.

Binnen de grondwaterstromingsstelsels bestaan functionele sub-eenheden. Deze maken het mogelijk de landschappelijke patronen ten gevolge van de grondwaterstroming verder onder te verdelen.

Figure 2.14

The groundwater flow systems contain of different functional units. These units allow a further elaboration of the system of spatial relations and landscape patterns caused by groundwater flows.

patronen. Naast de stromingsstelsels van diverse orden is ook het onderscheid tussen meerdere stelsels van een gelijke orde belangrijk.

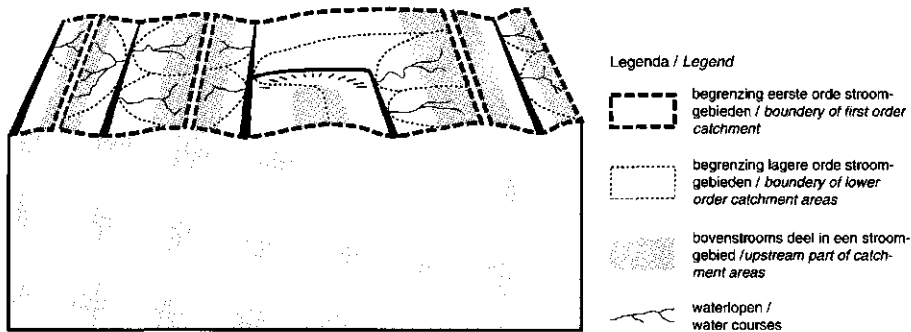
Binnen de grondwaterstromingsstelsels zijn voorts functionele sub-eenheden te onderscheiden (figuur 2.14). Deze eenheden maken het mogelijk de patronen ten gevolge van de grondwaterstroming nader te beschrijven. De grondwaterscheiding verdeelt ieder stromingsstelsel in twee delen met een tegengestelde stromingsrichting van het grondwater. Binnen deze delen kunnen vervolgens diverse stroomtakken aanwezig zijn, waarmee verschillende (al dan niet aan elkaar grenzende) infiltratie- en exfiltratiegebieden aan elkaar gekoppeld zijn. Behalve naast elkaar, kunnen deze stroomtakken ook min of meer gesuperponeerd ten opzichte van elkaar zijn gesitueerd. De infiltratie- en exfiltratiegebieden zijn de kleinste functionele ruimtelijke (sub)eenheden binnen de stromingsstelsels²³.

De eigenschappen van stromingsstelsels en van daarbinnen te onderscheiden functionele eenheden kunnen aanzienlijk verschillen (vergelijk § 2.2.2). Het zijn deze verschillen die bepalend zijn voor de inhoud van de diverse ten gevolge van de stroming van grondwater te onderscheiden ruimtelijke relaties en - samenhangend daarmee - voor de hydrologische condities in de diverse te onderscheiden delen van het landschap. Het zijn met name de tijd-ruimte schalen waarbinnen de betrokken relaties zich voordoen die voor de bedoelde eigenschappen van belang zijn. Sommige grondwaterstromingsprocessen manifesteren zich immers in hoge mate periodiek en over korte afstanden. In andere gevallen zijn constante, over zeer lange afstanden werkzame processen aan de orde.

De ruimtelijke ordening van de grondwaterstromingsstelsels bepaalt de wijze waarop die hydrologische condities zijn verspreid en is daarmee medebepalend voor de milieudifferentiatie in het landschap. Infiltratiegebieden en bijbehorende exfiltratiegebieden bijvoorbeeld kunnen aan elkaar grenzen dan wel op geringe of grote onderlinge afstanden van elkaar liggen (zie figuur 2.3).

Ruimtelijke patronen ten gevolge van de oppervlaktewaterstroming

Ook de ruimtelijke relaties die door de stroming van oppervlaktewater ontstaan vormen specifieke patronen van delen van het landschap die al dan niet met elkaar zijn verbonden. De ruimtelijke eenheid die op basis van de stroming van oppervlaktewater kan worden onderscheiden is het stroomgebied. Het blokdiagram van figuur 2.15 geeft een schematische weergave van de met de stroming van oppervlaktewater samenhangende ruimtelijke patronen. Stroomgebieden worden begrensd door oppervlaktewaterscheidingen²⁴. De vertakkingen van de hoofdwaterloop maken een onderverdeling in deelstroomgebieden mogelijk. De deelstroomgebieden en bijbehorende vertakkingen van het waterlopenstelsel vormen een hiërarchisch geordend geheel waarbinnen stroomgebieden van diverse orde grootte worden onderscheiden. Ook binnen de oppervlaktewaterstromingsstelsels kunnen functionele sub-eenheden worden onder-



Figuur 2.15

De stroomgebieden van het oppervlaktewater van diverse orde en de daarin te onderscheiden functionele sub-eenbeden vormen specifieke landschappelijke patronen. Delen van het landschap zijn met elkaar verbonden of juist van elkaar gescheiden.

Figure 2.15

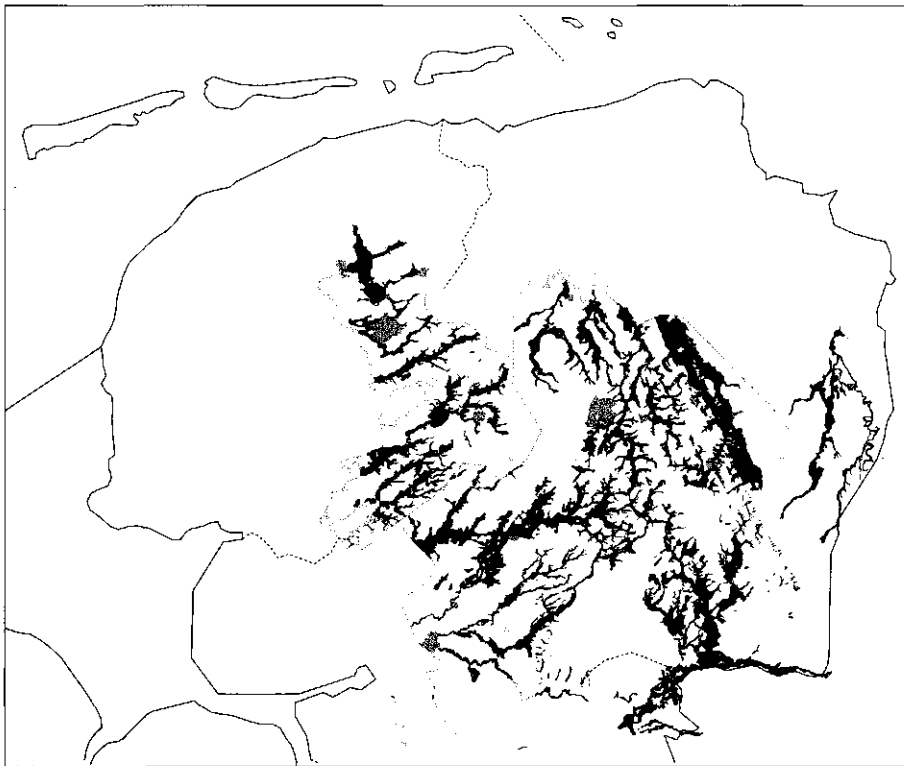
The surface water catchment areas of different order and their functional units produce specific landscape patterns. Parts of the landscape are connected; others are separated.

scheiden (figuur 2.15). Een waterloop deelt een (deel)stroomgebied in twee gedeelten. Tenslotte is voor elk punt of deelgebied in een stroomgebied een boven- en/of benedenstrooms gelegen gebied te onderscheiden.

2.4.2.3 De 'zichtbare' ruimtelijke patronen

Geomorfologische patronen

Ten gevolge van de stroming van het oppervlaktewater ontstaan de specifieke fluviaal-morfologische patronen van stroomdalen en overstromingsvlakten met daarin-



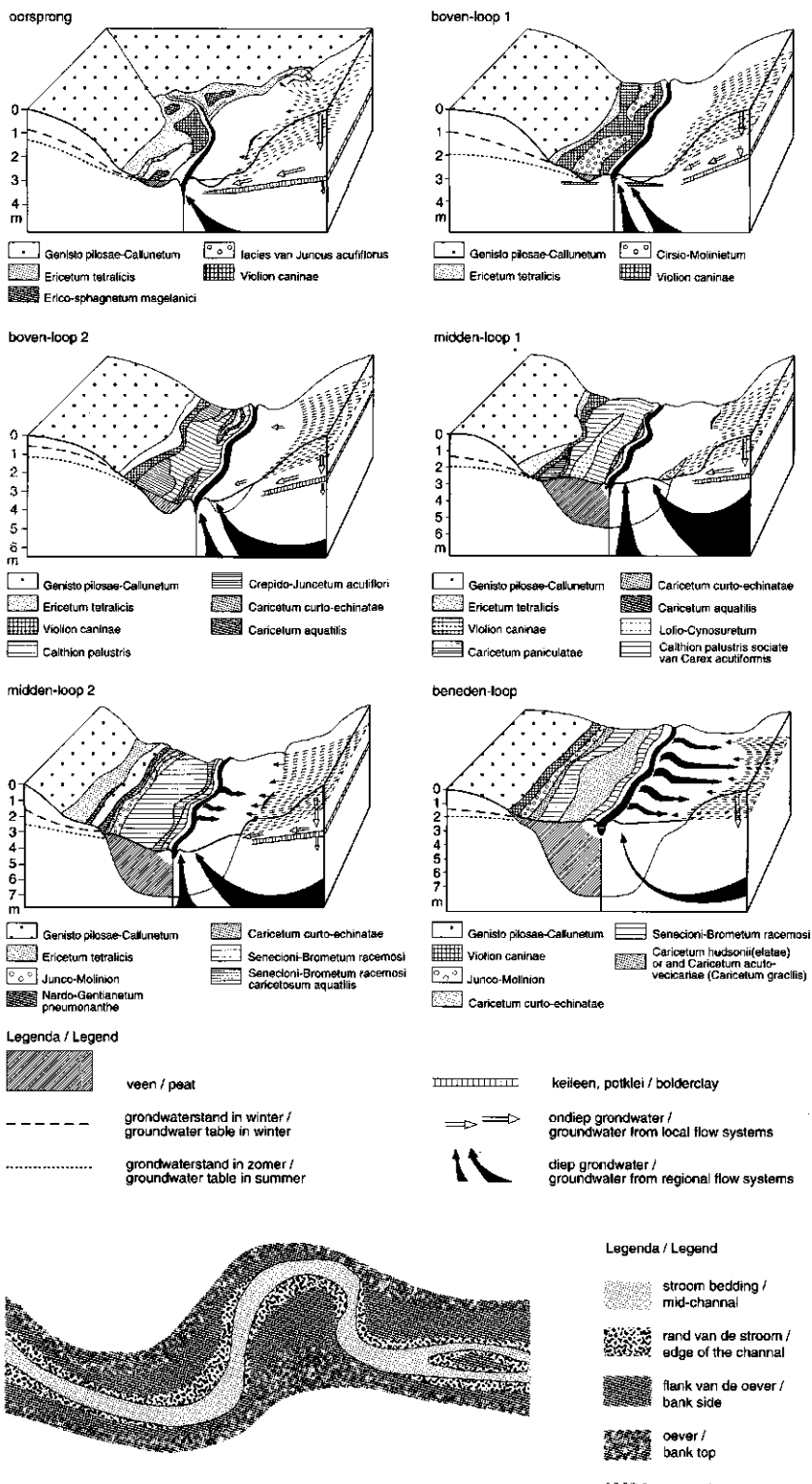
Figuur 2.16

In de zandgebieden van Nederland heeft het samenspel van natuurlijke en antropogene factoren tot specifieke patronen van beekdalen en inundatievlakten geleid: een voorbeeld uit Noord-Nederland.

Figure 2.16

The combination of natural and anthropogenic factors in the dutch pleistocene sandy areas results in specific patterns of brook valleys and floodplains: an example from the northern part of the Netherlands.

Bron / Source : Wassink, in prep.



Figuur 2.17
De vegetatiepatronen langs laaglandbeken.

a. Het stroomdal van de Drenthse Aa. Afhankelijk van de variatie in milieutypen van oorsprong tot monding worden specifieke vegetatietypen aangetroffen. Bron: Grootjans, 1985.

b. De vegetatiezones in en langs een beek door verschillen in stromingsintensiteit. Binnen een meanderbocht verandert de ligging van deze zones. Bron: Lewis and Williams, 1984.

Figure 2.17
The vegetation patterns along lowland streams.

a. The Drenthse Aa stream system. Depending on the variation of environmental conditions from source to mouth specific vegetation types are found. Source: Grootjans, 1985.

b. The vegetation zones that result from different flow processes and stream velocity. Within a meander curve

nen te onderscheiden elementen als meanders, oeverwallen, komgronden, verlaten stroomgeulen, et cetera. Naast natuurlijke factoren spelen ook antropogene processen bij de vorming van deze patronen een rol.

In de zandgebieden van Nederland heeft het samenspel van natuurlijke en antropogene factoren tot specifieke patronen van beekdalen en inundatievlakten geleid. Ter illustratie zijn in figuur 2.16 de aan de laaglandbeken van het Drents Plateau gekoppelde geomorfologische eenheden weergegeven. Duidelijke dalen worden daarbij afgewisseld door (overstromings)vlakten. Ook elders in de zandgebieden worden dergelijke patronen aangetroffen.

Vegetatiepatronen

Een tweede type patronen dat in belangrijke mate de werking van het water in het landschap tot expressie brengt, wordt gevormd door de vegetatie. Langs het lengteprofiel van de waterlopen - van bron tot monding - ontstaat ten gevolge van de variatie in grond- en oppervlaktewaterprocessen en de specifieke interferentie van beiden een van gebied tot gebied specifieke sequentie van milieucondities. Deze opeenvolging komt tot uitdrukking in de vegetatie, waardoor specifieke ruimtelijke patronen worden gevormd. Een voorbeeld van zo'n patroon voor de Drenthse laaglandbeken is uitgewerkt door Grootjans (1985; figuur 2.17-a).

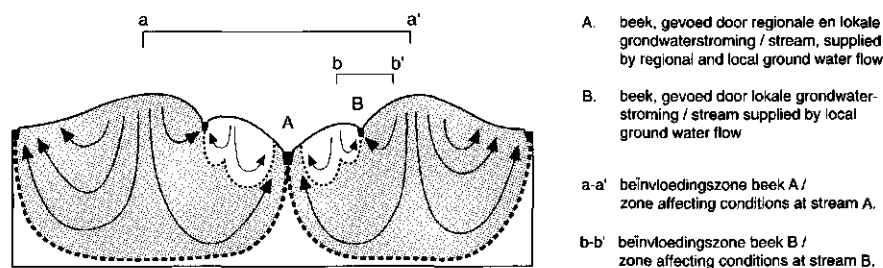
In en langs waterlopen kunnen voorts verscheidene vegetatie zone's worden aangetroffen (Lewis and Williams, 1984). Afhankelijk van de mate waarin meandering optreedt, komen deze zone's afwisselend en al dan niet náást elkaar voor (figuur 2.17-b).

2.4.3 De hydrologische landschapsstructuur

De stroming van grondwater en oppervlaktewater, de daaruit voortvloeiende relaties en ruimtelijke patronen leiden tot een specifieke ordening van al dan niet met elkaar in ruimte en tijd samenhangende eenheden in het landschap. Hieruit resulteren een kenmerkende variatie in milieucondities en een scala aan grondgebruikspotenties. Deze ordening in het landschap tengevolge van de stromingsprocessen van watersystemen, wordt hier aangeduid met de term de hydrologische landschapsstructuur.

Het onderkennen van deze hydrologische landschapsstructuur heeft belangrijke implicaties voor de ruimtelijke planvorming, c.q. de landschapsplanning. Een schematisch voorbeeld (figuur 2.18) kan dit illustreren. In deze figuur zijn twee te beschermen en verder ecologisch te ontwikkelen beekdalen gerepresenteerd.

Een beekdal waar grondwaterstromingsstelsels van een verschillende orde samenkomen (bij A) vertegenwoordigt een situatie met, in potentie, een rijk geschakeerd gradient-milieu. De bescherming en verdere ontwikkeling van deze situatie vergt maatregelen.



Figuur 2.18

Een schematisch voorbeeld van de implicaties van de hydrologische landschapsstructuur voor de ontwerp en inrichting van het landschap.

Twee beekdalen met een fundamenteel verschillende positie in de hydrologische landschapsstructuur (A en B) zijn weergegeven. De bescherming van A vergt - door de grote beïnvloedingszone en lange verblijftijden - meer tijd en moeite dan van B. Anderzijds kan bij A de grootste ecologische differentiatie ontstaan.

Figure 2.18.

A schematic example of the importance of the hydrological landscape structure for landscape planning.

Two streams with different positions in the hydrological landscape structure are depicted (A and B). The protection of A is more difficult and takes more time than the protection of B. This is because the zone affecting environmental conditions and the residence time of the groundwater in A are larger than in B. At the other hand, the combination of water types at A may result in a larger differentiation of environmental conditions.

len over relatief grote oppervlakten. Het beïnvloedingsgebied op grote afstand brengt met zich mee dat het risico op ongewenste effecten van verdroging, verontreiniging, et cetera relatief groot is. Daar komt nog bij dat ten gevolge van de lange verblijftijden allerlei negatieve effecten zich momenteel nog niet manifesteren, maar op langere termijn funest kunnen zijn. Hierbij valt te denken aan een 'vervuilingsfront' in de diepere grondwaterstelsels dat in de toekomst de natuurontwikkeling in het beekdal kan frustreren. De bescherming en ontwikkeling van deze situatie brengt allerlei knelpunten met zich mee op financieel en bestuurlijk vlak. Er moet veel grond worden verworven of op een andere wijze worden veilig gesteld en er zullen vele grondgebruikers en overheden van buiten het directe plangebied betrokken moeten worden. Een minder complexe situatie (bij B) heeft doorgaans een minder gevarieerde milieu-gradiënt tot gevolg. De bescherming en ontwikkeling is evenwel eenvoudiger te realiseren door maatregelen op een lokale schaal. Sanering van een ongewenste situatie zal door de kortere verblijftijden eerder positieve resultaten te zien geven. Het voorbeeld maakt duidelijk dat in afhankelijkheid van de aangetroffen (hydrologische) condities en de gewenste eindtoestand de aard en omvang van planningsmaatregelen aanzienlijk kunnen verschillen.

1 Van Wirdum (1980) onderscheidt op basis van de invloedssfeer van het water:

- *atmocliën of atmosferoof water; dit staat onder invloed van de atmosfeer. Het water is mineraalarm, hetgeen tot uiting komt in een lage ionen-ratio en dito elektrisch geleidingsvermogen;*
- *lithocliën of lithotroof water; dit betreft water onder invloed van de lithosfeer (het gesteente). Dit is water dat door het verblijf in de ondergrond veel mineralen heeft kunnen opnemen (hoge ionenratio en een matig geleidingsvermogen);*
- *thalassocliën of thalassotroof water; hier gaat het om water onder zee-ïnvloed. Dit zoute water heeft een lage ionenratio, maar een hoog geleidingsvermogen;*
- *'antropotroof' of Rijnwater-achtig; het gaat hier om water dat onder invloed van antropogene invloeden belast is met stoffen die er van nature niet of niet in dergelijke hoeveelheden thuishoren.*

Binnen deze hoofdgroepen zijn weer diverse onderscheidingen mogelijk. Voor het lithocliën of grondwater is de classificatie van Stuyfzand (1986) een veel gebruikte. Een discussie over dergelijke classificatie systemen treffen we aan bij Pedrolí (1989).

2 Een agens is "datgene dat door een beweging van het ene gebied naar het andere gebied een ruimtelijke uitwisseling van materie, energie en/of organismen tot stand brengt" (Vos et al., 1982). Een medium is "datgene waarlangs, waardoor of waarin één of meer agentia zich bewegen" (Vos et al., 1982).

3 Grondwater, in de meest brede zin opgevat, is het water dat beneden het grondoppervlak of maaiveld voorkomt (Hooghart, 1986). Een wiskundige wetmatigheid voor grondwaterstroming werd in 1856 geformuleerd door Darcy.

4 Regionaal wil in dit verband zeggen dat infiltratie- en bijbehorende exfiltratiegebieden als onlosmakelijke eenheden van studie worden beschouwd (Freeze and Witherspoon, 1966).

5 Stationair wil zeggen dat veranderingen in de tijd buiten beschouwing blijven. Isotropoof geeft aan dat de doorlatendheid in horizontale richting en in verticale richting gelijk verondersteld worden.

6 "A local system of groundwater flow has its recharge area at a topographic high and its discharge area at a topographic low that are located adjacent to each other." Tóth (1963, p. 4806)

"The major characteristic of an intermediate system of groundwater flow is that, although its recharge and discharge areas do not occupy the highest and lowest elevated places, respectively, in the basin, one or more topographic highs and lows may be located between them." Tóth (1963, p. 4806)

"A system of groundwater flow is considered to be regional if its recharge area occupies the water divide and its discharge area lies at the bottom of the basin." Tóth (1963, p. 4806)

7 Het centrale uitgangspunt in al deze studies is dat hydrologische parameters en (daarmee samenhangende) verschijnselen niet afzonderlijk kunnen worden beschouwd, maar in een 'systeem-concept' aan elkaar gerelateerd moeten worden. Dit uitgangspunt is ook door Domenico (1972) onder verwijzing naar Meyboom (1966-a) en Thomas and Leopold (1964) onderstreept.

8 Op basis van dergelijke genetische verschillen zijn de reeds eerder gememoreerde systemen voor de classificatie van de grondwatersamenstelling opgesteld (Van Wirdum, 1979; Stuyfzand, 1986; Pedrolí, 1989).

9 Deze stromingsstelsels zijn - in verband met hun geringe omvang - niet in figuur 2.4 weer te geven. Ze kunnen vrijwel overal in de zandgebieden worden aangetroffen.

10 De dichtheid is gedefinieerd als de totale lengte aan waterlopen, gedeeld door de oppervlakte van het betreffende gebied. De vertakingsgraad of bifurcatie ratio geeft de mate waarin en wijze waarop een waterloop zich in waterlopen van een lagere orde splitst.

11 Een 'netwerk' kan worden opgevat als "a meshed fabric of nodes and connecting ropes" (Hagget en Chorley, 1969). Daarbinnen maken zij een onderscheid tussen "branching networks" en "circuit networks".

Het eerste type wordt gekenmerkt door een boomstructuur en een hiërarchische organisatie. De 'knooppunten' in dit netwerk zijn door lijnstukken in een bepaalde richting met elkaar verbonden. Het stelsel van waterlopen is hiervan een duidelijk voorbeeld, waarbij de richting van het netwerk wordt bepaald door de overwegende reliëf-gradiënt. Het tweede type heeft geen hiërarchie; de knooppunten zijn in allerlei richtingen via lijnstukken met elkaar verbonden, zodat allerlei dwarsverbanden ('circuits') ontstaan. Een voorbeeld hiervan vormt het wegenstelsel.

12 Newson (1984) spreekt liever van een "meta-stability" dan van een evenwicht. Hiermee drukt hij uit dat veranderingen in afvoer en sedimentlast plotselinge (vorm)veranderingen teweeg kunnen brengen. Daartussen bestaan perioden met relatief stabiele omstandigheden.

Het optreden van het 'dynamisch evenwicht' heeft wellicht te maken met de neiging van waterlopen om een zodanige vorm aan te nemen dat een gelijkmatige dissipatie van energie langs het lengteprofiel optreedt. Een meanderende vorm biedt daarvoor waarschijnlijk de meest gunstige situatie. Meanders hebben dan ook onder de meest uiteenlopende condities steeds vergelijkbare geometrische verhoudingen (Leopold et al., 1964).

13 Wolfert (1991) spreekt in dit verband van een drempelwaarde. Pas wanneer deze waarde wordt overschreden zal verstoring van het evenwicht optreden.

14 Deze werking van beplantingen is in de BRD gebruikt als cultuurtechnische maatregel voor het voorkomen van erosie en intensief onderhoud van waterlopen. In Nederland vinden we dit terug in de discussie over het toepassen van zogenaamde 'houtwalbeken' als combinatie van cultuurtechnische en natuurtechnische inrichtingsmaatregelen (Bonnema et al., 1988;).

15 De Vries (1974) formuleerde hiervoor het zogenaamde "groundwater-outcrop erosion model". "The groundwater-outcrop erosion concept ... describes stream systems which are caused by an excess of recharge over groundwater discharge capacity" (p. 20).

16 Het verspreidingsgebied van de laaglandbeken is beperkt tot het deel van het Noord-West Europese laagland met zandig ontwikkelde bodems.

17 Bij afvoerpieken kunnen stroomsnelheden van 1.0 m.s-1 of meer optreden. Lokaal, bijvoorbeeld langs en op de randen van de stuwwalen, vinden we beken waar de gemiddelde stroomsnelheid boven de 0.3 - 0.5 m.s-1 ligt. Hier wordt dan ook wel van 'bergbeken' of 'terrasrandbeken' gesproken (zie onder anderen: Bink et al., 1979; Higler, 1983).

18 Soms is er sprake van min of meer duidelijke bronnen (zoals in Twente) of gegraven 'sprengen' (Veluwe) in het oorspronggebied.

19 Baaijens (1988) brengt het ontstaan van de meanderende Achterhoekse beken evenwel in verband met een specifiek occupatie-proces, waarbij het bevoeien van landbouwgronden met slibrijk water (het geen fungeert als bemesting) werd bevorderd. In minder door de mens beïnvloede situaties zou sprake zijn geweest van een groot aantal afvoerloze terreindepressies met stagnerend water. Later zijn deze depressies met elkaar verbonden ten behoeve van de bevoeiingssystemen. Ook Van den Brand et al. (1983) wijzen - onder vermelding van Van de Westeringh - op een dergelijke antropogene achtergrond van de beken in de Achterhoek.

20 Wolfert (1991) noemt het geringe reliëf als een van de belangrijkste factoren voor het achterwege blijven van grote (vorm)veranderingen van de laaglandbeken. Het herstel van meandering in (sterk antropogeen beïnvloede) waterlopen zal dan niet zonder meer via natuurlijke processen kunnen verlopen. Er dient dan direct - door middel van graafwerkzaamheden en dergelijke- in de vorm van de waterlopen te worden ingegrepen.

21 Kuenen (1944) komt tot de conclusie: "Bij de kleine Dentsche stroompjes gaat de verplaatsing en vorming der kronkels uitermate langzaam en vindt plaats door min of meer snelle veranderingen van een zeer beperkte uitgebreidheid" (p. 235). Vergelijk Newson (1984).

22 De processen die zich afspelen in de bodem (c.q. de onverzadigde zone) blijven hierbij buiten beschouwing. Deze processen zijn van operationele en conditionele aard en betreffen de topologische landschaps-ecologische relaties. Uiteraard bestaat er tussen het chorologische en het topologische relatie-stelsel een samenhang. De werkingsmechanismen op het topologische niveau zijn daarbij afhankelijk van de "randvoorwaarden" die op het chorologische niveau werkzaam zijn (zie onder anderen: Kemmers, 1986, 1988; Anonymus, 1988-b).

23 Onder bepaalde omstandigheden wisselen infiltratie- en exfiltratiegebieden elkaar in ruimte en tijd sterk af. Dergelijke gebieden worden wel aangeduid met "intermediaire gebieden" (Stuuman et al., 1989). Feitelijk gaat het om complexen van kleine, lokale grondwaterstromingsstelsels, ruimtelijk doorgaans gesitueerd op de overgang van meer permanente infiltratie- en exfiltratiegebieden.

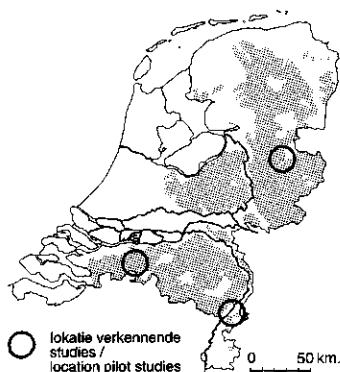
24 De oppervlakte-waterscheiding is doorgaans te vinden in topografisch hoger gelegen terreingedeelten. Deze oppervlakte waterscheiding valt niet altijd samen met de grondwaterscheiding (bijvoorbeeld in karstgebieden).

3 NAAR EEN WATERSYSTEEMBENADERING VOOR LANDSCHAPSPLANNING

3.1 Inleiding

In een verkennende fase van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan dit proefschrift zijn in een viertal over de zandgebieden van Nederland verspreide gebieden ontwerpstudies uitgevoerd (figuur 3.1; Van Etteger en Veekamp, 1990; Wassink, 1991; Van Engen en Vlaanderen, 1991; Van Hoorn en Rijntjes, 1991). Het doel daarvan vormde om - al doende - inzichten te verkrijgen in de wijze waarop hydrologische kennis in het ontwerpproces kan worden benut. De resultaten van deze 'pilot-studies' zijn daarna uitgewerkt en aangescherpt binnen de voorbeeldstudies die zijn beschreven in deel 2 van dit proefschrift.

Op grond van deze studies kan een contour worden geschetst van wat hier een 'watersysteembenadering voor landschapsplanning' is genoemd. Deze benadering omvat een aantal min of meer vastomlijnde, zoveel mogelijk in algemene termen beschreven² procedurele stappen voor de wijze waarop hydrologische kennis in de drie centrale onderdelen van het ontwerpproces - analyse, synthese en evaluatie - kunnen worden toegepast (figuur 3.2).



Figuur 3.1
De ligging van de gebieden waarvoor in de verkennende fase van onderhavig onderzoekte ontwerpstudies zijn uitgevoerd.

Figure 3.1
The location of the pilot studies that preceded this research.

3.2 De analyse fase

3.2.1 Inleiding

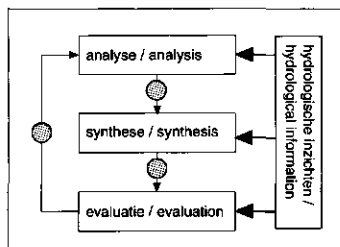
De watersysteembenadering voor landschapsplanning omvat in het analyse stadium de volgende elementen:

- een beschrijving van de hydrologische landschapsstructuur van het betreffende gebied met behulp van de methode van de hydrologische systeemanalyse (§ 3.2.2);
- een analyse van de wijze waarop de diverse vormen van grondgebruik via het water aan elkaar zijn gerelateerd en een daaruit voortvloeiende uitwerking van het (plannings)probleem (§ 3.2.3).

Deze elementen maken deel uit van hetgeen in de literatuur wordt aangeduid met 'de landschapsanalyse', door Vroom (1982) omschreven als "het leren kennen en waarderen van de bouwstenen, krachten, evenwichten, processen, et cetera welke tezamen een te onderzoeken landschap bepalen" (p. 293) (vergelijk met Sauer, 1925; Lewis, 1963; Belknap en Furtado, 1967; Steiner, 1991). Het "layer-cake model" van Wallace, MacHarg, Roberts and Todd (Steiner, 1991; figuur 3.3) vormt een illustratie van de positie van hydrologische inzichten ten opzichte van andere elementen die bij een landschapsanalyse aan de orde zijn.

3.2.2 De hydrologische systeemanalyse

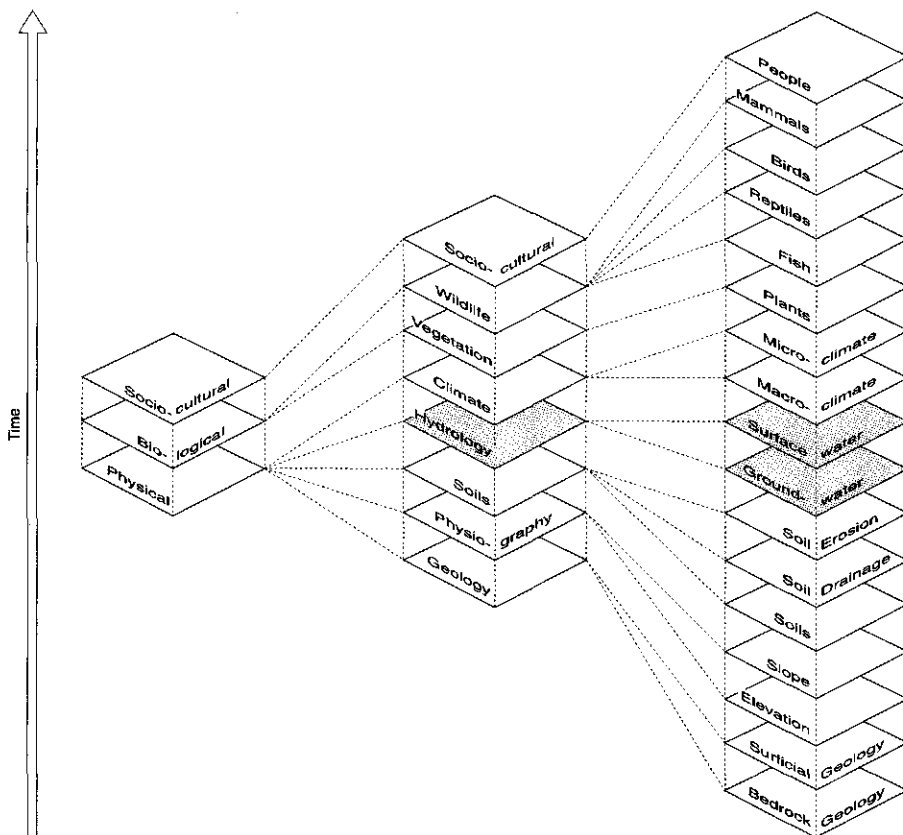
Het identificeren van de hydrologische landschapsstructuur vergt methoden waarmee de diversiteit aan hydrologische verschijnselen in hun onderlinge ruimtelijke samenhang en integraal kunnen worden beschreven en geanalyseerd. De opkomst van de ecohydrologie als wetenschappelijke discipline (Pedroli, 1987) en de introductie van het 'integraal waterbeheer' als beleidscategorie (Anonymus, 1985-a) hebben een stroomversnelling in de ontwikkeling van dergelijke methoden teweeggebracht³. Eén



● moment in het proces waarin normatieve elementen een rol spelen (maken van keuzes, "creatieve sprongen", etc.) / stage in the design process dominated by normative decisions (choices, "creative leaps", etc.).

Figuur 3.2
Hydrologische inzichten kunnen in alle fasen uit het ontwerpproces een rol spelen. Voor de toepassing van deze inzichten zijn procedures beschreven, samen aangeduid als de watersysteem benadering voor landschapsplanning.

Figure 3.2
The procedural elements of the design process: analysis, synthesis and evaluation. Hydrological information may be applied in each stage of the design process. The hydrological systems approach, as described in this chapter, comprises a number of steps for the way in which hydrological knowledge can be applied in landscape planning.



Figuur 3.3.
Het 'layer-cake' model voor landschapsanalyse, met daarin de positie van de hydrologie temidden van vele andere aspecten.

Figure 3.3
The 'layer-cake' model for landscape analysis. Apart from hydrology, many other aspects are important.

Naar / After : Wallace, McHarg, Roberts and Todd in Steiner, 1991.

van die methoden is de regionale hydrologische systeemanalyse (zie o.a. Engelen and Jones, 1986; Stuurman et al., 1989; Gieske, 1989; De Ruiter, 1986; Garritsen, 1988; Engelen et al., 1989; Engelen et al., 1990; Kloosterman en Stuurman, 1992; Kloosterman et al., 1993; Stuurman et al., 1993; Foppen et al., 1994; Engelen en Kloosterman, 1996 vergelijk met onder anderen Vissers et al., 1985; Van Beusekom et al., 1990; Bruggink et al., 1990).

Theoretische achtergronden

De regionale hydrologische systeemanalyse is "een methode om watersystemen te onderscheiden naar soort, schaal, onderlinge samenhang, ruimtelijke verbreiding en gedrag in de tijd" (Engelen et al., 1989)⁴. De grondwaterstromingstheorie van Tóth (1963) vormt de basis voor de methode. Van wezenlijk belang is dat in de hydrologische systeemanalyse de aandacht primair is gericht op het stromende water zélf, dit in tegenstelling tot meer klassieke grondwateronderzoeken waar het stromingsmedium veeleer centraal staat⁵. Dit uitgangspunt maakt het mogelijk en zinvol een groot aantal gegevens van niet direct hydrologische aard in de regionale analyses te betrekken.

Daarbij kan worden gedacht aan patronen en processen die traditioneel in het kader van een landschapsanalyse worden bestudeerd, zoals die met betrekking tot de geologie, de geomorfologie, de topografie, de bodem, de grondwatertrappen, de verkaveling, de vegetatie, het grondgebruik, de drainagepatronen en de daarin opgetreden ontwikkelingen in de tijd. De kaarten - vaak uit verschillende perioden - en andere gegevens hieromtrent bieden een (vrijwel) vlakdekkende bron van informatie over de ruimtelijke kenmerken van het watersysteem in verschillende perioden (Engelen et al., 1989; Stuurman et al., 1989; vergelijk met Tóth, 1966; Meyboom, 1966-b; Domenico, 1972). De hydrologische systeemanalyse kan dan ook worden opgevat als een metho-

de om binnen de landschapsanalyse de rol van het water als landschapvormende factor in een specifiek gebied te analyseren.

Methodiek en resultaat

Voor de uitvoering van de hydrologische systeemanalyses is een min of meer vastomlijnde werkmethode beschreven (figuur 3.4; Stuurman et al., 1989; Kloosterman en Stuurman, 1992). Het startpunt is het verzamelen van bestaand materiaal in de vorm van ruimtelijke gegevens (waaronder - historische - topografische kaarten, bodemkaarten, waterstaatskaarten, geologische kaarten en profielen) en tijdreeksen van aan punten gebonden meetgegevens. Op basis van deze informatie kunnen de eerste (hypothetische, kwalitatieve) uitspraken omtrent de ligging en de eigenschappen van de grondwaterstromingsstelsels worden gedaan. Daarna volgt een fase waarin de veronderstellingen worden getoetst, bijgesteld en uitgewerkt. Hierbij spelen (computer) simulatiemodellen een belangrijke rol. Daarnaast kan het nodig zijn aanvullende gegevens te verzamelen, zonodig via veldwaarnemingen.

Het uiteindelijke resultaat van de werkzaamheden is een kaart - met toelichting - met de ligging van de hydrologische systemen. Deze kaart duidt de ligging van de te onderscheiden stromingsstelsels aan. De infiltratie- en exfiltratiegebieden van deze stelsels zijn weergegeven. Soms worden als verdere onderverdeling nog meerdere stroomtakken vanuit één infiltratiegebied onderscheiden. De grenzen van de stromingsstelsels kunnen van verschillende aard zijn; sommige zijn permanent, anderen variëren in de tijd. Deze kaarten kunnen voor diverse, relevante horizontale vlakken (maaiveld, verschillende diepten) worden gemaakt. De ligging en de vorm van de stromingsstelsels wordt doorgaans nader geïllustreerd met profielen (verticale doorsneden) of met driedimensionale figuren. Samen geven deze, met de kaarten, een beeld van de hydrologische landschapsstructuur in het betreffende gebied.

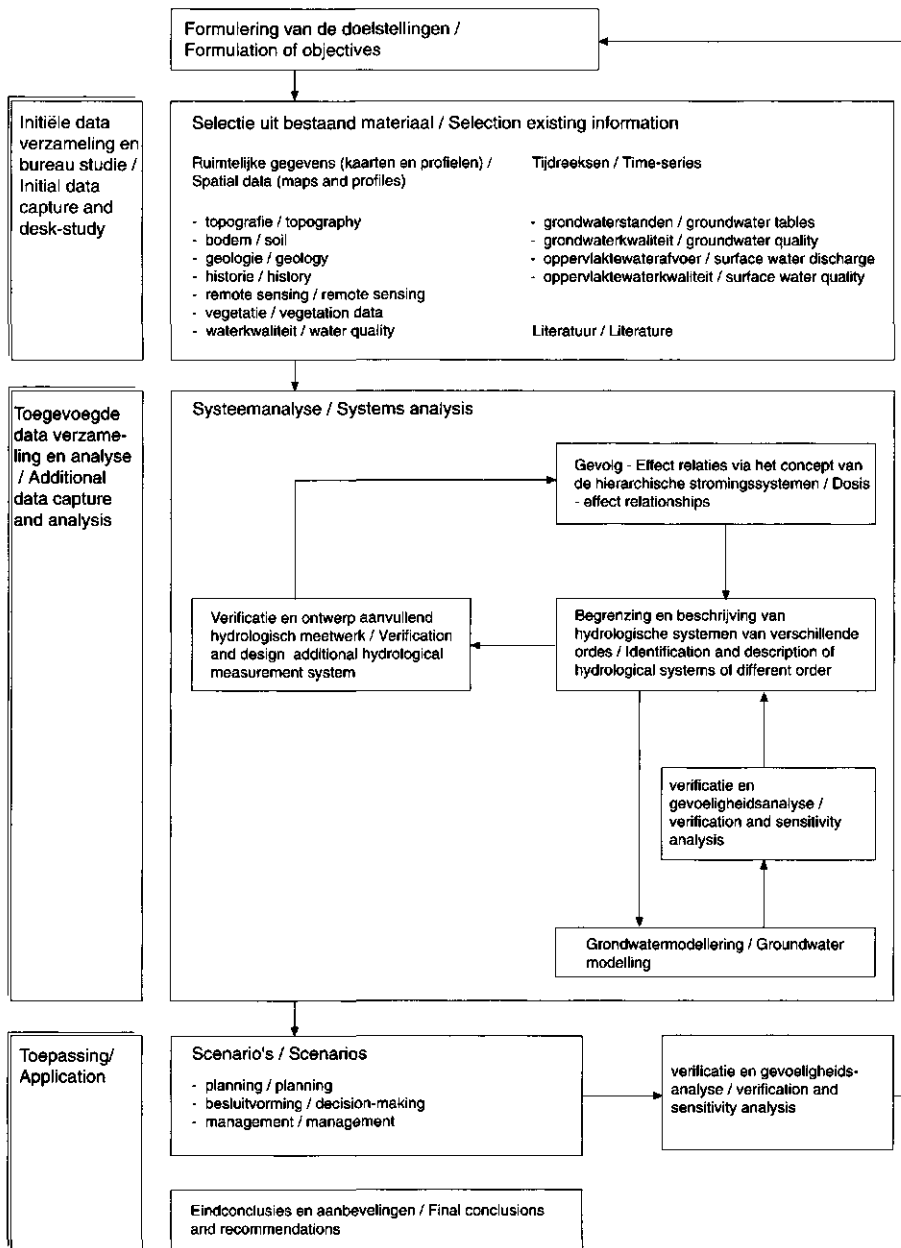
De feitelijke invulling van deze methodiek kan van geval tot geval variëren. Er moet steeds een afweging worden gemaakt tussen beschikbare middelen (tijd, geld), het doel waarvoor de analyse wordt gebruikt en de gewenste of benodigde precisie waarmee de watersystemen worden beschreven. Daarbij spelen voorts de schaal waarop het betreffende gebied wordt bestudeerd en de beschikbaarheid van gegevens een belangrijke rol. Uiteraard dient te worden bedacht dat het bij de stromingsstelsels om hiërarchisch gerangschikte grootheden gaat. Er is dus op elk schaalniveau sprake van samenhangen met hogere en lagere niveaus. Om hiermee rekening te houden wordt in veel studies waarin de hydrologische systeemanalyse wordt toegepast een 'inzombenadering' gevolgd. Daarbij wordt van een globaal naar een gedetailleerd schaalniveau gewerkt (zie bijvoorbeeld Garritsen, 1988; Stuurman et al., 1989).

Bij de uitvoering van de hydrologische systeemanalyse wordt doorgaans een historisch perspectief gekozen. In de eerste plaats vloeit deze werkwijze voort uit het gegeven dat de ontstaansgeschiedenis van belang is voor de huidige eigenschappen van de stromingsstelsels. Bovendien komt de keuze voor een historisch perspectief voort uit de veronderstelling dat een groot deel van de huidige problemen samenhangt met hydrologische veranderingen sinds met name de negentiende eeuw (zie bijvoorbeeld Pedrolì, 1989; Schot, 1991). Vanuit dit historisch perspectief kan een goed begrip ontstaan van de processen die ten grondslag liggen aan de huidige problemen in het landschap. Ten slotte biedt de historische informatie een indicatie omtrent (hydrologische) condities die kunnen ontstaan in een toestand met een verminderde antropogene invloed. Deze indicaties zijn van belang als referenties voor ontwerpvoorstellen waarbij een - gedeeltelijk - herstel van 'natuurlijke' (hydrologische) processen voorop staat.

3.2.3 De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen

3.2.3.1 Inleiding

De resultaten van hydrologische systeemanalyses maken een analyse van het grondgebruik in relatie tot de hydrologische systemen mogelijk. Hiermee kan het begrip van de problematiek in het betreffende gebied worden vergroot. Deze analyse



Figuur 3.4 De watersysteembenadering voor landschapsplanning: de werkmethode voor de hydrologische systeemanalyse als onderdeel van de landschapsanalyse.

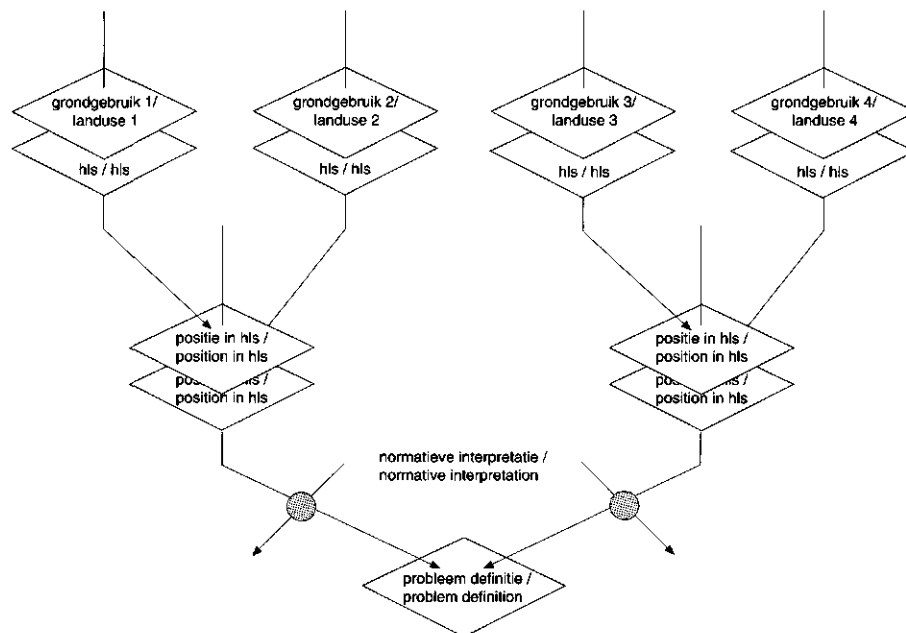
Figure 3.4 The hydrological systems approach to landscape planning: the method of the hydrological systems analysis. An appropriate method for the elaboration of hydrological aspects in the landscape analysis.

Naar / After: Stuurman et al., 1987.

kan worden voorgesteld als het maken van een serie 'kaart-overlays', zoals in figuur 3.5 is weergegeven.

In de eerste stap van deze analyse worden kaarten van de hydrologische landschapsstructuur en van relevante vormen van grondgebruik gecombineerd. Het doel hiervan is na te gaan hoe de onderscheiden vormen van grondgebruik in de hydrologische landschapsstructuur zijn gepositioneerd. Mogelijke resultaten van deze stap zijn bijvoorbeeld kaarten van natuurgebieden of landbouwgebieden, waarin een uitsplitsing is gemaakt naar ligging in infiltratie- en exfiltratiegebieden van stromingsstelsels van verschillende orde.

In de tweede stap van de analyse worden de inzichten omtrent de hydrologische positie van twee of meer vormen van grondgebruik met elkaar geconfronteerd. Deze con-



Figuur 3.5
De watersysteembenadering voor landschapsplanning: een schematische weergave van de analyse van het grondgebruik versus de watersystemen. Een beschrijving en beoordeling van de positie van grondgebruiksvormen in de hydrologische landschapsstructuur (hls) leidt tot een probleemdefinitie.

Figure 3.5
The hydrological systems approach to landscape planning: a schematic representation of the analysis of land-use types versus the hydrological systems. A description and judgement of the position of land-use types within the hydrological landscape structure (hls) leads to a problem definition.

frontatie maakt het mogelijk om aan te duiden of er via de stromingsprocessen in de watersystemen, i.c. de daaruit voortvloeiende ruimtelijke relaties, samenhangen tussen de betreffende vormen van grondgebruik aanwezig zijn. Is dat inderdaad het geval, dan kan ook de aard van die samenhangen worden beschreven. Zo kan bijvoorbeeld worden nagegaan welke hydrologische relaties bestaan tussen natuur- en landbouwgebieden.

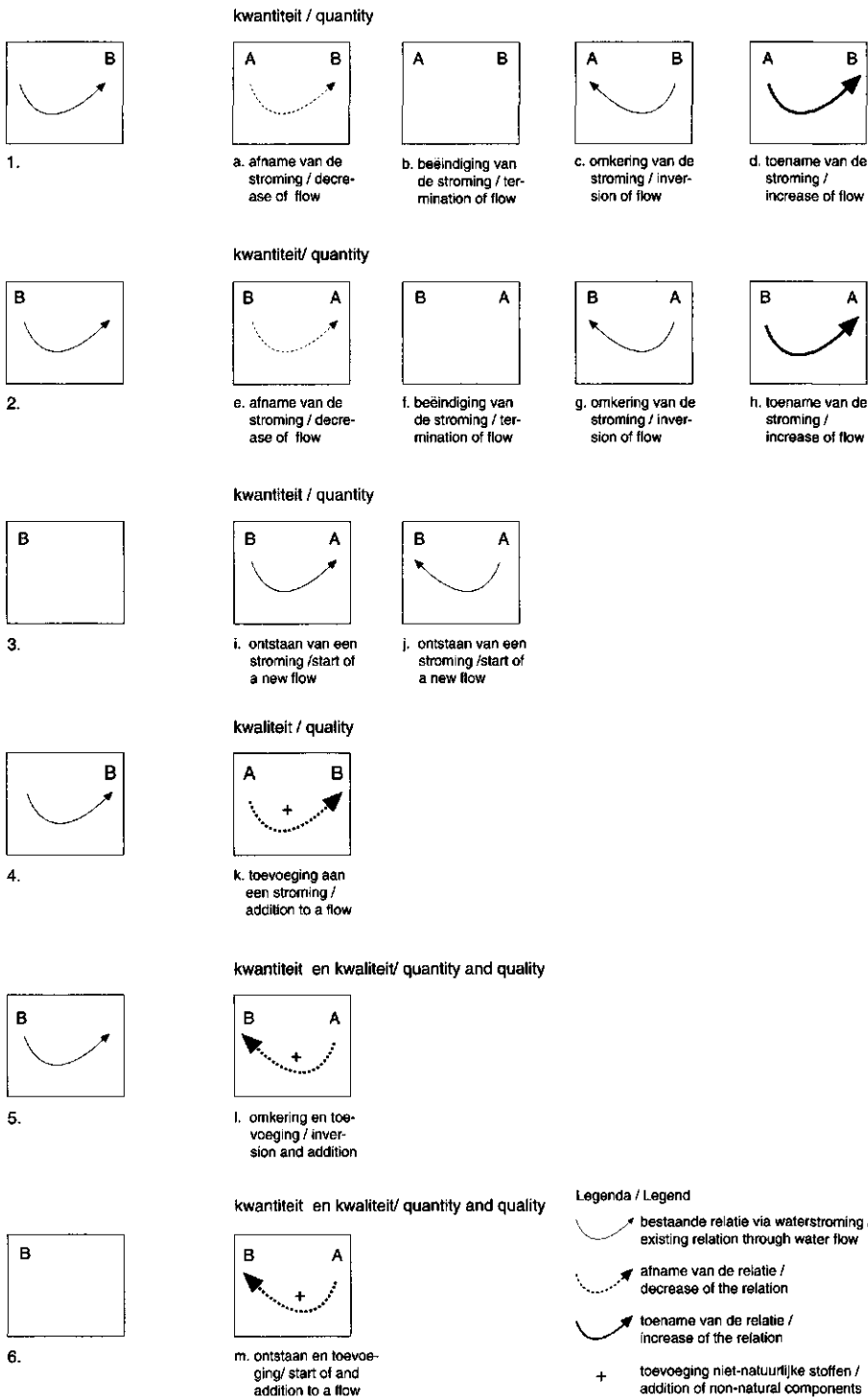
De laatste stap van de analyse bestaat uit een (normatieve) beoordeling van de in stap twee beschreven samenhangen. Er wordt ingeschat of er sprake is van een negatieve beïnvloeding van een of meer van de betrokken vormen van grondgebruik ten gevolge van de beschreven relatie(s). Het is daarbij van belang om na te gaan of en in hoeverre de inhoud van dergelijke relaties in de loop der tijd is gewijzigd. Juist hiervoor zijn hydrologische systeemanalyses nodig die behalve van de huidige ook een indruk geven van een historische hydrologische toestand. Hieronder wordt een typering gegeven van dit type (grondgebruiks)problemen. Het resultaat van de derde analyse stap is een definitie van problematiek van het grondgebruik in relatie tot het functioneren van de hydrologische systemen.

3.2.3.2 Een typering van problemen via de stroming van water

Op grond van het hydrologisch functioneren kan een nadere typering worden gegeven van de samenhangen - via de stroming van water - tussen de verschillende vormen van grondgebruik die tot problematische situaties aanleiding kunnen geven. Er wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen relaties van (primair) kwantitatieve aard of van kwalitatieve aard, en van een aanduiding van de uitgangssituatie (figuur 3.6). Er zijn drie verschillende uitgangssituaties onderscheiden. In figuur 3.6 worden steeds twee vormen van grondgebruik onderscheiden, aangeduid met respectievelijk 'A' en 'B'. A staat hier voor de 'bedreigende' vorm van grondgebruik die B - de 'bedreigde' vorm van grondgebruik - in negatieve zin beïnvloedt. Het is vervolgens afhankelijk van de normatieve context welke vormen van grondgebruik onder A dan wel B worden begrepen.

Uitgangssituatie/
Original conditions

Typering van de problematiek/
Typology of problems



Figuur 3.6

De analyse fase: een typering van problemen tussen conflicterende vormen van grondgebruik als gevolg van - veranderingen in - de stroming van water.

De problemen zijn gerangschikt naar de aard van de uitgangssituatie en onderscheiden naar relaties van een kwantitatieve of kwalitatieve aard. 'A' is hierbij de 'bedreigende' vorm van grondgebruik die 'B' - de 'bedreigde' grondgebruiksvorm - in negatieve zin beïnvloedt.

Figure 3.6

The analysis phase: a typology of problems between conflicting types of land-use caused by - changes in - water flows.

In this typology a distinction is made between problems of a quantitative and a qualitative nature. 'A' represents a type of land-use that affects land-use type 'B' in a negative way. The original hydrological conditions are reflected.

'Kwantitatieve' relaties en problemen

De kwantitatieve relaties en problemen betreffen het patroon en de intensiteit van de stroming tussen de grondgebruikscategorieën. De verandering ten opzichte van de uitgangstoestand kan bestaan uit één of meer van de volgende gevallen (figuur 3.6 a t/m j):

- een afname van de stroming;
- een beëindiging van de stroming;
- een omkering van de stroming;
- een toename van de stroming;
- het ontstaan van een stroming.

Uitgangssituatie 1 (een stroming naar B toe)

Ten eerste zijn de kwantitatieve gevolgen getypeerd voor een uitgangssituatie waarin de stroming op de bedreigde vorm van grondgebruik is gericht (figuur 3.6-a tot en met 3.6-d). De eerste drie veranderingen leiden tot verdroging door een afnemende voeding (figuur 3.6 a t/m c). Deze kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van (een oplopende mate van) grondwateronttrekking. De kwelstroom naar het bijbehorende exfiltratiegebied kan daarbij afnemen, opdrogen of zelfs worden omgezet in infiltratie naar de pompput(ten). Een afname van de grondwaterstroming naar een kwelgebied kan ook samenhangen met veranderingen in de aard van het grondgebruik in het herkomstgebied die de grondwateraanvulling verminderen (verharding van het oppervlak, sterk verdampende begroeiing). Onder specifieke omstandigheden kan ook een (tijdelijke) intensivering van de stroming problematisch zijn (figuur 3.6-d). Een voorbeeld hiervan kan worden aangetroffen in steden in sterk hellende gebieden. Hevige regenbuien kunnen dan tot grote pieken in de afvoer door oppervlaktewaterstromingsstelsels leiden met inundaties als gevolg.

Uitgangssituatie 2 (een stroming van B af)

Bij een oorspronkelijk van de bedreigde grondgebruiksvorm af gerichte stroming van water zijn in principe dezelfde veranderingen denkbaar als in situatie 1 (figuur 3.6-e tot en met 3.6-h). De situaties e, f en g leiden tot een toename van de voeding van het gebied met grondgebruik B. Een voorbeeld waarbij deze processen kunnen optreden is de aanvoer van water ten behoeve van A. Afhankelijk van de preciese hydrologische omstandigheden kan daardoor een oorspronkelijke stroming afnemen, verdwijnen of zelfs omkeren. Doorgaans leidt in de huidige omstandigheden van de Nederlandse zandgebieden echter de situatie als weergegeven in 3.6-h tot ernstiger problemen. Een toename van de stroming duidt in deze situatie op verdroging door een toename van het waterverlies. Dit probleem hangt samen met het verrichten van ingrepen die leiden tot verlaging van de drainagebasis zoals door de aanleg van (diepere) sloten, onderbemalingen, etc. ten behoeve van land- of stedenbouw. Dergelijke maatregelen in (gedeelten van voormalige) kwelgebieden kunnen leiden tot verdroging van natuurgebieden met oorspronkelijk vochtige tot natte condities in 'bovenstrooms' gelegen infiltratie- of kwelzones.

Uitgangssituatie 3 (geen stroming naar of uit B)

Tenslotte de situatie waarin oorspronkelijk geen stroming aanwezig is (figuur 3.6, situatie 3). Theoretisch zijn hier problemen te verwachten zowel door waterverlies als door voeding (respectievelijk 3.6-i en 3.6-j).

'Kwalitatieve' problemen

Via het water kunnen stoffen worden meegevoerd die in de ontvangende gebieden tot problemen leiden. Het kan daarbij gaan om 'verontreinigingen' die ten gevolge van de grondgebruikscategorie A aan het water zijn toegevoegd, zoals het geval is bij (over)bemesting door de landbouw of bij lozingen van effluënten van rioolwaterzuiveringsinstallaties. In situatie 4 (figuur 3.6-k) is dit probleem aangeduid voor een van oorsprong op B gerichte stroming. In situaties als bij 5 en 6 in figuur 3.6 kan rechtstreekse 'verontreiniging' pas optreden wanneer - onder invloed van veranderingen in kwantitatief opzicht - de stromingsrichting is omgekeerd (figuur 3.6-l) of een op B gerichte stroming is ontstaan (figuur 3.6-m).

Overigens is bij de beschrijving van de grond- en oppervlaktewaterstromingsstelsels aangegeven dat tussen en binnen deze stelsels de 'natuurlijke' (chemische) samenstelling van het water aanzienlijk kan verschillen. Dit betekent dat bij wijzigingen in de stromingsrichting ook zonder dat er sprake is van 'verontreiniging' de watersamenstelling of -kwaliteit kan wijzigen. Een voorbeeld is een kwelgebied waarin water van een 'lithotrofe' samenstelling domineerde en dat door waterhuishoudkundige veranderingen verandert in een infiltratiegebied met een 'atmotrofe' watersamenstelling. Ook een extensivering (dus zonder omkering) of een intensivering van de stromingscomponenten kan - hetzij indirect ten gevolge van de conditionele werking van water - leiden tot wijzigingen in de water- en milieukwaliteit op een bepaalde plek in het landschap. Zo zal een daling van de grondwaterstanden in een kwelgebied door afname van de voeding, de beschikbaarheid van bepaalde nutriënten vergroten.

De samenhang van de hydrologische processen van kwantitatieve en kwalitatieve aard brengt met zich mee dat reële, problematische situaties zich niet zonder meer als (een simpele combinatie van) één van de genoemde probleemttypen laten karakteriseren. Niettemin is de typering een opstap voor het aangeven van op het functioneren van watersystemen gebaseerde planningsmaatregelen voor de aanpak van de problematiek omtrent conflicterende grondgebruikscategorieën.

3.3 De synthese fase: een typering van op watersystemen gebaseerde planningsmaatregelen

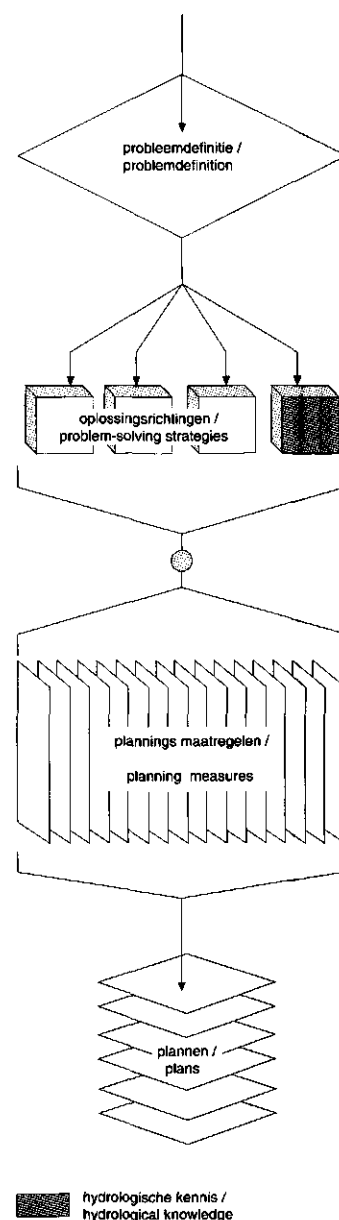
3.3.1 Inleiding

In de synthese fase van het ontwerpproces worden de in de (landschaps) analyse uiteengelegde onderdelen samengevoegd tot landschapsplannen waarin geconstateerde problemen worden aangepakt. Normatieve intenties zijn bepalend voor de keuzen die gedurende deze synthese worden gemaakt. De wijze waarop hydrologische inzichten mede richting kunnen geven aan de synthese is schematisch weergegeven in figuur 3.7. Mede op basis van deze inzichten kunnen oplossingsrichtingen worden geformuleerd voor problemen die samenhangen met het functioneren van de watersystemen. De term 'oplossingsrichtingen' brengt tot uiting dat het hier gaat om keuzen van strategische aard. Vervolgens kunnen - wederom gebruikmakend van hydrologische kennis - de oplossingsrichtingen in concrete planningsmaatregelen worden uitgewerkt (§ 3.3.2 tot en met § 3.3.4). Tenslotte worden plannen ontworpen waarin - afhankelijk van de gewenste eindsituatie(s) - deze planningsmaatregelen worden toegepast. Vanuit de interpretatie van de opgave voor landschapsplanning in de zandgebieden worden in deze paragraaf twee probleemvelden aan de orde gesteld waarvoor oplossingsrichtingen en planningsmaatregelen worden getypeerd. Het eerste is dat van de problematiek omtrent de situering van (conflicterende) vormen van grondgebruik (zie § 3.2.3). Het tweede probleemveld heeft betrekking op de laaglandbeken. Deze beken kunnen tot de meest dominante 'zichtbare' ruimtelijke elementen in de Nederlandse zandgebieden worden gerekend.

3.3.1.1. Grondgebruik

De grondgebruiksproblematiek, zoals getypeerd in § 3.2.3, komt voort uit (veranderingen in) ruimtelijke relaties ten gevolge van het functioneren van watersystemen, waardoor bepaalde vormen van grondgebruik in het gedrang komen. Het concept van de hydrologische landschapsstructuur, alsmede de mogelijkheid de daarbinnen te onderscheiden ruimtelijke eenheden via ingrepen te veranderen, biedt perspectieven voor de aanpak van deze problematiek. In principe kan een drietal oplossingsrichtingen worden onderscheiden (figuur 3.8):

- herordening van het grondgebruik;
- aanpassing van het grondgebruik;
- manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur.



Figuur 3.7
De watersysteembenadering voor landschapsplanning: een schematische weergave van de synthese fase. Op de hydrologie gebaseerde oplossingsrichtingen en planningsmaatregelen kunnen leiden tot (alternatieve) plannen voor de aanpak van de in de analyse geconstateerde problematiek.

Figure 3.7
The hydrological systems approach to landscape planning: a schematic representation of the synthesis phase. Problem-solving strategies and planning measures - both based on hydrological knowledge - may be used to design plans in which the problems as defined in the analysis phase can be solved.

Herordening

De eerste oplossingsrichting impliceert het wijzigen van de ruimtelijke ordening van het grondgebruik ('herordening'; figuur 3.8-a). Conflicterende grondgebruikscategorieën (A en B uit figuur 3.6) worden zodanig gesitueerd dat zij niet langer via relaties ten gevolge van waterstromingen aan elkaar zijn gerelateerd. De hydrologische landschapstructuur wordt daarbij benut door samenhangende eenheden voor één van beide categorieën (dus A óf B) te bestemmen. Deze eenheden immers kunnen aanleiding geven tot een zódanige onderlinge positionering van vormen van grondgebruik dat wederzijdse beïnvloeding via de stroming van water wordt geminimaliseerd. In figuur 3.8-a is schematisch weergegeven hoe de problemen uit figuur 3.6 op deze wijze zijn op te lossen door respectievelijk de uitgangssituatie, de problematiek en de beoogde oplossingsrichting te typeren.

Aanpassing

Onder aanpassing van het grondgebruik wordt hier verstaan een zodanige wijziging van de aard van het grondgebruik dat de negatieve invloed op andere vormen van grondgebruik via waterstromingen niet zal optreden. Zoals in figuur 3.8-b is aangegeven, blijft de ordening van het grondgebruik ten opzichte van de problematische situatie gehandhaafd. Wijzigingen in de aard van het grondgebruik (in dit geval van A naar A') leiden evenwel tot wijzigingen in de aard van de relaties via het water, waardoor A en B niet langer met elkaar in conflict komen. Een voorbeeld daarvan is een landbouwkundige bedrijfsvoering waarbij de toevoer van meststoffen in evenwicht is met het verbruik daarvan door het geteelde gewas.

Manipulatie

Een derde denkbare oplossingsrichting voor de problemen omvat de manipulatie van de bestaande hydrologische toestand. Het doel daarbij is door directe ingrepen in de hydrologische processen de bestaande ruimtelijke relaties te verbreken ('isolatie') of juist de oorspronkelijke samenhangen te 'herstellen'.

Zoals in figuur 3.8-c is uitgedrukt zijn via isolatie niet alle problemen uit figuur 3.6 aan te pakken. Als afname van de stromingsintensiteit het probleem is (3.6-a en 3.6-e) dan impliceert isolatie - waarbij de stroming geheel stopt - juist een intensivering van de problematiek. Uiteraard is isolatie ook geen oplossing als dat juist de kern van de problemen vormt (3.6-b en 3.6-f). Is er sprake van omkering (3.6-c en 3.6-g) dan kan isolatie respectievelijk het waterverlies (bij 3.6-c) of de toevoer (bij 3.6-g) beperken en daarmee een deel van het probleem oplossen. Het toepassen van isolatie als reactie op een toename van de toevoer (bij 3.6-d) of van de afvoer (3.6-h) kan een deel van de problematiek oplossen. Gelijktijdig veroorzaakt isolatie ook weer nieuwe problemen: namelijk een verlaging van de waterstanden bij 3.6-d of een verhoging daarvan bij 3.6-h. Het isoleren is een zinnige strategie wanneer het probleem het ontstaan van relaties beslaat (3.6-i en -j) of ter voorkoming van de toevoer van verontreinigingen (3.6-k, -l en -m).

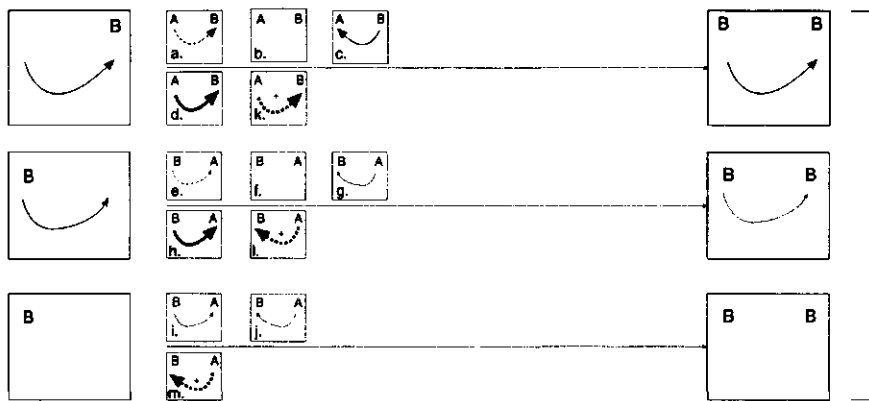
Hoewel er theoretisch een onderscheid tussen de genoemde oplossingsrichtingen kan worden aangebracht, is dit onderscheid soms gering en zijn de maatregelen niet onafhankelijk van elkaar. Een verandering van de situering van het grondgebruik kan immers tegelijkertijd leiden tot een daarop geënte verandering van de inrichting van het landschap met gevolgen voor de hydrologische condities. Bovendien kunnen de richtingen ook met elkaar worden gecombineerd. Veelal zal er in het kader van planvorming voor een gebied zo'n combinatie juist noodzakelijk zijn.

Uitgaande van de in hoofdstuk 1 beschreven plaatsbepaling van de (landschaps)architectuur binnen het veld van de ruimtelijke planning (vergelijk Kerkstra, 1991) zijn het de opties omtrent de ruimtelijke situering van het grondgebruik en die gericht op het manipuleren van de hydrologische landschapstructuur die tot het domein van de landschapsplanning gerekend dienen te worden. De eerste optie heeft betrekking op het strategische planvormingsniveau (de 'bestemming'). De tweede op het operationele planvormingsniveau (de 'inrichting' van het landschap). In respectievelijk § 3.3.2 en § 3.3.3 wordt besproken hoe beide oplossingsrichtingen tot planeringsmaatregelen kunnen worden uitgewerkt. De aanpassing van het grondgebruik blijft verder buiten beschouwing.

Problematiek uit fig. 3.6 /
Problems from fig. 3.6

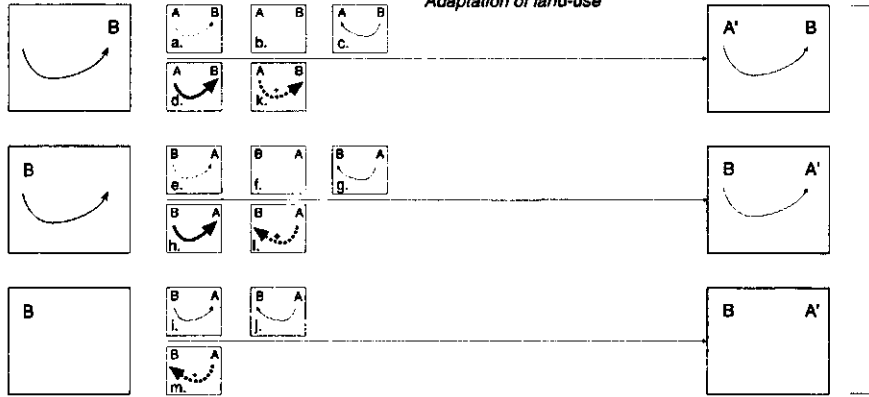
O oplossingsrichtingen /
Problem-solving strategies

Herordening grondgebruik / Relocation of land use



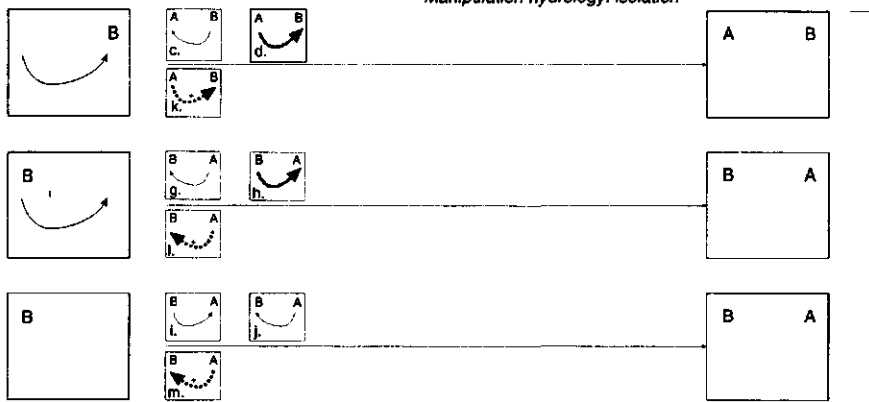
a

Aanpassing grondgebruik /
Adaptation of land-use



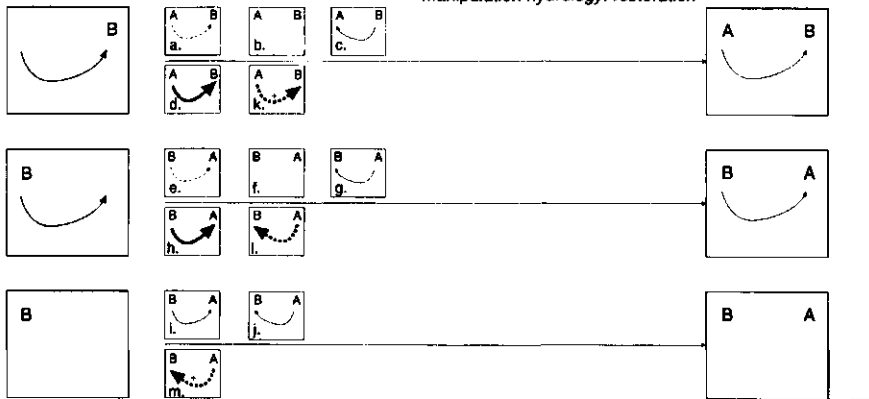
b

Manipulatie hydrologie: isolatie /
Manipulation hydrology: isolation



c

Manipulatie hydrologie: herstel /
Manipulation hydrology: restoration



Figuur 3.8

De synthese fase: een typering van de oplossingsrichtingen voor de aanpak van de problemen tussen vormen van grondgebruik via de stroming van water, zoals zijn getypeerd in figuur 3.6.

Drie oplossingsrichtingen zijn onderscheiden: herordening van het grondgebruik, aanpassing van het grondgebruik en manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur. Deze laatste optie impliceert het verbreken van bestaande relaties (isolatie) of het herstel van oorspronkelijke samenhangen.

Figure 3.8

The synthesis phase: a typology of problem-solving strategies for addressing the problems between land-use types caused by waterflows as depicted in figure 3.6.

Three main strategies are reflected: relocation of land-use types, adaptation of land-use and manipulation of the current hydrological landscape structure. Manipulation may be applied either to break up existing spatial relations ('isolation') or to restore original relationships.

3.3.1.2 Beken en beekdalen

Het karakteristieke milieu van de laaglandbeken - waartoe de beken in de zandgebieden van Nederland worden gerekend - is sterk onder druk komen te staan (Moller-Pillot, 1971; Kok, 1977; Bink et al., 1979; De Molenaar, 1980; Verdonshot, 1990; Weinreich en Musters, 1988; Bink et al., 1994). Naast een afname van de waterkwaliteit en -kwantiteit liggen hieraan veranderingen van de vorm of de fysieke structuur van de beken ten grondslag, grotendeels het gevolg van cultuurtechnische en waterstaatkundige ingrepen (afsnijden van meanders, aanpassingen van het dwars- en lengte profiel, verwijderen van de beekbegeleidende vegetatie, et cetera). De ruimtelijke continuïteit van veel beekstelsels is aangetast door doorsnijdingen met infrastructurele voorzieningen, door de uitbreiding van steden en dorpen en door het graven van koppel- en afvangleidingen.

Het laatste decennium is als reactie op deze ontwikkeling de aandacht gevestigd op de mogelijkheden om via gerichte inrichtingsmaatregelen de typische milieukarakteristieken van de (laagland)beken te herstellen (zie bijvoorbeeld Anonymus 1984-a; Brookes, 1984; Barnard, 1984; Lewis en Williams, 1984; Gore, 1985; Aukes et al., 1988; Wolfert, 1991; Hermens en Wassink, 1992; Kern, 1994; Claus en Jansens, 1995).

Een typering van deze maatregelen voor het operationele planningsniveau past binnen het kader van het synthese stadium van de watersysteembenadering voor landschapsplanning (§ 3.3.4).

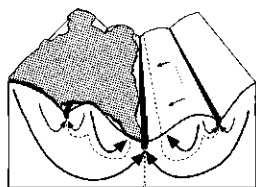
3.3.2 Het strategische planningsniveau: herordening van het grondgebruik

Het aanvaarden van de (bestaande) hydrologische landschapsstructuur als richtinggevend voor de planvorming kan tot verschillende opties voor het wijzigen van de situering van het grondgebruik aanleiding geven (figuur 3.9; vergelijk Farjon et al., 1990-b; Van Buuren, 1991; Kamphuis et al., 1995)⁶. Deze mogelijkheden kunnen worden gebruikt om, potentieel, strijdige vormen van grondgebruik zódanig ten opzichte van elkaar te situeren, dat er geen (negatieve) beïnvloeding via de stroming van water optreedt.

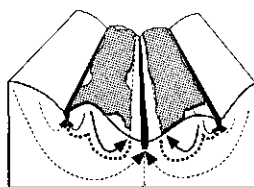
In figuur 3.9 is schematisch aangegeven welke ruimtelijke configuratie van bijvoorbeeld natuur- ten opzichte van landbouwgebieden uit een dergelijke herordening van het grondgebruik kan volgen. De eerste zes opties hebben betrekking op het gebruik van de eenheden in de hydrologische landschapsstructuur die samenhangen met de grondwaterstroming. In figuur 3.9-a is bij de (her)ordening van het grondgebruik van - complete - regionale grondwaterstromingsstelsels uitgegaan. In de situatie van figuur 3.9-b is gebruik gemaakt van het onderscheid tussen hogere orde en daarop gesuperponeerde stelsels van grondwaterstroming. Bij figuur 3.9-c tot en met -f zijn eenheden binnen de stromingsstelsels benut voor de situering van het grondgebruik. In het eerste geval (figuur 3.9-c) betreft dit de delen van stromingsstelsels aan weerszijden van een grondwaterscheiding. In het tweede geval, bij figuur 3.9-d betreft het de diverse stroomtakken die binnen de stromingsstelsels kunnen worden aangetroffen. Bij figuur 3.9-e gaat het om de samenhang tussen infiltratie- en bijbehorende kwelgebieden. De laatste optie (figuur 3.9-f) maakt gebruik van het gegeven dat in infiltratiegebieden - behalve via de neerslag - geen 'verontreinigd' water kan instromen⁷.

De in figuur 3.9-g t/m 3.9-j weergegeven diagrammen geven inzicht in de mogelijkheden voor (her)ordening die samenhangen met de ruimtelijke eenheden ten gevolge van de stroming van het oppervlaktewater. Gehele stroomgebieden (figuur 3.9-g) of sub-stroomgebieden (figuur 3.9-h) kunnen worden benut. Maar ook hierbinnen zijn mogelijkheden. In figuur 3.9-i is uitgegaan van relatieve isolatie van de delen van een stroomgebied aan weerszijden van de (hoofd)waterloop. Voorts kan ook een onderscheid worden aangebracht op grond van boven- en benedenstrooms van elkaar gelegen delen binnen een stroomgebied (figuur 3.9-j).

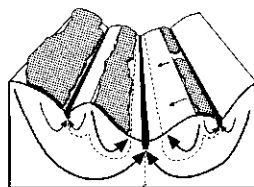
Uit figuur 3.9 blijkt dat het toepassen van de genoemde maatregelen op diverse ruimtelijke schalen verschillende consequenties kunnen hebben voor de ruimtelijke configuratie van het grondgebruik (vergelijk bijvoorbeeld de situaties in figuur 3.9-a en 3.9-e of



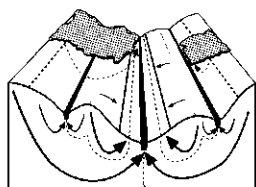
a. herordening gebaseerd op gehele (regionale en gesuperponeerde) grondwaterstromingsstelsels / reallocation based on complete (regional and superimposed) groundwater flow systems



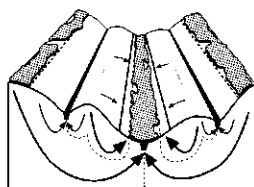
b. herordening gebaseerd op gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels / reallocation based on superimposed groundwater flow systems



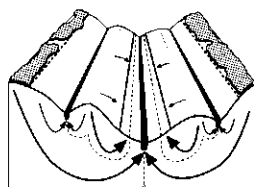
c. herordening gebaseerd op delen van grondwaterstromingsstelsels aan beide zijden van de grondwaterscheiding / reallocation based on parts of groundwater flow systems on either side of the groundwater catchment boundary



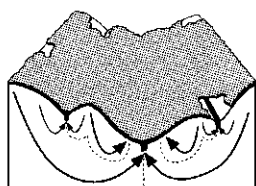
d. herordening gebaseerd op stroomtakken van verschillende orde / reallocation based on flow-branches of different order



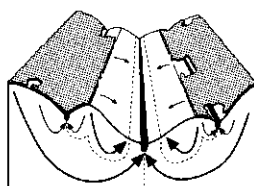
e. herordening gebaseerd op de relatie tussen infiltratie- en exfiltratie gebieden / reallocation based on relation between infiltration and exfiltration areas



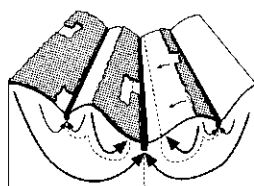
f. herordening, waarbij 'bedreigde' grondgebruiksvorm is gelokaliseerd in infiltratiegebieden / allocation, with 'endangered' land use types in infiltration areas



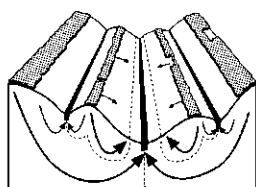
g. herordening, gebaseerd op gehele, eerste orde stroomgebieden / (re)allocation based on complete first order surface water catchments



h. herordening gebaseerd op lagere orde stroomgebieden / (re)allocation based on lower order surface water catchment areas



i. herordening gebaseerd op delen van stroomgebieden aan beide zijden van de hoofdwaterloop / (re)allocation based on parts of surface water catchments on either side of the main stream



j. herordening gebaseerd op boven- en benedenstrooms van elkaar gelegen delen binnen een stroomgebied / (re)allocation based on upstream and downstream parts of surface water catchments

Legenda / legend



Figuur 3.9

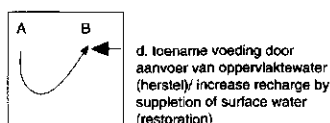
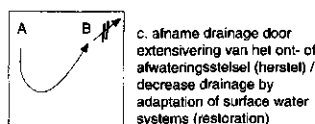
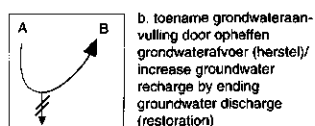
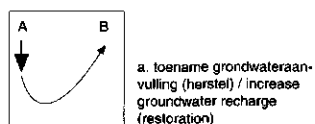
De synthese fase: de opties voor wijziging van de ordening van het grondgebruik, gebruikmakend van de hydrologische landschapsstructuur en daarbinnen te onderscheiden ruimtelijke eenheden. Ter illustratie zijn hier natuur en landbouw als 'conflicterende' vormen van grondgebruik weergegeven.

Figure 3.9

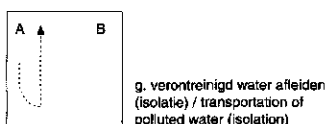
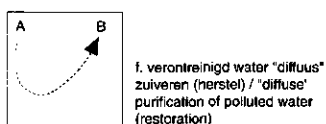
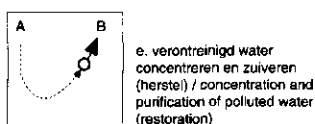
The synthesis phase: the possibilities for the relocation of land-use types, applying the hydrological landscape structure and its spatial units. In these pictures nature conservation and agriculture are considered as conflicting types of land-use.

die in 3.9-g en 3.9-j). In het algemeen geldt dat naarmate kleinere stromingsstelsels (of delen daarvan), dan wel stelsels van een lagere orde in beschouwing (kunnen) worden genomen er fijnkorreliger grondgebruikspatronen zullen ontstaan. Dit gegeven kan, in afhankelijkheid van textuur en vorm van de aan de betrokken vormen van grondgebruik gerelateerde massavormende elementen, welbewust worden benut bij het vormgeven aan het landschap. Ook de (hydrologische) structuur van de betreffende landschappen speelt hier een rol. Naarmate deze fijnkorreliger is, ligt het voor de hand

KWANTITEIT / QUANTITY



KWALITEIT / QUALITY



Figuur 3.10
De synthese fase: een typering van de opties voor manipulatie van de bestaande hydrologische landschapsstructuur. Er is een onderscheid gemaakt tussen ingrepen gericht op de kwantiteit en die gericht op de kwaliteit van het water.

Figure 3.10
The synthesis phase: a typology of options for the manipulation of the existing hydrological landscape structure. A distinction is made between interventions addressing water quantity and those addressing water quality.

hierop in te spelen bij de keuze van de maatregelen voor herschikking van het grondgebruik.

3.3.3 Het operationele planningsniveau: manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur

De maatregelen op het operationele planningsniveau zijn er in het algemeen op gericht om de bestaande hydrologische situatie via gerichte maatregelen te wijzigen. Het doel daarbij is betere hydrologische condities te verkrijgen voor bedreigde vormen van grondgebruik. Diverse planningsopties worden hier besproken die primair op kwantitatieve dan wel op kwalitatieve hydrologische kenmerken ingrijpen. In figuur 3.10 zijn deze maatregelen schematisch weergegeven.

Maatregelen gericht op de kwantiteit

De problemen van kwantitatieve aard zijn in § 3.2.3 in verband gebracht met ingrepen die de stroming van water extensiveren, beëindigen, omkeren, intensiveren of die tot nieuwe stromingsprocessen leiden. Deze problemen kunnen (deels) worden voorkomen door de inkomende en de uitgaande stroming van water te beïnvloeden. Indirect zijn daarbij ook de kwalitatieve hydrologische eigenschappen in het geding.

Een verminderde of verdwenen inkomende stroming kan worden versterkt door inrichtingsmaatregelen die de grondwateraanvulling vergroten (figuur 3.10 -a). In stedelijke gebieden in infiltratiezones⁸ kan de inrichting op het herstellen van de grondwatervoeding worden afgestemd. Het van verharde oppervlakten en uit het rioleringsstelsel afstromend water kan - op bepaalde concentratiepunten - worden geborgen, gezuiverd en geïnfiltreerd⁹. Behalve op het schaalniveau van de stad als geheel, kan dit principe ook op lager (wijk) niveau worden toegepast (Tjallingii, 1993)¹⁰. In bos- en natuurgebieden kunnen - in verband met de aanzienlijke verdampingsverschillen tussen diverse vegetatietypen¹¹ - inrichting en beheer op een optimale grondwateraanvulling worden gericht.

Grondwaterwingebieden kunnen grote invloed uitoefenen op zowel de inkomende als de uitgaande (grond)waterstroming. Het opheffen van de bijbehorende pompputten of het overschakelen op alternatieven kan tot herstel van het oorspronkelijke stromingspatroon leiden (figuur 3.10-b). Het verplaatsen van de pompputten naar andere posities binnen de hydrologische landschapsstructuur of het toepassen van andere wintechnieken zijn daarbij denkbaar. In de voorbeeldstudie van hoofdstuk 6 wordt uitgebreid op dit aspect ingegaan.

Een belangrijk deel van de verdroging hangt samen met de ontwikkeling van een intensief ont- en afwateringsstelsel, waarmee de uitgaande stroming is versterkt. Het extensiveren of zelfs opheffen van dit stelsel kan tot herstel van de oorspronkelijke stroming leiden (figuur 3.10-c). Een voorbeeld hiervan vormt de aanleg van kunstwerken zoals stuwen, dammen en pompen, waardoor in dit stelsel een hoger waterpeil kan worden gehandhaafd en het waterverlies wordt beperkt¹². Een ingrijpende maatregel in dit verband is het verwijderen van alle (gegraven) waterlopen¹³. Een specifieke vorm van manipulatie is het bufferprincipe, veel toegepast bij verdroogde natuurgebieden¹⁴. Relatief eenvoudige maatregelen kunnen het waterverlies dat via kortsluitingen in het oppervlaktewaterstelsel, zoals die bij 'onthoofdingen' of 'koppelleidingen' ontstaan, verminderen¹⁵.

Tenslotte kan verdroging in een gebied ook ongedaan gemaakt worden door wateraanvoer (zonder herstel van de oorspronkelijke aan- en afvoerstromen; figuur 3.10-d). Deze compensatie kan de hoeveelheid water weer op peil brengen¹⁶.

Maatregelen gericht op de kwaliteit

De kwaliteitsproblemen hebben betrekking op de chemische samenstelling (verontreinigingen, 'gebiedsvreemd' water) van het water. In dit verband kunnen de inrichtingsmaatregelen worden onderscheiden in: zuiveren en isoleren.

Verontreinigd water kan op bepaalde concentratiepunten worden gezuiverd om daarna

weer in de betreffende stromingsstelsels te worden gebracht (figuur 3.10-e). Naast zuivering in technische installaties (zoals bij rioolwaterzuiveringen of drinkwaterproductiebedrijven) is ook de toepassing van 'helofytenfilters' denkbaar¹⁷. Zuivering van verontreinigd grondwater¹⁸ behoort eveneens tot de mogelijkheden; bij grondwaterwinningen in het Montferland en het Gooi wordt dit toegepast.

Naast zuivering op bepaalde concentratiepunten is het ook denkbaar maatregelen te treffen die gedurende het stromingsproces tot een betere waterkwaliteit leiden (figuur 3.10-f)¹⁹. Tenslotte kan via isolatie worden voorkomen dat een vervuilde waterstroom een bepaald gebied bereikt (figuur 3.10-g)²⁰.

3.3.4 Maatregelen voor beekberstel

Het specifieke karakter van de (laagland)beken ontstaat door een bepaalde combinatie van waterkwaliteit, waterkwantiteit en fysieke structuur of vorm van de beken (hoofdstuk 2). Bij het treffen van planningsmaatregelen ter herstel van het beekkarakter moet de samenhang van deze eigenschappen aandacht krijgen (zie bijvoorbeeld Anonymus 1984-a; Brookes, 1984; Barnard et al., 1984; Lewis en Williams, 1984; Gore, 1985; Aukes et al., 1988; Wolfert, 1991; Hermens en Wassink, 1992; Kern, 1994; Claus en Jansens, 1995). Het is met name van belang per situatie te beoordelen welke eigenschap - of combinatie van eigenschappen - voor het optimaal functioneren van het beekmilieu het sterkst wordt bedreigd. Grote investeringen in de fysieke structuur bijvoorbeeld hebben weinig zin als het water ernstig verontreinigd is of bij langdurige ('onnatuurlijke') perioden van droogstand. In een dergelijk geval is het zinvol ook - zonet juist - de waterkwaliteit, respectievelijk de watervoorziening te verbeteren.

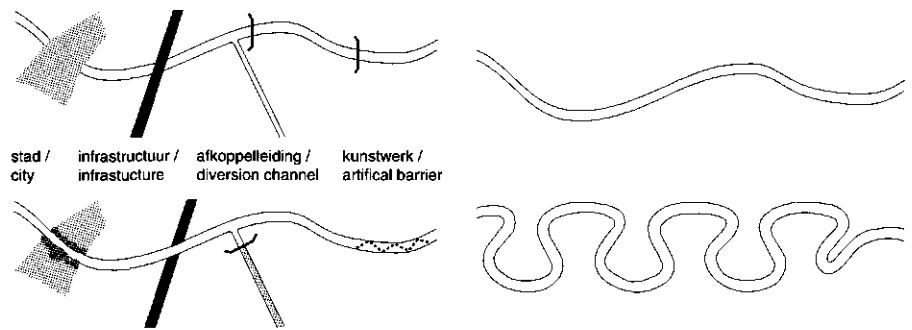
In deze paragraaf wordt ingegaan op planningsmaatregelen die zijn gericht op de fysieke structuur of de vorm van de beek of waterloop. Maatregelen voor de waterkwaliteit of -kwantiteit verschillen niet principieel van hetgeen in § 3.3.3 aan de orde is gekomen. Bovendien is het met name de vorm van de beken of waterlopen die uit een (landschaps)plannings optiek interessant is. Hieronder wordt voorts een onderscheid gemaakt tussen maatregelen die ingrijpen op het lengteprofiel (figuur 3.11) of op het dwarsprofiel (figuur 3.12).

Het lengteprofiel

Een van de meest bedreigende factoren voor het beekkarakter op het niveau van het lengteprofiel betreft het verloren gaan van de ruimtelijke continuïteit van het stromende water. Daaraan kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen, waarvan een aantal in figuur 3.11-a zijn geschematiseerd.

Langs de meeste beken liggen steden en dorpen of andere bebouwingsconcentraties. In veel gevallen zijn de beken hier overkluisd, gerioleerd of gedempt (en al dan niet af- of omgeleid). Het opheffen van een dergelijke discontinuïteit is geen geringe opgave. Studies in de stedelijke gebieden van Hengelo (Eker en Smulders, 1990; Offermans en Noortman, 1991) en Breda (Van Helsdingen en Van Doren, 1991; Kempenaar en De Kock, 1992) maken evenwel duidelijk dat de bestaande 'niet bebouwde ruimten' dikwijls onvermoede aanknopingspunten bieden om de gewenste continuïteit weer te herstellen. Het benutten van die mogelijkheden kan ook vanuit het oogpunt van de vormgeving van de openbare ruimte in de stad aantrekkelijke perspectieven opleveren. Kruisingen met infrastructurele voorzieningen (wegen, kanalen) en kunstwerken als stuwen en overstorten zijn doorgaans barrières die de continuïteit van de beek doorbreken. De dispersie van (water)organismen kan hierdoor ernstig worden belemmerd. Inrichtingsmaatregelen kunnen de effecten van de barrières mitigeren²¹. In de Nederlandse zandgebieden zijn - ter regulering van de waterafvoer of -aanvoer - veel beken voorzien van koppelleidingen dwars op de oorspronkelijke stromingsrichting. Vaak zijn de beken daarbij voorzien van een stuw opdat ze alleen bij bepaalde (hoge) afvoeren watervoerend zijn. In dergelijke situaties kan er ook voor worden gekozen de normale afvoer via de 'oude' bedding te laten verlopen en de koppelleiding alleen bij hoge afvoeren te gebruiken.

Het stimuleren van de vorming van een meanderend verloop van de beek of waterloop (figuur 3.11-b) is hier ook gerekend tot de planningsmaatregelen betreffende het leng-



a. herstel van de ruimtelijke continuïteit van het stromend water. / the restoration of the continuity of streams: physical and other barriers are taken away or avoided.

b. herstel van de meandering en de bijbehorende processen. / the restoration of meandering and related processes: e.g. by digging up old meanders, the construction of artificial structures (current deflectors or adapted vegetation control).

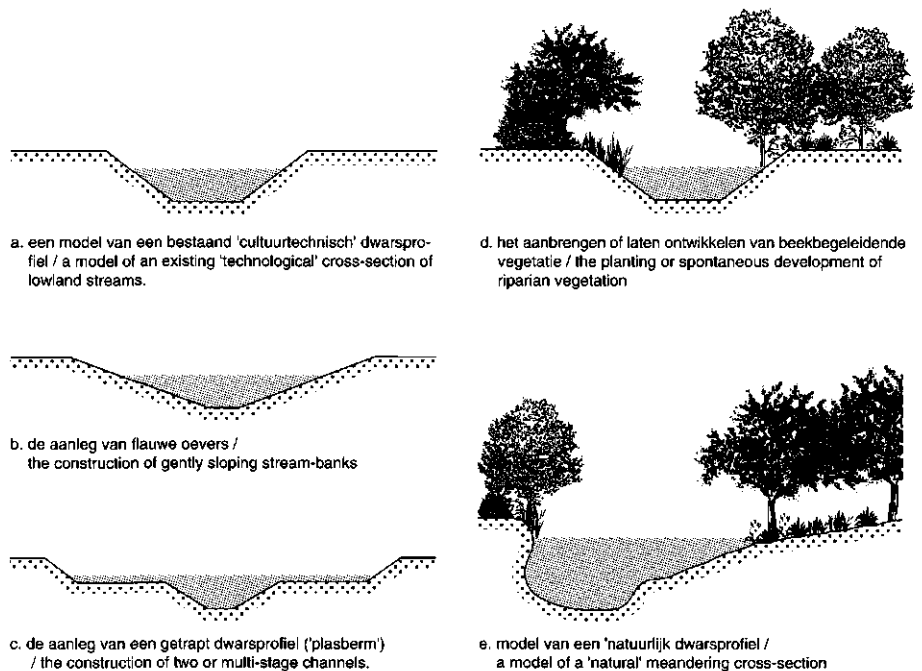
Figuur 3.11

De synthese fase: een typering van maatregelen voor beekherstel die betrekking hebben op het lengteprofiel.

Figure 3.11

The synthesis phase: a typology of planning measures concerning the restoration of lowland streams.

teprofiel. Het optreden van meandering, alsmede de daaraan gekoppelde processen van erosie en aanslibbing, en de daarmee samenhangende variaties in stroomsnelheid en waterdiepte, kunnen op verschillende manieren worden bevorderd. Nog bestaande, maar afgesneden meanderbochten kunnen weer op de hoofdstroom worden aangekoppeld (zie bijv. Datema et al., 1989). Op grond van historische kaarten kan de oorspronkelijke meanderende bedding van vóór de normalisatie via vergraving worden gereconstrueerd (Anonymus, 1984-a; Brookes, 1984; Anonymus 1988-d)²². Vervolgens kan een (genormaliseerde) beek ook de ruimte worden geboden om spontaan een meanderend profiel tot stand te brengen. Dit kan bijvoorbeeld tussen twee kaden die een ongewenste verbreding van de meanderzone voorkomen (Anonymus, 1984-a). In een bestaande bedding kan een meanderend profiel worden bereikt door het aanbren-



Figuur 3.12.

De synthese fase: een typering van maatregelen voor beekherstel die betrekking hebben op het dwarsprofiel.

Figure 3.12

The synthesis phase: a typology of planning measures concerning the restoration of the cross-section of lowland streams.

gen van objecten zoals 'driehoekskribben' (zie onder anderen Gore, 1985). Hetzelfde effect kan worden bereikt door een aangepast onderhoud van de oevervegetatie²³.

Het dwarsprofiel

Het dwarsprofiel van veel waterlopen en 'cultuurtechnisch aangepaste' beken kan worden geschematiseerd als in figuur 3.12-a. Door aanpassingen van de vorm - al dan niet gecombineerd met het aanbrengen of laten ontwikkelen van opgaande begroeiing - kunnen in een dergelijk profiel de eigenschappen van een 'natuurlijk' dwarsprofiel worden benaderd.

Taluds kunnen worden afgegraven voor het vormen van flauwe oevers (figuur 3.12-b). Zo ontstaat een geleidelijke overgang van natte naar droge(re) milieucondities waar water- en oevervegetaties tot ontwikkeling kunnen komen. Een getrappt profiel ('plasterm'; figuur 3.12-c) heeft tot gevolg dat ook bij lagere afvoeren een zone met natte tot vochtige condities aanwezig is. In het laagste gedeelte van de bedding kan de beek (bij 'normale' afvoeren) een meanderende loop vormen. Voor het verwerken van piekafvoeren kan dan het overige gedeelte van het profiel worden benut.

De beekbegeleidende vegetatie vormt een belangrijk aspect van een (natuurlijke) laaglandbeek (hoofdstuk 2). In de bestaande situatie zijn deze begroeiingen - meestal ten behoeve van (de toegankelijkheid voor) het onderhoud - verwijderd. Hernieuwde beplantingen hebben niet alleen gunstige effecten voor dispersie van organismen langs de waterlopen en voor het verbeteren van de waterkwaliteit, maar kunnen ook worden toegepast uit waterhuishoudkundig oogpunt (figuur 3.12-d). Dit aspect is uitgebreid belicht voor de 'houtwalbeken' (Aukes et al., 1988; Harmsen et al., 1988; Hermsen en Wassink, 1992). De beschaduwing, bij een gesloten 'vegetatiedak', voorkomt een overdadige groei van waterplanten die de afvoer van water belemmeren. Het meerjaarlijkse 'schonen' van waterlopen wordt dan overbodig. Bovendien leggen de wortels van de begroeiing de taluds vast, zodat beschoeiing ter voorkoming van erosie niet meer nodig is²⁴.

De in figuur 3.12-a tot en met -d weergegeven maatregelen kunnen worden beschouwd als ingrepen waarmee de eigenschappen van het dwarsprofiel van de oorspronkelijke laaglandbeken (deels) worden hersteld. Ter vergelijking is in figuur 3.12-e het dwarsprofiel van een 'natuurlijke', meanderende laaglandbeek geschematiseerd.

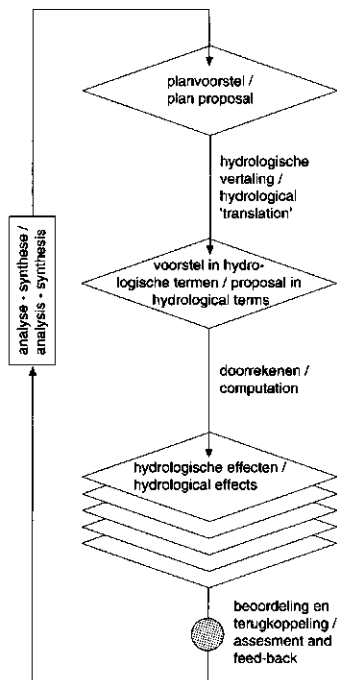
Toepassing van de genoemde inrichtingsmaatregelen op stroomgebiedsniveau kan herstel van de verschillen en samenhangen tussen boven-, midden- en benedenlopen van beken betekenen. Voor het herstel van de typische hydrochemische gradiënt in de beken en de ruimtelijke continuïteit is zo'n aanpak noodzakelijk. De praktijk van de zandgebieden in Nederland leert echter dat de toepassing van deze maatregelen op een stroomgebiedsniveau nauwelijks ingang heeft gevonden. Een inventarisatie van uitgevoerde of geplande maatregelen voor natuurtechnisch beekherstel maakt duidelijk dat althans tot en met 1991 de toepassing op lokaal niveau met een sterk ad hoc karakter overheerste²⁵.

3.4 De evaluatie fase

3.4.1 Inleiding

De evaluatie in het ontwerpproces omvat de toetsing van de uit de synthese voortkomende planvoorstellen. Deze toetsing kan verschillende elementen omvatten. De plannen geven een (mogelijk) ruimtelijk beeld van de toekomstige situatie die ontstaat bij toepassing en uitwerking van de gekozen oplossingsrichtingen en planningsmaatregelen. De beschrijvingen van de toekomstige situatie kunnen op hun wenselijkheid worden beoordeeld. Een belangrijk evaluatie aspect is uiteraard ook de vraag of en in hoeverre de in de analyse gestelde problemen ook daadwerkelijk kunnen worden aangepakt. Daarbij moeten ook - eventueel ongewenste - neveneffecten van de voorstellen bestudeerd worden.

In het kader van de watersysteembenadering voor landschapsplanning kan de evalua-



Figuur 3.13
 De watersysteembenadering voor landschapsplanning: een schematische weergave van de evaluatie fase. De hydrologische effecten van plannen worden doorgerekend, waarna beoordeling en eventueel bijstelling van de plannen plaats vindt.

Figure 3.13
 The hydrological systems approach to landscape planning: a schematic representation of the evaluation phase. The hydrological effects of plans are calculated and assessed. If necessary plans will be adapted.

tie kortweg worden aangeduid als het 'hydrologisch doorrekenen' van de planvoorstellen. In figuur 3.13 is schematisch aangegeven welke stappen daarbij zijn te onderscheiden. Het op een dergelijke wijze evalueren van planvoorstellen betreft overigens een activiteit die in het kader van de planvorming voor het waterbeheer reeds een lange traditie kent in de vorm van het bepalen van de hydrologische effecten van maatregelen. Op zichzelf kunnen de berekende effecten weer als ingang voor het planproces worden gebruikt (terugkoppeling).

3.4.2 De hydrologische evaluatie van planvoorstellen

De eerste stap uit de evaluatie fase is in figuur 3.13 aangeduid met de hydrologische vertaling van het planvoorstel. Dit omvat in eerste instantie het identificeren van de hydrologische verschijnselen en processen die door de voorgestelde plannen worden beïnvloed. Vervolgens dient te worden nagegaan hoe deze verschijnselen en processen veranderen. Afhankelijk van de mate van detail van de betreffende planningsopgave kan daarbij vervolgens nog worden getracht deze veranderingen te kwantificeren. Het moge duidelijk zijn dat met name op het operationele planningsniveau een dergelijke detaillering gewenst is. Op het strategische niveau volstaat dikwijls een kwalitatieve benadering waarbij de richting van de veranderingen - de grondwateraanvulling neemt toe, de drainage neemt af - en niet de exacte grootte wordt aangegeven. Het doorrekenen van de planvoorstellen gebeurt doorgaans met computer simulatie modellen. Het hydrologisch vertalen impliceert dan het omzetten van de planvoorstellen, c.q. van de geïdentificeerde hydrologische verschijnselen in randvoorwaarden voor en/of parameterwaarden van de betreffende modellen. Welke dit zijn is afhankelijk van de te gebruiken simulatie-systemen en van de te simuleren situatie. Vervolgens start de tweede stap van de evaluatie: het daadwerkelijk doorrekenen van de planvoorstellen. Hieruit resulteren uiteindelijk - al dan niet gedetailleerde - voorspellingen omtrent de te verwachten hydrologische effecten, zoals omtrent de grondwaterstanden, de waterkwaliteit, de infiltratie- en kwelpatronen; de veranderingen in dergelijke condities gedurende het jaar en of ten opzichte van de uitgangssituatie, et cetera. Ook hierbij geldt weer dat de aard van de voorspelling, alsmede de na te streven nauwkeurigheid, afhankelijk zijn van de aard en de detaillering van de planningsopgave. Een verkenning van de alternatieven voor de drinkwatervoorziening voor de lange termijn op nationaal niveau stelt andere eisen aan de evaluatie dan de voorbereiding van de inrichting voor concreet waterwingebied.

De laatste stap van de evaluatie omvat het beoordelen van de berekende of voorspelde hydrologische effecten, en daarmee van de planvoorstellen. Deze beoordeling vindt plaats in het licht van de gestelde uitgangspunten en doelstellingen van de ontwerp-opgave en heeft dus per definitie een normatief karakter. Naast de vraag in hoeverre de gestelde doelen ook daadwerkelijk kunnen worden gerealiseerd, dienen hierbij ook eventuele onvoorziene neveneffecten in ogenschouw te worden genomen. Voldoet het voorstel niet, of in onvoldoende mate, of wanneer er onaanvaardbare (neven)effecten worden verwacht, dan wordt teruggekoppeld naar voorgaande fasen in het ontwerpproces. Een negatieve uitkomst van de evaluatie kan bijvoorbeeld worden teruggevoerd op het in onvoldoende mate onderkennen van bepaalde processen in de (probleem)analyse. Het is ook denkbaar dat de planvoorstellen de problemen slechts gedeeltelijk oplossen of zelfs nieuwe problemen oproepen. Juist in deze terugkoppelingen krijgt het cyclische karakter van het ontwerpen zijn beslag. Deze iteratieve procedure wordt voortgezet totdat de ontwerpdoelen in voldoende mate zijn verwezenlijkt en er geen belangrijke, ongewenste neveneffecten meer worden gevonden. Een hydrologische evaluatie komt aan de orde in het ontwerpproces voor de voorbeeldstudie van hoofdstuk 6.

3.5 Afsluiting

De watersysteembenadering voor landschapsplanning, zoals die in de voorafgaande paragrafen is geschetst, is tot stand gekomen door toepassing in voorbeeldstudies.

Deze studies zijn beschreven in Deel II van dit proefschrift. In de afzonderlijke hoofdstukken (4, 5 en 6) is steeds sprake van een zekere nadruk op één of meer van de procedurele elementen uit de watersysteembenadering. In figuur 3.14 is deze nadruk schematisch weergegeven.

Het hoofdstuk 4 geeft een beschrijving en analyse van het studiegebied waarop de voorbeeldstudies betrekking hebben. Naast een algemene typering bevat dit hoofdstuk een hydrologische systeemanalyse van het gebied en een daarop gebaseerde probleembeschrijving. Beide in § 3.2 behandelde procedurele elementen uit de watersysteembenadering voor de analyse fase komen daarbij aan de orde.

In hoofdstuk 5 staat de synthese centraal. Het doel is hier het ontwerp van een plan met een strategisch karakter. Met dit plan wordt getracht - vanuit een specifieke set uitgangspunten - een oplossingsrichting te verkennen voor de problematiek zoals geschetst in hoofdstuk 4. De nadruk ligt op procedurele elementen van de watersysteembenadering met betrekking tot de synthese fase.

De laatste voorbeeldstudie (hoofdstuk 6) is - in vergelijking tot die uit de hoofdstukken 4 en 5 - thematisch en geografisch beperkt, maar heeft een gedetailleerder karakter. Het betreft hier de planvorming op een operationeel niveau, waarin naast de procedurele elementen voor de synthese fase de hydrologische evaluatie een zwaar accent krijgt.

Samen geven de voorbeeldstudies een beeld van de toepassing van de watersysteembenadering voor landschapsplanning en de daarbinnen te onderscheiden elementen. Tegelijkertijd moet ook duidelijk worden dat deze toepassing gestalte krijgt binnen een normatief kader dat richting moet geven aan de keuzes die op verschillende momenten in het ontwerpproces gemaakt moeten worden.

1 De term "watersysteembenadering" is ontleend aan de nota "Omgaan met water; naar een integraal waterbeleid" (Anonymus, 1985-a). In deze nota wordt het watersysteem als geïntegreerd en ondeelbaar geheel tot uitgangspunt voor het beleid geïntroduceerd. Ook in het onderhavige onderzoek heeft het watersysteem zo'n centrale positie gekregen. Naar analogie wordt hier dan ook gesproken van een "watersysteembenadering voor landschapsplanning".

2 Dit wil zeggen dat de procedures zoveel mogelijk los van de context van de Nederlandse zandgebieden zijn beschreven. Dit neemt echter niet weg dat de koppeling naar de genoemde gebieden en de daar heersende (hydrologische) condities en problemen soms nog aanwezig is.

3 Deze ontwikkelingen zijn niet los te zien van het besef dat milieuvraagstukken slechts kunnen worden aangepakt door de integriteit van natuurlijke systemen als uitgangspunt te nemen. De discussies over de relaties tussen (beleid voor) ruimte, water en milieu (zie onder anderen Glasbergen et al., 1988; Van der Vliet en Brussaard, 1989) zijn eveneens in dit verband te situeren.

4 De analyse beoogt via een holistische benadering hydrologische parameters en daarmee samenhangende verschijnselen aan elkaar te relateren. Er wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheden die de systeem-analyse biedt om de complexiteit van de werkelijkheid hanteerbaar te maken. Daarom wordt gesproken van hydrologische systeemanalyse.

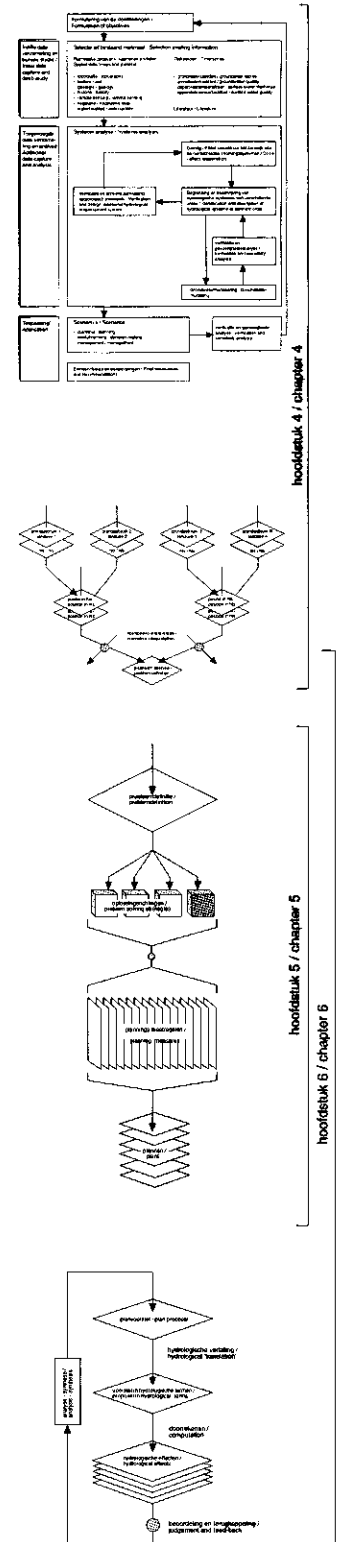
5 De hydrologische systeemanalyse markeert een ontwikkeling in grondwaterstudies die door Engelen en Jones (1986; pag. 354) wordt gekarakteriseerd met de begrippenparen: van ondiep naar diep; van klein naar groot; van lokaal naar (supra-)regionaal; van statisch naar dynamisch; van beschrijving naar berekening; van analytisch naar numeriek; van kwantiteit naar kwaliteit; van schoon naar vervuild; van individueel naar groepswerk; van nationaal naar internationaal; van monodisciplinair naar multidisciplinair; van eenvoudig naar complex; van analyse naar synthese; van component naar systeem.

Een wezenlijk verschil met meer traditionele grondwaterstudies is dat de traditionele opdeling in goed en slecht doorlatende watervoerende pakketten (het stromingsmedium) wordt verlaten als basiseenheid van studie. Het aan Tóth (1963) ontleende begrip grondwaterstromingsstelsel (het stromende water zelf; Hoofdstuk 2) moet daarvoor in de plaats komen. Studies hebben aangetoond dat één watervoerend pakket aan meerdere grondwaterstromingsstelsels plaats kan bieden (Engelen en Jones, 1986).

6 Farjon et al. (1990-b) onderscheiden in dit verband een drietal "hydrologische ordeningsprincipes". "Een ordeningsprincipe is een stelsel van ideeën waarop men de ruimtelijke rangschikking van te scheiden compartimenten (te vergelijken met specifieke grondgebruikscombinaties - MvB) ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de ordening binnen de waterhuishouding baseert." "Men kan drie ordeningsprincipes onderscheiden:

1. het zoneringsprincipe" (in een andere publicatie van de auteurs als "bufferprincipe" aangeduid - MvB)" beoogt scheiding uitgaande van de bestaande ruimtelijke verdeling van de compartimenten zonder aanpassing van de rangschikking binnen een stromingsstelsel. Men maakt gebruik van specifieke waterhuishoudkundige inrichting en/of van aangepast waterbeheer in het gebied direct aansluitend op een compartiment met de meest stabiliteit vereisende functies."

"2. het positioneringsprincipe beoogt scheiding uitgaande van een herschikking van compartimenten binnen een deelstroomgebied. Deze herschikking is zodanig dat men door ordening ten opzichte van waterbe-



Figuur 3.14
De watersysteembenadering voor landschapsplanning: een overzicht van de fasen die in de voorbeeldstudies (hoofdstukken 4, 5 en 6) aan de orde komen.

Figure 3.14
The hydrological systems approach to landscape planning: an overview of the phases that come up in the pilot-studies of chapters 4, 5 and 6.

weging binnen een deelstroomgebied negatieve wederzijdse invloeden tussen compartimenten beperkt of zelfs positieve invloeden benut."

"3. het deelstroomgebiedprincipe beoogt scheiding uitgaande van een herschikking van compartimenten per deelstroomgebied." "Binnen een deelstroomgebied komt maar één compartiment voor. Door deze vorm van herschikking benut men het feit dat er binnen de waterhuishouding min of meer op zichzelf staande ruimtelijke eenheden bestaan. Hierdoor is de kans op negatieve wederzijdse beïnvloeding tussen strijdige compartimenten relatief klein."

7 Wel is het denkbaar dat - bijvoorbeeld door intensivering van de drainage in lager gelegen gebieden - de uitstroming van water uit deze gebieden intensiveert. Dit zal alleen tot een relevante verandering van de milieucondities in de infiltratiegebieden leiden, wanneer in de oorspronkelijke toestand vochtige tot natte omstandigheden aanwezig waren. Vaak ligt in dit type gebieden evenwel de grondwaterstand ver beneden het maaiveld, waardoor een verlaging van het niveau weinig directe invloed heeft.

8 Het urbane gebied wordt gekenmerkt door:

- het risico van verontreiniging van het (grond)water en verspreiding daarvan naar gerelateerde exfiltratiegebieden en/of benedenstrooms gelegen (delen van het) betreffende stroomgebied;
- een intensivering van de oppervlakkige afvoer (piekbelasting, overstroming) en daarmee samenhangend een verminderde grondwateraanvulling (ten gevolge van verharding en/of ten behoeve van een voldoende drooglegging);
- een discontinuïteit in de meeste door de stedelijke gebieden stromende beken.

Het optreden van de eerstgenoemde processen, de daaruit resulterende effecten maar ook de te kiezen (inrichtings)maatregelen zijn afhankelijk van de hydrologische positie van het betreffende urbane gebied. Bij een ligging in infiltratiegebieden of relatief 'bovenstrooms' is verspreiding van verontreinigingen denkbaar. Afhankelijk van de hiërarchische positie in de hydrologische landschapsstructuur van het stedelijk gebied, zijn de effecten hiervan lokaal en/of regionaal. Verspreiding via regionale grondwaterstromingsstelsels leidt niet alleen tot effecten over relatief grote afstanden, maar ook tot lange perioden waarover de effecten manifest worden. Anderzijds zijn er ten gevolge van de lange verblijftijden in die gevallen relatief gunstige condities voor de omzetting van de verontreinigingen. De verminderde grondwatervoeding leidt tot een afname van de kwelintensiteit en/of het wegvallen van stroomtakken. Tegelijkertijd kunnen piekafvoeren in het oppervlaktewater ontstaan. Ook hier is weer de positie van het betreffende gebied bepalend voor de lokatie en de aard van de effecten.

De intensivering van de oppervlakkige afvoer in urbane gebieden in exfiltratiegebieden hangt samen met de benodigde drooglegging. De ontwatering beïnvloedt de drainagebases van de betrokken stromingsstelsels; deze komen op een lager niveau te liggen. Afhankelijk van de hiërarchische positie van het betrokken exfiltratiegebied treden effecten van lokale en/of van regionale omvang op; weer naar gelang de orde van de betrokken stromingsstelsels.

9 Daarbij kan worden gedacht aan de aanleg van retentiebekkens waarin de piekafvoeren (tijdelijk) kunnen worden geborgen. Ferguson (1991-a, -b en -c), Ellington en Ferguson (1991) en Ferguson et al. (1991) stellen in dit verband voor om dergelijke retentiebekkens zo in te richten dat (een deel van) de afvoerpiek door infiltratie via het grondwater tot afvoer kan worden gebracht. Naast een zeker herstel van de grondwateraanvulling kan infiltratie - in verband met de bodempassage - bovendien voordelen voor de kwaliteit van het water met zich meebrengen.

Ferguson, 1991-a stelt: "Stormwater management, then, needs to address base flows as well as peakflows. It needs to address long-term storage in subsurface soil voids as well as visible flows in surface channels. It needs to reinitiate the self-sustaining kinds of long-term environmental processes that occurred before impervious surfaces were installed." ... "One way to accomplish these ends is to use infiltration basins as mediators of stormwater flows and quality. Such basins capture stormwater and store it until it can seep into soil voids, returning rainwater to the path it took before development occurred. When water returns to the surface, it is part of the stream's baseflow, not the original storm flow. Infiltration, then, uses the soil to reduce floods and sustain base flows in groundwater and streams.

Soil can also filter and improve the quality of runoff before it reaches groundwater or streams. An infiltration basin removes metals, phosphorus and other constituents from water by accumulating them in the upper few inches of the basin's soil." (Ferguson, 1991a, p. 78). In de stedenbouwkundige opzet van een nieuwe wijk in Enschede zijn dit soort ideeën ten uitvoer gebracht.

10 Het voorkomen van verspreiding van verontreinigingen via het grondwater in infiltratiegebieden vergt een niet-lekkend rioleringsstelsel en een goede zuivering van afvalwater. Ook het via het verharde oppervlakte afstromend water, dat immers verontreinigingen kan bevatten, kan worden verzameld en gezuiverd, eventueel in een apart daarvoor aangebracht stelsel. Dergelijke gebieden kunnen een rol spelen in de groenstructuur van de betreffende steden.

11 Met name het omvormen van 'donker naaldhout' (zoals douglasspar) kan in dit verband belangrijke winst opleveren (Van Beusekom et al., 1990). Het is duidelijk dat verschillen in vegetatietypen tot differentiatie in de grondwateraanvulling aanleiding kunnen geven (zie bijvoorbeeld Anonymus (1984-d); Jansen (1986); Koerselman en Beltman (1988); Hendriks et al. (1990); Van Beusekom et al. (1990); Schouvenaars (1990); Veen (1992) en Stalpers en Van Buuren (1993)). De variatie die - ook binnen eenzelfde vegetatietype - wordt gemeten, maakt het moeilijk hieromtrent in alle gevallen harde uitspraken te kunnen doen. Wel is duidelijk dat - over het algemeen - in drogere condities 'opgaande' begroeiingen ('bossen') een geringere aanvulling van de grondwater voorraad tot gevolg hebben dan 'korte' (kruidachtige) vegetaties. Eenzelfde redenering lijkt op te gaan voor het verschil tussen 'donker naaldhout' (spar) ten opzichte van loofhout en 'licht naaldhout' (den).

12 Behalve in het met verdroging bedreigde gebied zelf, kan deze ingreep ook worden toegepast in benedenstrooms daarvan gelegen gebieden. De verhoging van de drainagebasis die hiervan het gevolg is, kan de afvoer verminderen en tot vernatting leiden.

13 Naast een verhoging van het grondwater niveau kan hiermee de invloed toenemen van het (diepe) grondwater. In de uitgangssituatie wordt dit in belangrijke mate in de sloten afgevangen. Na de ingreep is een diffuse uitreding van het grondwater mogelijk.

14 Er wordt in zo'n geval een zone rond het te beschermen gebied geprojecteerd van een zodanige omvang dat grondwaterstandsverlagingen in omliggende gebieden niet langer tot in dat gebied zullen uit-

stralen. Eventueel kan in de bufferzone op kunstmatige wijze een hoog waterpeil worden gehandhaafd.

15 Duikers kunnen soelaas bieden op punten waar een waterloop door een andere (grotere, diepere) wordt afgesneden ('onthoofding'). Het gebruik van koppelleidingen of omleidingskanalen kan worden beperkt tot die perioden waarin het strikt noodzakelijk is. In veel gevallen worden deze voorzieningen zo gebruikt, dat ze gedurende het gehele jaar afvoeren. De oorspronkelijke beek valt daarbij soms droog of heeft een geringe afvoer. Een wijziging van de drempelhoogte bij het 'aftakpunt' kan tot een situatie leiden waarin de oorspronkelijke beek de hoofdafwatering verzorgt en de andere leidingen slechts functioneren bij piekafvoeren.

16 Het is evenwel de vraag in hoeverre daarmee ook de samenstelling of kwaliteit van het water wordt hersteld. Het gaat er dan niet alleen om of het aan te voeren water verontreinigd is. Het is ook de vraag welk watertype (atmocliën, lithocliën) wordt aangevoerd. Is dit water van een andere samenstelling dan hetgeen er 'van nature' thuis hoort, dan wordt gesproken van 'gebiedsvreemd water' (Anonymus, 1987-b; Torenbeek et al., 1987; Van Buuren et al., 1996).

Ook bij een aantal van de hierboven besproken inrichtingsmaatregelen gericht op het verminderen van het waterverlies kunnen aanleiding geven tot een verschuiving in het watertype. Het vasthouden van (neerslag)water in een gebied kan een zodanige tegendruk tot gevolg hebben dat grondwater zich niet langer in de bodem kan manifesteren. Er treedt dan een verschuiving op naar een meer atmocliën watertype (zie bijvoorbeeld De Mars et al., 1996). De exacte gevolgen voor de watersamenstelling zijn echter sterk afhankelijk van de situatie ter plekke.

17 Dit zijn aangelegde moerassen, begroeid met helofyten (moerasplanten), waarin de natuurlijke capaciteit voor opslag en afbraak van stoffen wordt benut voor het verbeteren van de waterkwaliteit (Meuleman, 1987; Van der Aart et al., 1990; Duel et al., 1991-a en 1991-b). Technische installaties vergen hoge investeringen; helofytenfilters vergen vooral veel ruimte. De keuze tussen een van beide systemen - of van een combinatie - hangt voorts af van het zuiveringsresultaat in relatie tot de aard van de verontreiniging.

Landbouwgebieden waar de vervuiling in vergelijking tot stedelijke gebieden over het algemeen gering is, maar wel ruimtelijk sterk verspreid ('diffuse verontreiniging'), lenen zich voor de toepassing van dergelijke helofytenfilters (zie o.a. Duel et al. 1991-a en 1991-b). Het waterlopenstelsel wordt zodanig ontworpen dat al het (mogelijk verontreinigde) oppervlaktewater op één of meer plaatsen wordt geconcentreerd en aldaar wordt gezuiverd. Pas daarna vindt lozing plaats op het omringende gebied. Ook kan worden gedacht aan de toepassing van kleinschalige helofytenfilters op het niveau van individuele boerenbedrijven.

18 Op een bepaalde locatie kan grondwater via een pompput worden opgevangen om te worden gereinigd. Daarna kan het schone water (op de juiste diepte) in het betreffende stromingsstelsel worden geïnfilteerd.

19 Er kan in dit verband worden gedacht aan het aanpassen van de omgeving van waterlopen. De zuiverende werking van helofytenfilters kan in de waterlopen worden benaderd door de groei van helofyten te bevorderen. Een ruimer en aangepast dwarsprofiel ('plasbermen') bijvoorbeeld, biedt daarvoor mogelijkheden. Een meanderend verloop van de waterloop versterkt deze werking nog eens door de langere verblijftijd van het water, in combinatie met de grotere contactoppervlakte. Beschaduwning van waterlopen leidt via lagere temperaturen tot hogere zuurstofgehalten in het water (Hynes, 1970; Harmsen et al. 1988), hetgeen ook een positieve bijdrage levert aan de waterkwaliteit.

Adriaanse en Kemmers (1988) en Van Dort en Kemmers (1990) beschrijven in dit verband bufferzones die de aanvoer van nitraat naar beekdalen moeten voorkomen. De bufferzone (waarin geen nitraatbelasting plaats heeft) is juist zo breed dat het toestromende grondwater uit bovenstroomse landbouwgebieden bij aankomst in het beekdal zijn nitraat-last is kwijtgeraakt door afbraakprocessen in de ondergrond. Ook beek-begeleidende vegetatiestroken kunnen als bufferzones functioneren. In de literatuur wordt aan zo'n strook een belangrijke opnamecapaciteit voor voedingsstoffen uit oppervlakkig en ondiep naar een beek(dal) afstromend water toegedicht (zie § 2.3.2).

20 Een mogelijkheid in dit verband is het aanleggen van afvangleidingen, parallel aan het te beschermen natte gebied. Lokaal uit aangrenzende gebieden afstromend water kan daarmee worden onderschept. Deze maatregel heeft evenwel een verminderde voeding van het gebied tot gevolg, waardoor problemen op het kwantitatieve vlak kunnen ontstaan. Door combinatie met zuivering van het onderschepte water op bepaalde concentratiepunten kan dit probleem wellicht worden ondervangen. Door dergelijke concentratiepunten zoveel mogelijk benedenstrooms te lokaliseren, ontstaat een relatief lang, niet kwalitatief beïnvloed (beek)traject.

Een variant op de parallelle afvangleidingen is door Stuurman et al. (1989) beschreven en omvat de aanleg van ondiepe greppels door het te beschermen gebied naar de hoofdwatertloop. De greppels voeren het lokale, verontreinigde grondwater uit direct aangrenzende dekzandruggen af, opdat tussen de greppels in het regionale grondwater zijn invloed kan manifesteren. Een dergelijke ingreep kan evenwel negatieve invloed uitoefenen op de waterkwaliteit in de afvoerende waterloop.

21 Bij stuwen kan de barrièrewerking voor waterorganismen worden opgeheven door de aanleg van 'vis-trappen'. Stuwen kunnen ook door cascades worden vervangen waarbij de gewenste stuwhoogte niet op één punt maar getrapd over een traject van enige (tientallen) meters wordt 'verdeeld'. Duikers kunnen ruimer worden uitgevoerd, waardoor langs het water trekkende organismen de ruimte hebben om wegen en dergelijke ongestoord te passeren (zie bijvoorbeeld: Van Herwaarden, 1987).

22 Een probleem daarbij vormt de vraag in hoeverre het historische profiel (nog) past bij de huidige stromingskarakteristieken van de beek.

23 In Noord-Jutland in het stroomgebied van de Voers Å zijn gunstige ervaringen opgedaan met zowel het aanbrengen van de driehoekskribben als met een aangepast beheer van de oevervegetatie (Anonymus, 1983). Het laatste impliceert dat de oevervegetatie wordt gehandhaafd op die locaties waar zich, gezien de stromingskarakteristieken van de betreffende beek, een meanderbocht zou vormen. De ervaring in Noord-Jutland leert dat hiermee dezelfde resultaten worden verkregen als met de aanleg van driehoekskribben, evenwel tegen veel lagere kosten. Het effect van zowel kribben als aangepast beheer is dat een meanderend, smaller en dieper verloop van de beek is ontstaan binnen de oorspronkelijke bedding, waarvan de afvoer-karakteristieken zeker niet onderdoen voor die in de uitgangssituatie.

24 Beide factoren hebben ertoe geleid dat in Duitsland de aanleg van beplante waterlopen als standaardmaatregel bij het uitvoeren van cultuurtechnische werken is toegepast (Bonnema et al., 1988). Aanvankelijk werden daarbij 'monocultures' van een- of tweerijige elzenbeplantingen toegepast. Later is men - mede om

ecologische redenen - overgestapt op een ruimer assortiment van inheemse beplantingen in een bredere zone langs de beken.

25 Deze inventarisatie betreft een niet gepubliceerd onderzoek van de vakgroep Ruimtelijke Planvorming in de periode 1990/1991. Het onderzoek omvatte een enquête onder Waterschappen, Diensten van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Provinciale Landschappen, Natuurmonumenten en Rijkswaterstaat Directie Overijssel, naar de locatie en aard van uitgevoerde of geplande maatregelen voor natuurtechnisch beekherstel. Het onderzoek heeft zich beperkt tot de provincies, waar de Nederlandse laaglandbeken zijn te vinden (de zandgebieden). Een deel van de resultaten is beschreven in Hermens en Wassink, 1992.

DEEL 2 VOORBEELDSTUDIES

4 Het stroomgebied van de Regge

4.1 Inleiding

Als onderzoeksgebied voor de voorbeeldstudies is het stroomgebied van de Regge in Twente gekozen (figuur 4.1). Bij deze keuze hebben overwegingen van verschillende aard een rol gespeeld. In eerste instantie vormt het genoemde gebied in hydrologisch opzicht een eenheid. Het stroomgebied bevindt zich vervolgens vrijwel geheel in Nederland¹ en valt binnen de jurisdictie van één waterschap en één provincie. Dit brengt voordelen met zich mee bij het verzamelen en vergelijken van gegevens. Bovendien waren van dit gebied veel van de relevante gegevens aanwezig of zijn in de loop van het onderzoek beschikbaar gekomen. Een laatste argument dat bij de keuze een rol heeft gespeeld is de grote diversiteit aan abiotische en grondgebruikscondities die in het genoemde gebied kunnen worden aangetroffen. Zonder nu te concluderen dat Twente wat dit betreft representatief kan worden geacht voor 'de zandgebieden van Nederland', brengt deze diversiteit wel met zich mee dat veel condities die elders worden aangetroffen in het studiegebied zijn vertegenwoordigd.

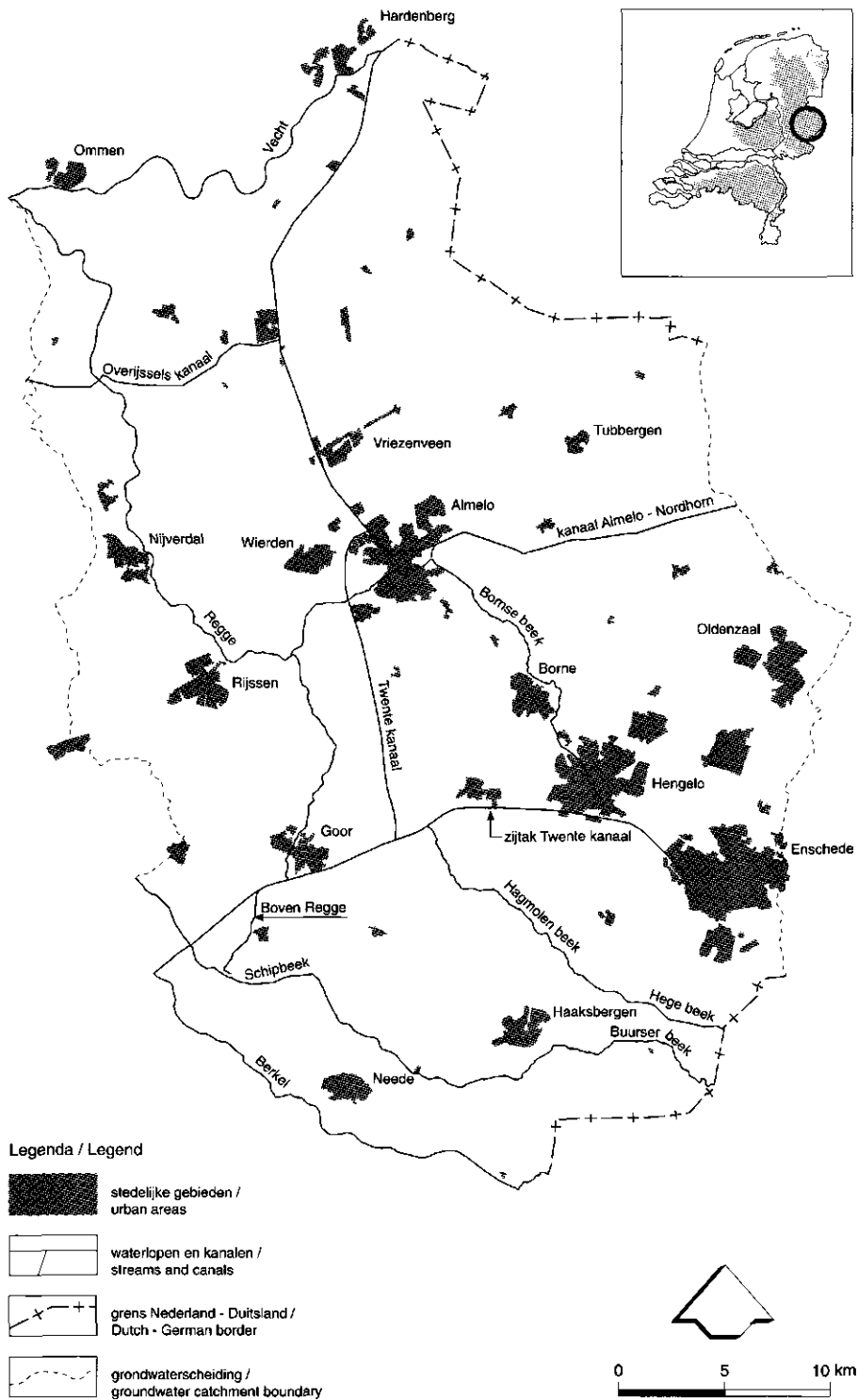
Het doel van dit hoofdstuk is tweeledig. Ten eerste wordt het studiegebied geïntroduceerd door de ontwikkeling van de voornaamste patronen en processen in het landschap te schetsen. Vervolgens wordt een typering gegeven van de problematiek in het studiegebied op een regionaal niveau. In beide gevallen ligt daarbij - als uitvloeisel van de oriëntatie van het totale onderzoek - de nadruk op de hydrologie.

4.2 Werkwijze

Landschapsanalyse

De ontwikkeling van het landschap is hier getypeerd door een beschrijving te maken van de geologische genese en de occupatie van het studiegebied. Daarbij is gebruik gemaakt van literatuur- en kaartinterpretaties. Er is gekozen de verkregen inzichten te integreren op een 1:50.000 schaalniveau. Op deze schaal zijn regionale, landschappelijke patronen in het algemeen goed te bestuderen. De aanwezigheid van veel basismateriaal (bodemkaarten, topografische kaarten, geomorfologische kaarten, et cetera) op dit schaalniveau speelt daarbij een rol.

De schetsen van de geologische genese en de occupatie zijn zó achter elkaar gezet dat zij gezamenlijk een chronologisch beeld van de ontstaansgeschiedenis van het landschap vormen. Uiteraard betreft het hier een aantal hoofdlijnen en is gekeken naar de relevantie voor hydrologische verschijnselen. De beschrijving van de geologische genese eindigt ongeveer in de tijdsperiode dat menselijke occupatie en ontginning de ontwikkeling van het landschap gaan domineren. Geologische processen blijven hun werking uitoefenen, maar menselijke activiteiten worden langzamerhand dominant door hun dynamische en intensieve aard en worden - mede - stuurfactoren voor natuurlijke processen. Hierbij zijn twee perioden onderscheiden. Tot aan het eerste deel van de 19e eeuw wordt de occupatie nog in sterke mate gekarakteriseerd door een nauwe koppeling aan de natuurlijke hydrologische en bodemvruchtbaarheidscondities (Keuning, 1955; Hijzeler, 1970; Slicher van Bath, 1970; Van der Hammen et al., 1971). Het tweede deel van de 19e eeuw vormt het beginpunt van een aantal maatschappelijke ontwikkelingen met ingrijpende veranderingen voor het landschap in het studiegebied. In deze periode krijgen antropogene factoren een doorslaggevende invloed op de vorm en het functioneren van het landschap.



*Figuur 4.1
Het studiegebied voor de voorbeeldstudies: het stroomgebied van de Regge in Oost-Nederland.*

*Figure 4.1
The study area for the pilot-studies: the catchment of the river Regge in the eastern part of the Netherlands.*

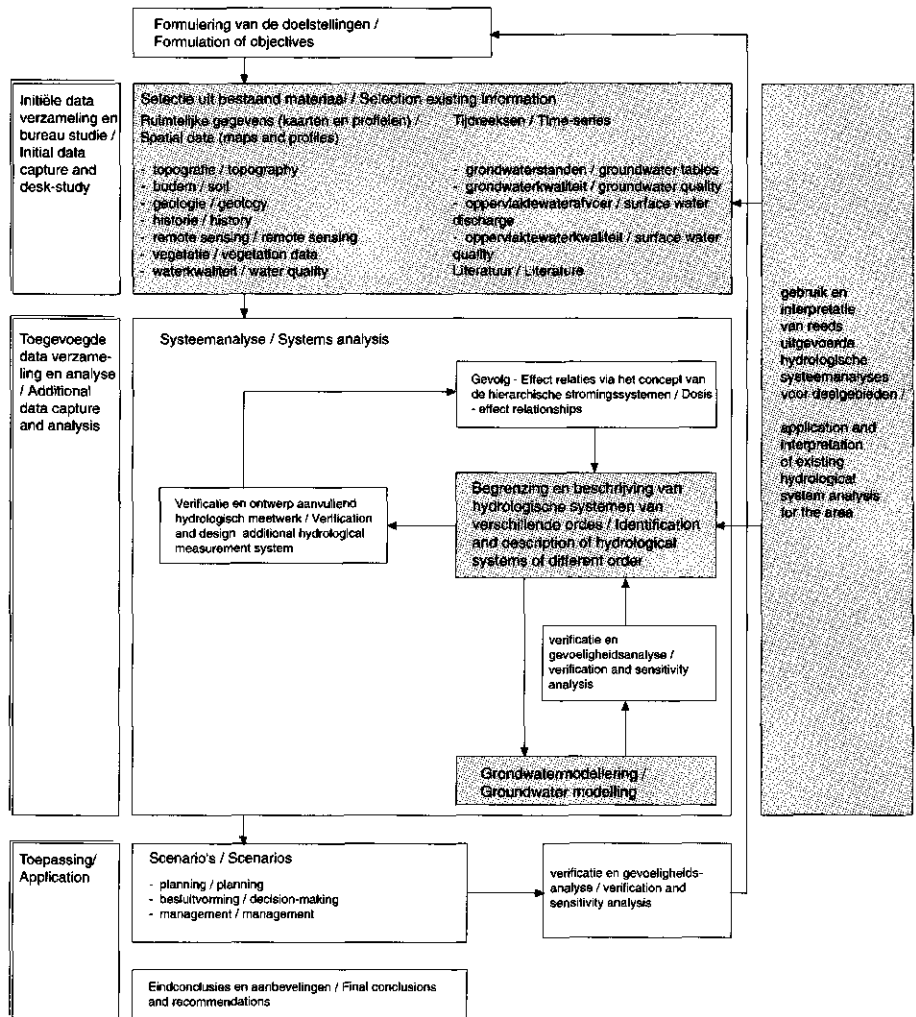
De toepassing van de hydrologische systeemanalyse

Met de geologische genese en de occupatiegeschiedenis zijn twee van de belangrijkste factoren behandeld die de eigenschappen van de hydrologische landschapsstructuur bepalen. Vervolgens is de methodiek van de regionale hydrologische systeemanalyse (§ 3.2.2) toegepast voor de beschrijving en analyse van de hydrologische landschapsstructuur ten behoeve van de planvorming op een regionaal niveau. De gebruikte kaartschaal is 1:50.000. Deze beschrijving en analyse omvat een voornamelijk

kwalitatieve interpretatie van bestaande hydrologisch relevante kaarten en data, ten behoeve van de aanduiding van grond- en oppervlaktewaterstromingsstelsels. De interpretatie van bestaande gegevens, ondersteund met eenvoudige computersimulaties, vormt daarin de hoofdmoot (figuur 4.2).

Er is met deze kwalitatieve methode getracht inzicht te verschaffen in processen en daarmee samenhangende relaties in het landschap, zonder op de (exacte) omvang van de waterstromen of de nauwkeurige lokalisering van de subsystemen in te gaan. Een kwantitatieve benadering is in het verband van de planvorming op een regionaal niveau niet op zijn plaats geacht. Zo'n complexe en tijdrovende studie is strijdig met het tentatieve karakter van de (strategische) planvorming op dit schaalniveau². Bovendien zou het uitvoeren van een uitgebreide, kwantitatieve studie voor een gebied met de omvang en de (natuurlijke) differentiatie van het Regge stroomgebied voorbij gaan aan de doelen en middelen van dit onderzoek. In Bijlage I wordt de gebruikte methodiek nader toegelicht.

Bij de uitvoering van de hydrologische systeemanalyse is gekozen voor een historisch



in hoofdstuk 4 toegepaste elementen van de hydrologische systeemanalyse / elements of the hydrological systems analysis as used in chapter 4

Figuur 4.2

Een weergave van de wijze waarop de hydrologische systeemanalyse in hoofdstuk 4 is toegepast. Een kwantitatieve interpretatie van bestaande hydrologische data en eenvoudige computersimulaties staan centraal (zie ook figuur 3.4).

Figure 4.2

A representation of the hydrological systems analysis as applied in chapter 4. A qualitative interpretation of existing hydrological data and simple computer simulations are central (compare to figure 3.4).

perspectief, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de hydrologische landschapsstructuur in een 'historische' - globaal te dateren als die uit het begin van de 19e eeuw - en een 'huidige' situatie. Deze keuze hangt samen met de veronderstelling dat de problematiek van de Nederlandse zandgebieden in belangrijke mate samenhangt met hydrologische veranderingen sinds met name de negentiende eeuw (zie bijvoorbeeld Pedroli, 1989). Vanuit dit historisch perspectief kan een goed begrip ontstaan van de processen die ten grondslag liggen aan de huidige problemen in het landschap. Tegelijkertijd biedt het historisch perspectief een indicatie omtrent (hydrologische) condities die kunnen ontstaan in een toestand met een verminderde antropogene invloed. Deze indicaties zijn van belang als referenties voor planvoorstellen waarbij een - gedeeltelijk - herstel van 'natuurlijke' (hydrologische) condities voorop staat.

Analyse van het grondgebruik

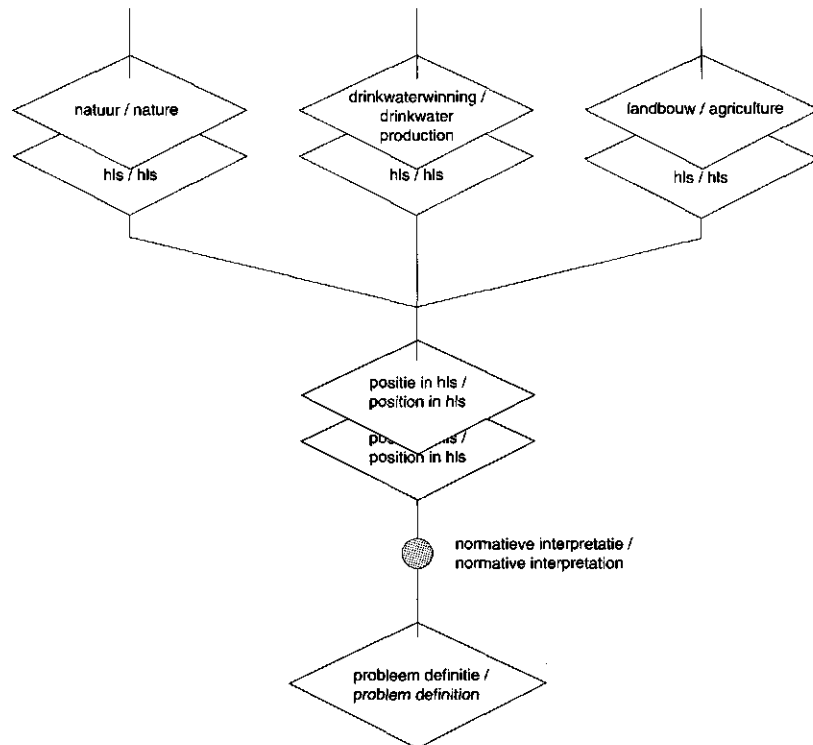
Voor een typering van de problematiek in het studiegebied op regionaal niveau is de in § 3.2.3 aangegeven methodiek voor de analyse van het grondgebruik versus de watersystemen op hoofdlijnen gevolgd. Voor de belangrijkste vormen van grondgebruik - te weten 'natuur', 'drinkwaterwinning' en 'landbouw' - is op globale wijze de positie in de hydrologische landschapsstructuur geschetst en zijn de daaruit voortvloeiende consequenties voor de problematiek in het studiegebied geanalyseerd (figuur 4.3). De nadruk is daarbij gelegd op het in kaart brengen van de ontwikkeling van gebieden met natte milieuecondities. De resultaten van de analyses zijn beschreven in de paragrafen 4.3 en 4.4.

4.3 De landschapsanalyse

4.3.1 De geologische genese van het landschap

Processen in het Tertiair

Geologische processen in het Tertiair en het Kwartair zijn voor een goed begrip van het landschap in het stroomgebied van de Regge essentieel³. Gedurende het Tertiair



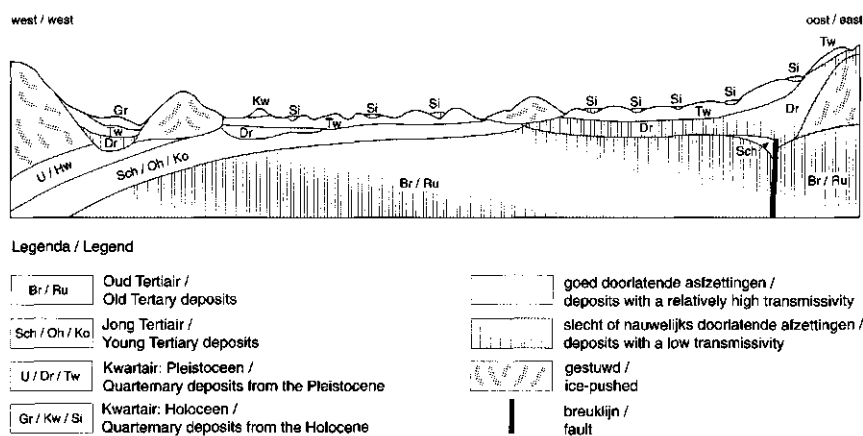
Figuur 4.3
Een weergave van de analyse van het grondgebruik versus de watersystemen zoals is toegepast in hoofdstuk 4 (zie ook figuur 3.5).

Figure 4.3
A representation of the analysis of land-use and watersystems as applied in chapter 4 (compare to figure 3.5).

ontstonden overwegend kleiige en zandige afzettingen (Formaties van Breda, Rupel, Oosterhout, Scheemda en Kiezeloöliet; Br, Ru, Oh, Sch, Ko). De ligging van het studiegebied op de overgang van het zogenaamde Oost-Nederlands Plateau⁴ naar het dalingsbekken van de Noordzee heeft ertoe geleid dat gaande in een westelijke richting de (oudere) Tertiaire afzettingen op steeds grotere diepte worden aangetroffen (figuur 4.4). In het westelijke deel van het studiegebied worden op de oudere mariene kleilagen van de Breda-formatie relatief dikke pakketten van de continentale zanden van de formatie van Scheemda aangetroffen. Het voorkomen van de Tertiaire formaties is in hydrologisch opzicht van belang in verband met het ingesloten zoute water en de overwegend slechte tot zeer slechte doorlatendheid. De zware klei van de formatie van Breda wordt in het algemeen als basis van de watervoerende pakketten in het studiegebied aangenomen (Smoor en De Ridder, 1972; Aelmans, 1973; Haak, 1985).

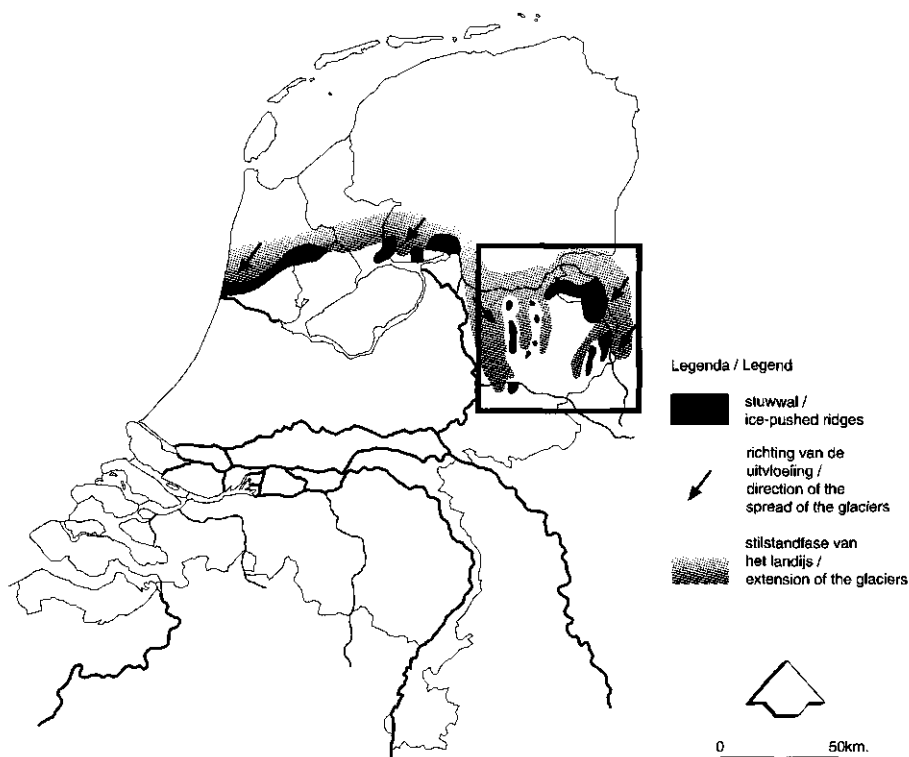
Processen in het Pleistoceen

De processen in het Pleistoceen zijn bepalend geweest voor de opbouw van de watervoerende pakketten en voor de oppervlakte morfologie van het studiegebied. In de vroeg-Pleistocene periode is het dalingsbekken met (voornamelijk grove, fluviatiele) zanden opgevuld (Formaties van Harderwijk en Urk; Hw, U). Gedurende het Saalien drong het landijs via de in vroegere perioden gevormde laagten het studiegebied binnen (Van der Hammen en Van Maarleveld, 1970; figuur 4.5). Gedurende één van de vergletscheringsfasen (Ter Wee, 1966; Jelgersma en Breeuwer, 1975) is een uitgesproken reliëf van noord-zuid georiënteerde (complexen van) stuwwallen en glaciële geulstructuren ontstaan (Haak, 1985; Aelmans, 1973; Smoor en De Ridder, 1973; Zagwijn en Van Staalduinen, 1975). Op het Oost-Nederlands Plateau zijn de kleiige Tertiaire formaties bij de stuwing betrokken (Van den Berg en Den Otter, 1993). In het westelijk gebiedsdeel zijn de zandige formaties van vóór de landijsbedekking gestuwd. Tenslotte is er door het landijs lokaal keileem (Formatie van Drenthe; Dr) afgezet (figuur 4.4). Bij het afsmelten van het landijs en in de perioden daarna is het glaciële reliëf genivelleerd. In eerste instantie zijn de glaciële geulen met de fluvioglaciële en lacustroglaciële afzettingen van de Drenthe-formatie opgevuld. In het dal van de Regge gaat het om de zogenaamde bekkenkleien; in de oostelijke geulstructuur⁵ betrof het fijne tot matig grove zanden (Haak, 1985). In het noordelijk en westelijk gebiedsdeel hernam vervolgens de sedimentatie van grove fluviatiele zanden. Lokaal zijn gedurende het Eem-interstadiaal kleiige en venige lagen afgezet. De vorming van een pakket fijne tot lemige dekzanden (Formatie van Twente; Tw)



Figuur 4.4
De geologische genese: de afzettingen in een schematische west-oost doorsnede door het studiegebied. In westelijke richting duiken de oudere formaties steeds dieper weg, in het oosten reiken deze tot aan het maaiveld. De kleiige afzettingen uit het Tertiair (Br en Ru) worden in het algemeen als de hydrologische basis van het gebied aangenomen. De gestuwde formaties uit het kwartair bepalen het macroreliëf dat in latere perioden is afgevlakt.

Figure 4.4
The geological origins: the geological formations in a schematic west-east cross-section of the study area. In the western part the older sediments are found at relatively great depths whereas these formations are very shallow in the eastern part. The clay deposits with very low permeability from the older tertiary periods (Br and Ru) are generally considered as the hydrological basis in this area. The relief is dominated by ice-pushed ridges from the Pleistocene.



Figuur 4.5
De geologische genese: de verbreiding van het landijs tijdens het Saalen. Door opstuwing van tertiaire en vroeg-pleistocene afzettingen is een uitgesproken reliëf van noord-zuid georiënteerde stuwwallen en glaciale geul-structuren gevormd.

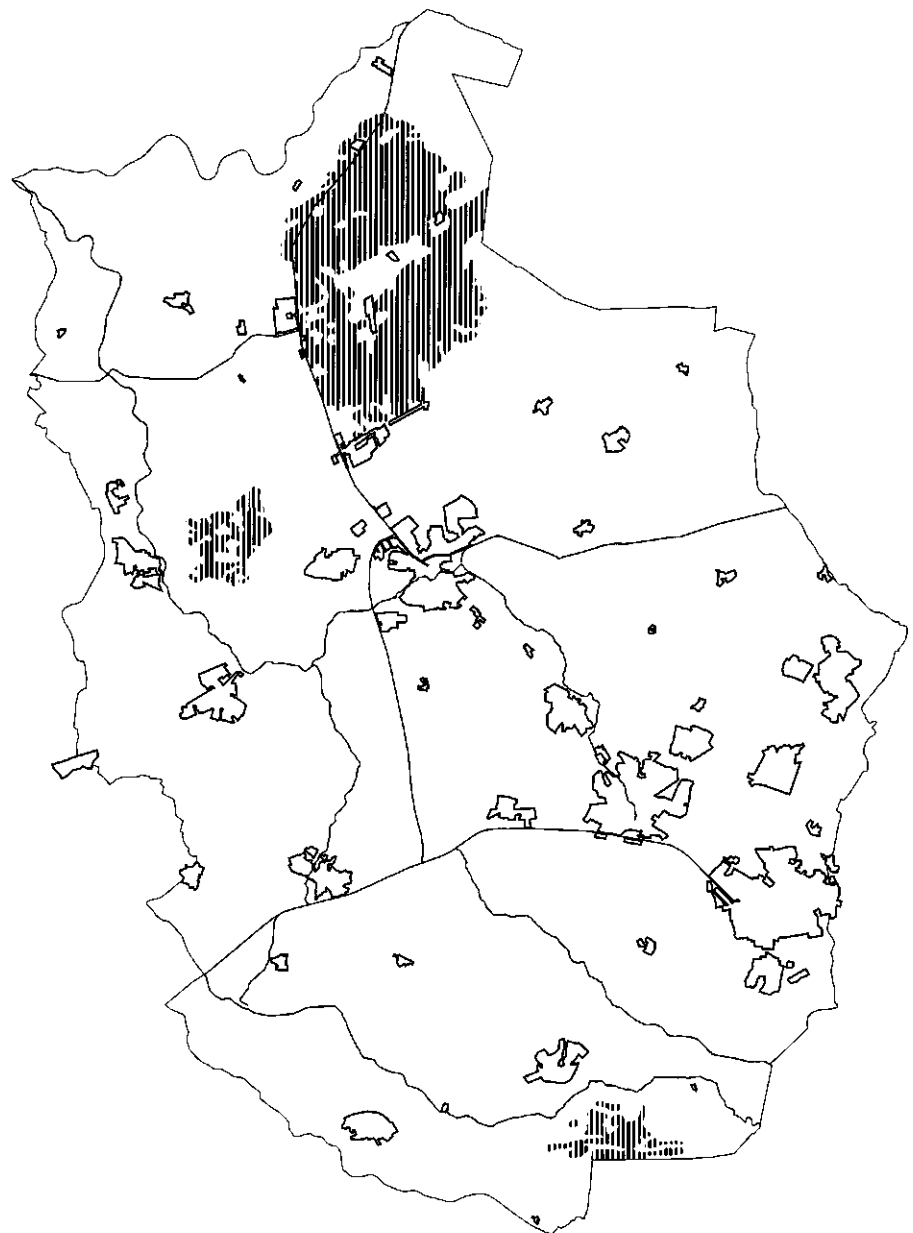
Figure 4.5
The geological origins: the location of the glaciers during the Saale period. A series of north-south oriented ice-pushed ridges and glacial valleys was formed by pushing up tertiary and early-pleistocene deposits.

onder de periglaciale omstandigheden van het Weichselien, leidde tot een verdere afvlakking van het glaciogene reliëf (figuur 4.4). De afzetting van het zogenaamde 'jonge dekzand' geschiedde niettemin in accumulatievormen als ruggen en paraboolduinen (Van der Hammen en Van Maarleveld, 1970). Opvallend is dat dergelijke accumulaties dikwijls zijn terug te vinden als mantels rond de stuwwallen (vergelijk Visscher, 1972). Op de stuwwallen is het dekzand pakket dun of ontbreekt het zelfs. Tenslotte zijn er in deze periode ten gevolge van de permanent bevroren ondergrond op de flanken van de stuwwallen dalen uitgeschuurd en daluitspoelingswaaiers gevormd.

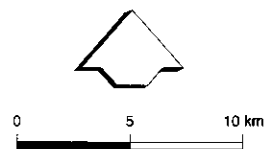
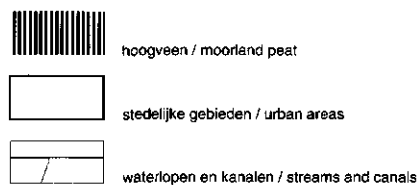
Processen in het Holoceen

De overgang naar het Holoceen wordt gemarkeerd door een vochtiger en warmer klimaat, waardoor een algehele stijging van het grondwaterniveau optreedt. In relatief lager gelegen gebieden (beekdalen, uitwaaiingskommen, vlakten met stagnerende afvoer) ontstaan moerassen. De klimatologische condities bleken gunstig voor veenvorming. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen venen in stroomdalen (evenals de beekafzettingen behorend tot de Formatie van Singraven; Si) en hoogvenen (Formatie van Griendtsveen; Gr; Anonymus, 1989-b; vergelijk Casparie, 1972; Everts en De Vries, 1991; figuur 4.4)⁹. Gedurende het Atlanticum breide het hoogveen zich sterk uit, ook over de wat hogere delen van het landschap. Met name in het noord-oostelijke en middelste deel van het studiegebied zijn hierdoor uitgestrekte hoogveengebieden gevormd (figuur 4.6).

Het laat-Holoceen, met name vanaf de Middeleeuwen, wordt gekenmerkt door een toenemende antropogene invloed op de geologische genese van het landschap. Door ontginning verdwijnt de oorspronkelijke vegetatie voor een belangrijk deel. Op sommige plekken ontstaat hierdoor stuifzand (Formatie van Kootwijk; Kw). De kleinere (stroomdal)venen in de beekdalen worden ontgonnen (Van der Hammen en Van Maarleveld, 1970; Pedroli, 1989). Een belangrijk effect van de ontginning van het oer-



Legenda / Legend



Figuur 4.6

De geologische genese: de overgang naar een warmer klimaat in het Holocene heeft in het studiegebied geleid tot de vorming van uitgestrekte hoogveenengebieden.

Figure 4.6

The geological origins: the change from a cold to a warm climate during the Holocene resulted in the development of a number of peat moor areas.

bos is, als gevolg van de verminderde evapotranspiratie, een algehele stijging van het grondwaterniveau en daaraan gepaard gaande vernatting van het milieu (Van der Hammen en Van Maarleveld, 1970; Pedroli, 1989). Overstromingen treden vaker op met als gevolg omvangrijke afzettingen van beeksedimenten (Van der Hammen en Van Maarleveld, 1970; Baaijens, 1988). Met name langs de rand van het Oost-Nederlands Plateau zijn een aantal omvangrijke overstromingsvlakten gevormd. Tenslotte moet hier nog worden vermeld het met het essen-landbouwsysteem samenhangende antagonis-

tische proces van afplaggen en verarmen (op de veldgronden) en ophogen en verrijken (op de esgronden).

Met de besproken geologische processen zijn de hoofdlijnen van de opbouw van het landschap weergegeven. De verdere occupatie van het landschap, maar ook het hydrologisch functioneren, zijn hierop gebaseerd.

4.3.2 De occupatiegeschiedenis van het landschap

4.3.2.1 De periode tot het midden van de 19e eeuw

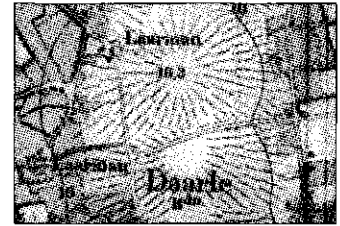
Ondanks de toenemende invloed van antropogene processen kan worden gesteld dat de occupatie in de periode tot het midden van de 19e eeuw wordt gekarakteriseerd door een nauwe koppeling aan de natuurlijke hydrologische en bodemvruchtbaarheid-scondities (Keuning, 1955; Hijszeler, 1970; Slicher van Bath, 1970; Van der Hammen, 1971). De eerste landbouwers vestigden zich gedurende het Neolithicum op de vruchtbare, makkelijk bewerkbare gronden met goede waterhuishoudkundige eigenschappen, die voorkomen op de stuwwallen met keileem in de ondergrond⁷. In de pre-Karolingische tijd⁸ zijn nederzettingen ontstaan aan de bovenlopen van de kleinere beken (Slicher van Bath, 1970). Hier trof men gunstige condities aan voor akkers op de hogere gronden, voor weilanden in de beekdalen en voor woonsteden op de overgang van beide (droog genoeg om gevrijwaard te blijven van inundaties, maar niettemin met het (grond-) water binnen handbereik). Uitgaande van deze occupatievorm is vanaf de vroege Middeleeuwen het essen-landbouwsysteem tot ontwikkeling gekomen⁹. In Twente zijn hierbij - in tegenstelling tot de karakteristieke esdorpen met geconcentreerde bewoning van Drenthe - meer verspreide nederzettingvormen ontwikkeld. Zowel de grote ruimtelijke variatie van de abiotische omstandigheden als de afwijkende maatschappelijke organisatievormen liggen hieraan ten grondslag (Keuning, 1955)¹⁰. In het studiegebied zijn hierdoor nederzettingvormen tot ontwikkeling gekomen die kunnen worden getypeerd als in figuur 4.7. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen kransesdorpen, essen-zwerm nederzettingen en kampen-ontginningen met eenmansessen (Lambert, 1971; Capel en Mobach, 1979).

Het oorspronkelijke cultuurlandschap

Tot in de 19e eeuw zijn de karakteristieke ruimtelijke eenheden uit het essen-landbouwsysteem bepalend gebleven voor de hoofdkenmerken van het landschap. Een fragment van de Topografische en Militaire kaart uit 1848 (figuur 4.8) geeft daarvan een beeld. Kenmerkend is de sterk aan de geologische genese gebonden verdeling van cultuur- en niet-cultuurgronden. De hoogste, droogste en sterk zandig ontwikkelde stuwwallen (bijvoorbeeld de Haarler- en Holterberg) zijn niet in cultuur gebracht. Het extensieve gebruik (beweiding met schapen) heeft hier tot de ontwikkeling van heidegronden geleid. De laagste, zeer natte moeras- en veengebieden (Notterveen, Elsenerveen) zijn grotendeels buiten gebruik. Op sommige plaatsen wordt veen gestoken, al dan niet in combinatie met ontginning tot grasland (zoals in 'De Veeneslagen' nabij Rijssen).

Tussen deze grote, aaneengesloten, doorgaans open gebieden bevinden zich de in cultuur genomen gebieden. Opvallend is de ligging van de kernen op de flanken van de stuwwallen en dekzandruggen: tussen de hogere voor akkerbouw geschikte gronden ('esch') en de lager gelegen vochtig tot natte hooi- en weilanden ('mors' of 'broek'; zie bijvoorbeeld rond Rijssen en Enter in figuur 4.8). De verspreiding van de enkeerdgronden in het studiegebied vertoont een nauwe samenhang met het voorkomen van terreinverheffingen (figuur 4.9). In het vlakke voormalig natte gebied in het centrum van het studiegebied zijn deze bodems gekoppeld aan het kleinschalige reliëf van dekzandkoppen - en ruggen. Op de zandig ontwikkelde stuwwallen langs de westrand van het gebied zijn de enkeerdgronden alleen op de flanken tot ontwikkeling gekomen. Op de stuwwallen met zwaardere bodems (Tertiaire klei, keileem) echter, konden tot op de hoogste delen van de stuwwallen akkers worden ontwikkeld. De enkeerdgronden op de hoogste delen van de stuwwallen rond Ootmarsum en Oldenzaal en ten noorden van Wierden getuigen daarvan.

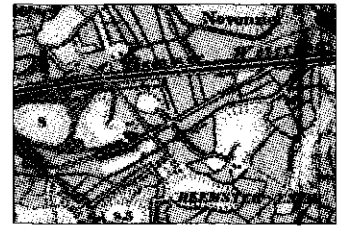
In het centrale deel van het studiegebied (het rechter gedeelte van figuur 4.8) heeft het



a. Het 'krans-es' dorp: een krans van bebouwing rond een es, met daar omheen maten en broeklanden. / The "krans-es" village: a ring of farmsteads around the arable lands. The meadows and pastures are situated outside this ring.



b. Het 'essen-zwerm' dorp: de bebouwing is geclusterd rond de relatief kleine essen. / The "essen-zwerm" village; the farmsteads are located in clusters around relatively small expanses of arable land.



c. De 'eenmans' essen van de kampongingingen: verspreide kleine essen behorend bij een boerderij. / The "eenmans essen" settlements: small plots of arable lands providing single families that result in a scattered pattern of individual farmsteads.



d. De 'lintdorpen': een lang gerekte bebouwing lint ontstaan bij de hoogveen ontginning. / The "lint dorpen" settlement type: an elongated "ribbon" of farmsteads and houses. These settlements were formed during the cutting and reclamation of peat moor areas.

Figuur 4.7

De occupatiegeschiedenis: de belangrijkste nederzettingvormen die in het studiegebied tot aan het midden van de 19e eeuw zijn ontstaan.

Figure 4.7

The history of habitation: major settlement types of the study area that were formed up till the first half of the 19th century.

Naar / After : Lambert, 1971; Bijhouwer, 1977, Capel en Mobach, 1979.



0 1 2 km

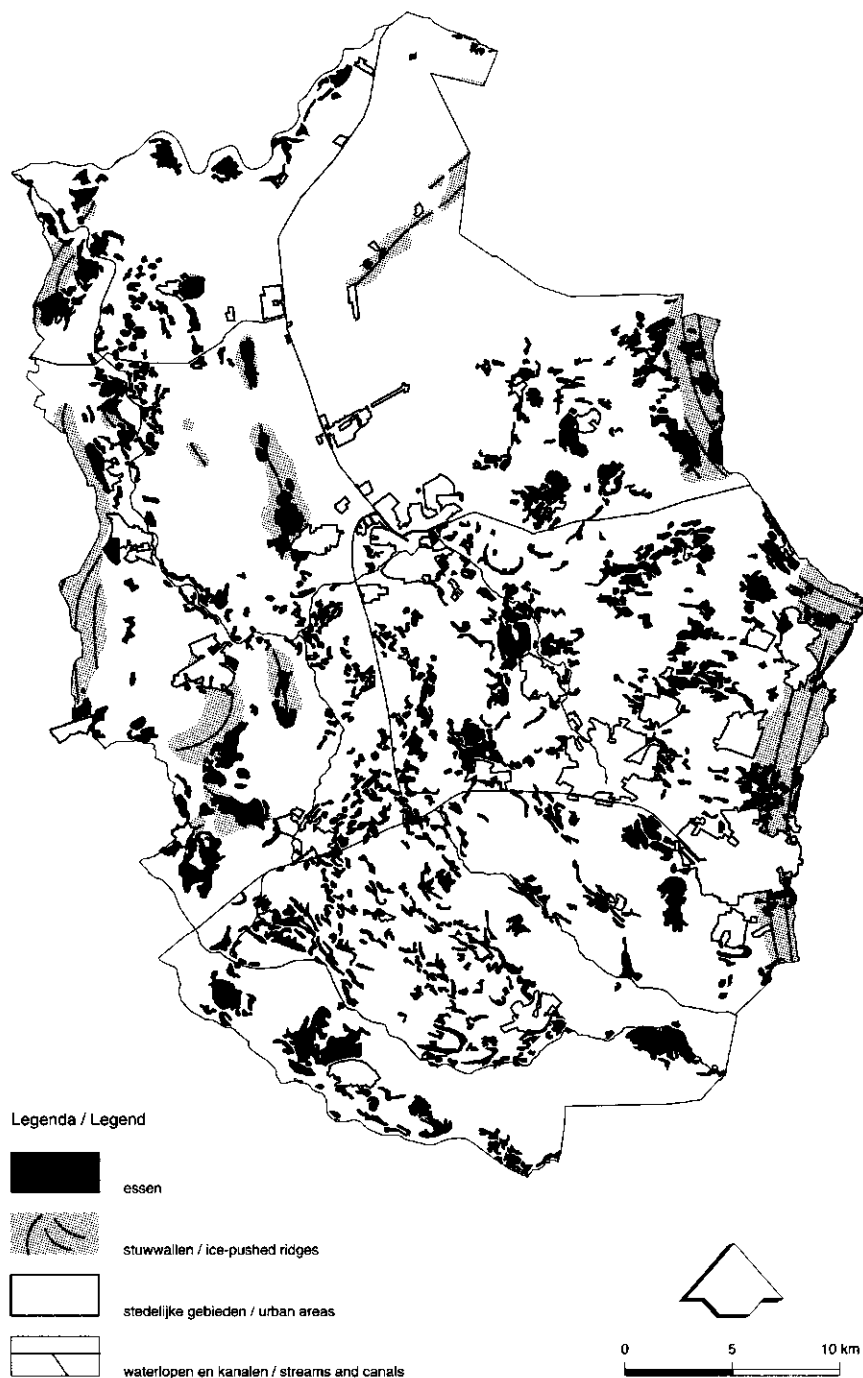
Figuur 4.8.

De occupatiegeschiedenis: een fragment van de "Topographische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden" uit 1848 weerspiegelt de karakteristieke ruimtelijke eenheden in het landschap van het 'essen-landbouwsysteem' (fragment Hollen-Rijszen).

Figure 4.8

The history of habitation: a fragment of the "Topographical and Military map of the Kingdom of the Netherlands" from 1848. The spatial units that result from the (medieval) agricultural system are reflected: the large open heath-lands in the highest areas ("Berg", "Veld"), the arable lands ("Ink" or "Escb"), the meadows and pastures ("Hooilanden", "Broek") and the uncultivated, partly reclaimed, marshes ("Veen", "Mors"). Forests are scarce and only found on estates.

veelvuldig voorkomen van kleine dekzandkoppen en -ruggen geleid tot een zeer fijnkorrelig patroon van eenmansessen en kampontginningen. Elders (zoals langs de Regge) worden de cultuurgronden aaneengeregen door de beekdalen. Bosgebieden van betekenis komen - buiten de landgoederen en de eerste 'ontginnings-bossen'¹¹ - niet voor. Doorgaande wegen zijn gering in aantal.



Figuur 4.9
De occupatiegeschiedenis: de verspreiding van de enkeerdgronden in het studiegebied. Deze gronden liggen op de flanken van de zandige stuwwallen langs de westgrens, op de dekzandruggen in het centrale gebiedsdeel en tot op de hoogste delen van de kleiige stuwwallen in het oosten.

Figure 4.9
The history of habitation: the distribution of old arable lands ("essen") in the study area. These arable lands are found on the flanks of the sandy ice-pushed ridges along the western border, on the small coversand elevations in the centre and up to the tops of the clayey ridges in the east.

Bron / Source : Bodemkaarten van Nederland, schaal 1: 50.000 (Anonymus, 1979-a; Anonymus, 1979-b; Ebbens en Visschers, 1983; Steur en Heijink, 1989; Ebbens en Van het Loo, 1990)

Het ruimtelijk beeld

De occupatie ten tijde van het essen-landbouwsysteem heeft tot een ruimtelijk beeld geleid met een grote differentiatie aan ruimtematen (vergelijk figuur 4.8). De grootste ruimten worden aangetroffen in de woeste heide-, moeras- en veengebieden. Bebouwing en opgaande begroeiing ontbreken hier vrijwel volledig. Relatief grote ruimtematen worden daarnaast aangetroffen in de door houtwallen en kleine bosjes omzoomde escomplexen. Het gebied met de kampenontginningen en eenmansessen, maar ook de door houtwallen omgeven weidegronden, kenmerken zich juist door een zeer fijnkorrelig patroon met overwegend kleine tot zeer kleine ruimtematen. Soms liggen deze gebieden als geïsoleerde 'eilanden' temidden van de uitgestrekte niet in cultuur gebrachte gronden. De afwisseling van woeste gronden en cultuurgronden, alsmede de variatie binnen deze eenheden, vormen een expressie van de onderliggende abiotische processen en patronen van het landschap, zoals deze resulteren uit de geologische genese.

4.3.2.2 De periode vanaf het midden van de 19e eeuw

In het tweede deel van de 19e eeuw doen zich een aantal maatschappelijke ontwikkelingen voor die het landschap in het studiegebied op ingrijpende wijze veranderen. De regionale economie krijgt een fundamenteel ander karakter door de opkomst van de textielindustrie¹². De industrialisatie leidt tot een toename van de bevolking en daarmee tot een expansie van het urbane grondgebruik en het daaraan gekoppelde infrastructurele netwerk. Kleine kernen groeien uit tot steden (bijvoorbeeld Enschede, Hengelo en Rijssen). De ontwikkelingen in de landbouw (nieuwe teelten en technieken, economische schaalvergroting¹⁵) leiden tot een definitieve doorbreking van het essen-landbouwsysteem. De veehouderij groeit uit tot de belangrijkste productietak.

Deze ontwikkelingen kunnen worden geïllustreerd door het grondgebruik in het studiegebied voor een historische (rond 1850) en een huidige situatie (rond 1985) met elkaar te vergelijken (zie respectievelijk figuur 4.10-a en -b). Voor een deel van het studiegebied ten westen van Oldenzaal is deze ontwikkeling nader in beeld gebracht. In figuur 4.11 zijn hiertoe respectievelijk de patronen van de opgaande begroeiing (figuur 4.11-a), de wegen en de bebouwing (figuur 4.11-b), het areaal niet in cultuur genomen gronden (figuur 4.11-c) en het graslandareaal (figuur 4.11-d) voor de historische en de huidige situatie met elkaar vergeleken.

Ontwikkelingen in het grondgebruik



Een dominant aspect uit de figuren 4.10 en 4.11 is de ontginning van de woeste gronden, waardoor de oppervlakte niet gecultiveerde gronden zeer sterk afneemt. Ongecultiveerde gronden van enige omvang zijn in de huidige situatie nog terug te vinden in voormalige hoogveengebieden en in de vorm van heideterreinen op de Sallandse Heuvelrug. Een aanzienlijk deel van de oorspronkelijk woeste gronden is ingeplant of er heeft - ten gevolge van het achterwege blijven van het traditionele gebruik - spontane bosopslag plaatsgevonden. Het bosareaal is dan ook aanzienlijk toegenomen. Opvallend daarbij is de bebossing van de armste zandgronden langs de noordelijke en westelijke begrenzing en in het centrale en zuidelijke deel van het studiegebied.

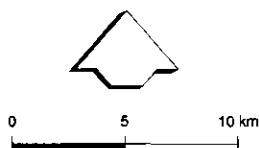
Het grootste deel van de ontginning van de woeste gronden diende evenwel het landbouwkundig gebruik. Het traditionele gemengde bedrijf maakte plaats voor gespecialiseerde veehouderij (melk- en vleesproductie). Aanvankelijk leidde deze ontwikkeling in de landbouw tot een zeer sterke toename van het graslandareaal. Aan het einde van de 70-er jaren komt aan deze toename een eind door de opkomst van een ander gewas dat de voeding van het vee dient: de snijmaïs (Anonymus, 1984-b). Niettemin vertoont de ontwikkeling van de oppervlakte grasland in de periode 1850-1985 een sterke netto toename (figuur 4.11-d).

In de situatie uit de 19e eeuw vallen de bebouwde gebieden nauwelijks op in het kaartbeeld van figuur 4.10-a. De huidige toestand weerspiegelt een grote urbane expansie, waarbij met name de ontwikkeling van de 'stedenband' Almelo-Hengelo-



Legenda / Legend

-  niet in cultuur / uncultivated lands
-  cultuurgronden / cultivated lands
-  bos / forests
-  stedelijke gebieden / urban areas



Figuur 4.10

De occupatiegeschiedenis: het grondgebruik in het studiegebied omstreeks 1850 (a) en 1980 (b).

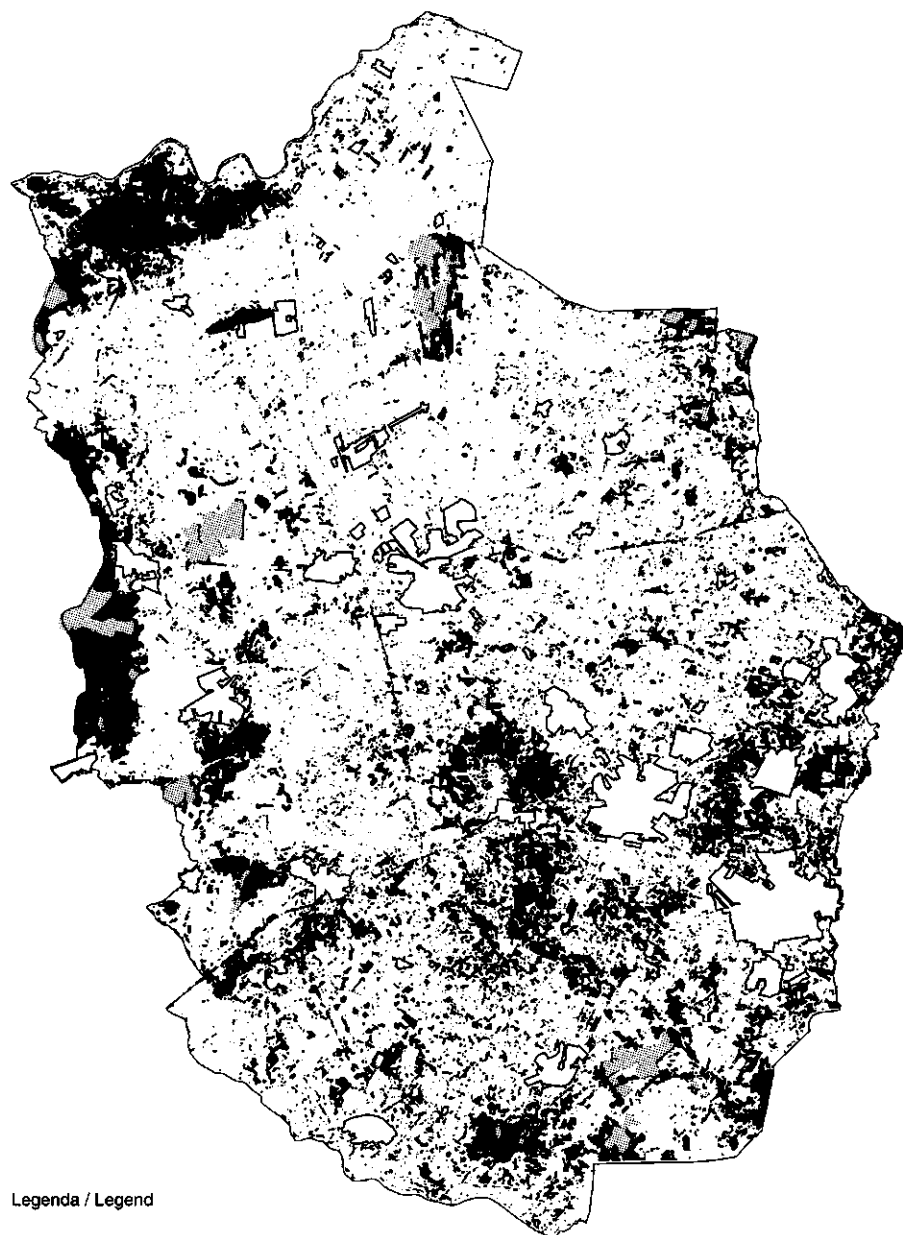
a. In de situatie van rond 1850 beslaan niet-cultuur gronden de grootste oppervlakte. De voor de landbouw meest geschikte gronden zijn in cultuur gebracht, hetgeen tot een duidelijk ruimtelijk patroon leidt. Het bosareaal bestaat uit een serie relatief kleine eenheden, terwijl de kernen nauwelijks in het beeld terug te vinden zijn.

Figure 4.10





The history of habitation: the land-use in the study area around 1850 (a) and 1980 (b).

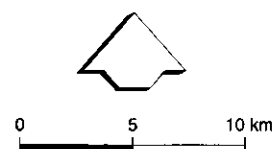
a. In the 1850 situation the uncultivated lands cover the largest part of the area. The lands with the best soils are cultivated, thus creating a clear spatial pattern of farmlands. Only small tracts of forests are found. The urban areas are very small and hardly visible on the map.

Bron / Source : Topografische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden en Topografische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000.



Legenda / Legend

-  niet in cultuur / uncultivated lands
-  cultuurgronden / cultivated lands
-  bos / forests
-  stedelijke gebieden / urban areas



Figuur 4.10

De occupatiegeschiedenis: het grondgebruik in het studiegebied omstreeks 1850 (a) en 1980 (b).

b. Het grondgebruik van 1980 weerspiegelt grote veranderingen. De niet-cultuurgronden zijn vrijwel volledig verdwenen. De overige arealen zijn sterk toegenomen; het agrarisch grondgebruik neemt nu de grootste oppervlakte in. Het aan de natuurlijke condities gebonden ruimtelijk patroon van deze gronden is verdwenen.

Figure 4.10

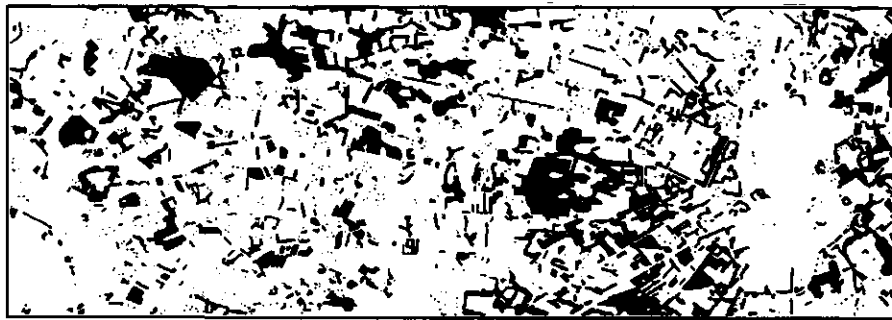
The history of habitation: the land-use in the study area around 1850 (a) and 1980 (b).

b. The land-use of 1980 reflects major changes. The uncultivated lands vanished almost completely. In the present situation cultivated lands cover the largest part of the area. The original patterns of farmlands, that was closely related to the underlying physical conditions, have disappeared.

Bron / Source : Topographische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden en Topografische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000.



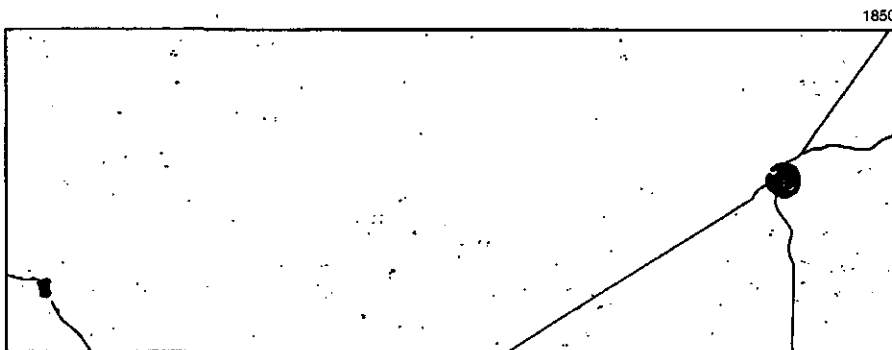
1850



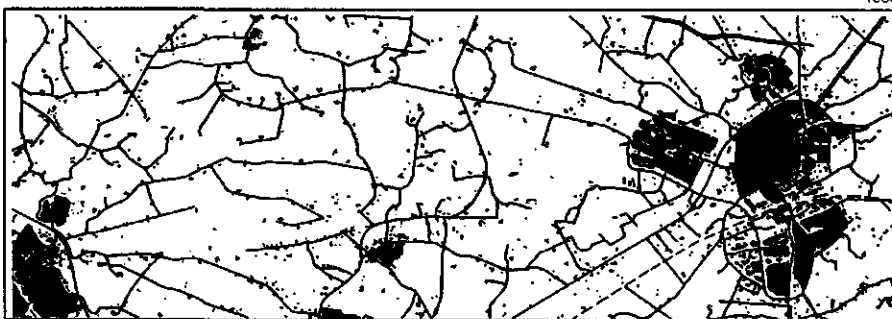
1980

a. De kaarten van de opgaande begroeiing vertonen een nivellering van de ruimtematen. De contrasten tussen de grote en de zeer kleine ruimtematen uit de historische situatie zijn verdwenen door het beplanten van de woeste gronden en het kappen van houtwallen.

a. The maps with trees, forests and plantings reflect a levelling of visual characteristics. The contrasts between large open areas and small enclosed cultivated lands from the historic situation disappeared. This is caused by the planting of trees and forests during the reclamation of heathlands and by the removal of hedgerows to create larger parcels for modern agriculture.



1850



1980

b. Het urbane ruimtebeslag is sterk toegenomen, hetgeen is geïllustreerd aan de hand van de patronen van verharde wegen en bebouwing.

b. The area of urban land-use types increased, which is illustrated by the patterns of paved roads, buildings and urban areas.

Figuur 4.11
De occupatiegeschiedenis: de ruimtelijke veranderingen tussen 1850 en 1980 nader beschouwd voor een deel van het studiegebied ten westen van Oldenzaal. De patronen van de opgaande begroeiing (a), de wegen en bebouwing (b), de niet-cultuurgronden (c) en de graslanden (d) zijn weergegeven.

Figure 4.11
The history of habitation: the land-use changes between 1850 and 1980 in more detail, illustrated for a part of the study area along the eastern border. Depicted are the patterns of trees, forests and plantings (a), the roads, the buildings and the urban areas (b), the uncultivated lands (c) and the grasslands (d).

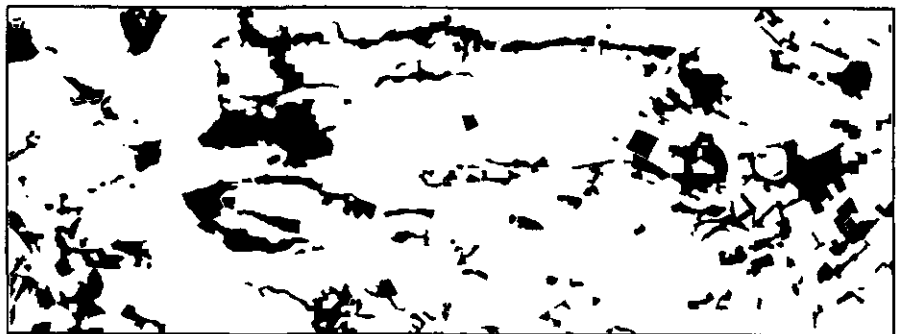
Bron / Source : Topografische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden en Topografische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000.



c. Door ontginning zijn tussen 1850 en 1980 vrijwel alle niet gecultiveerde ('woeste') gronden verdwenen.
c. As a result of reclamation on behalf of agricultural use between 1850 and 1980, the uncultivated lands disappeared almost completely.

d. Het oorspronkelijke sterk aan de natuurlijke condities gebonden patroon van graslanden is in het huidige - toegenomen - areaal niet meer te herkennen.

d. In the original situation clear patterns of grasslands were present. This pattern was closely related to the underlying physical conditions (e.g. stream valleys). Nowadays the area of grasslands increased, while the original patterns vanished.



Figuur 4.11

De occupatiegeschiedenis: de ruimtelijke veranderingen tussen 1850 en 1980 nader beschouwd voor een deel van het studiegebied ten westen van Oldenzaal. De patronen van de opgaande begroeting (a), de wegen en bebouwing (b), de niet-cultuurgronden (c) en de graslanden (d) zijn weergegeven.

Figure 4.11

The history of habitation: the land-use changes between 1850 and 1980 in more detail, illustrated for a part of the study area along the eastern border. Depicted are the patterns of trees, forests and plantings (a), the roads, the buildings and the urban areas (b), the uncultivated lands (c) and the grasslands (d).

Bron / Source : Topografische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden en Topografische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000.

d. Het oorspronkelijke sterk aan de natuurlijke condities gebonden patroon van graslanden is in het huidige - toegenomen - areaal niet meer te herkennen.

d. In the original situation clear patterns of grasslands were present. This pattern was closely related to the underlying physical conditions (e.g. stream valleys). Nowadays the area of grasslands increased, while the original patterns vanished.

Enschede opvalt. Een meer gedetailleerde beschouwing van dit expansie proces (figuur 4.11-b) maakt duidelijk dat niet alleen de kernen groeien: ook de bebouwing in het landelijk gebied neemt aanzienlijk toe. Het infrastructurele netwerk breidt zich navenant uit.

Het ruimtelijk beeld

Gepaard aan de ontwikkelingen in het grondgebruik vanaf het midden van de 19e eeuw verandert het landschapsbeeld fundamenteel van karakter. Het beplantingspatroon van figuur 4.11-a en dat van de bebouwing in figuur 4.11-b brengen deze veranderingen tot expressie. De grote ruimtematen van de woeste gronden verdwijnen als gevolg van de ontginning tot cultuurgronden met boerderijen en beplantingen langs wegen, waterlopen en perceelsscheidingen¹⁴. In de oorspronkelijk meer besloten tot zeer fijnkorrelige oude cultuurgronden nemen de ruimtematen juist toe door het verdwijnen van beplantingen. Het gevolg van deze ontwikkelingen is een nivellering van de ruimtematen in de rurale gebieden. Dit proces is overigens niet overal even ver voortgeschreden. In het landbouwgebied van de voormalige hoogveengebieden zijn de openheid en grote ruimtematen nog terug te vinden.

Nieuwe elementen in het landschap zoals de (stedelijke) bebouwing en de daaraan gekoppelde infrastructuur van kanalen, wegen, hoogspanningsleidingen, et cetera, hebben zich, min of meer los van de oorspronkelijke patronen, over het landschap uitgespreid. Hetzelfde kan worden gesteld voor bijvoorbeeld de graslanden. Het oorspronkelijke sterk aan het natuurlijke systeem (beekdalen, overstromingsvlakten kwelgebieden) gekoppelde historische patroon is in het huidige graslandareaal niet meer te herkennen (figuur 4.11-d).

Door al deze ontwikkelingen is het huidige landschap een weinig gestructureerde mengeling van (restanten van) oorspronkelijke en nieuwe patronen. De koppeling met de abiotische omstandigheden is grotendeels verloren gegaan.

4.3.3 De hydrologische landschapsstructuur

4.3.3.1 De historische hydrologische landschapsstructuur

In de periode vóór de intensieve antropogene beïnvloeding van de natuurlijke landschapsvormende processen werd het hydrologisch functioneren van het landschap nog in grote mate bepaald door een combinatie van klimaat, reliëf en opbouw van de ondergrond. In deze paragraaf is getracht een reconstructie te maken van de hydrologische landschapsstructuur in een historische situatie, zoals die ongeveer in de eerste helft van de 19e eeuw kon worden aangetroffen. Achtereenvolgens komen hieronder de grond- en oppervlaktewaterstromingsstelsels aan de orde.

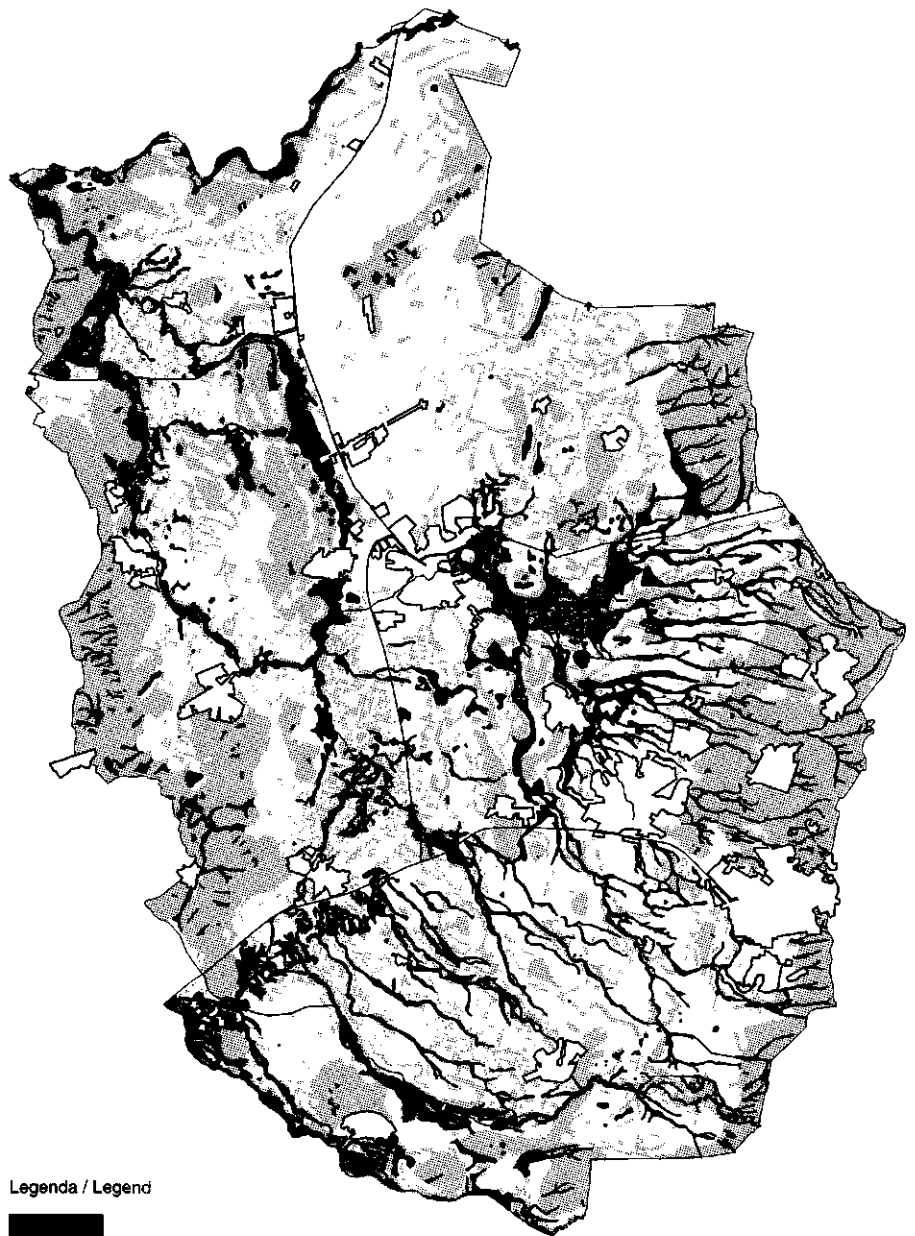
Grondwaterstromingsstelsels

Voor de grondwaterstromingsstelsels in de historische situatie zijn - naast het klimaat - het reliëf en de opbouw van de ondergrond de meest bepalende factoren. Deze factoren zijn hier - op grond van een interpretatie van de geologische genese - in beeld gebracht door respectievelijk een reliëfkaart (figuur 4.12) en een geohydrologische schematisatie van het gebied door middel van een drietal oost-west dwarsprofielen (figuur 4.13).

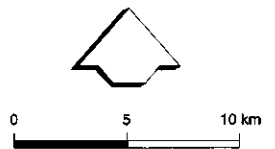
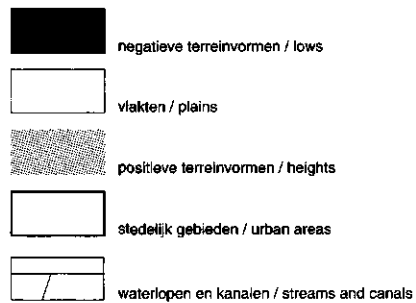
Het reliëf

In de reliëfkaart (figuur 4.12) zijn positieve en negatieve terreinvormen onderscheiden. Dit zijn respectievelijk verheffingen en insnijdingen van het terrein. Langs de west- en oostgrenzen van het studiegebied liggen de voornaamste hogere terreingedeelten: de stuwwallen met maximale hoogten van 75 tot 80 m + NAP. Tussen de stuwwallen ligt een relatief vlak, zwak in noord-westelijke richting afhellend gebied. Hierin bevinden zich een aantal min of meer geïsoleerde terreinverheffingen die doorgaans zo'n 10 tot 20 meter boven de omgeving uitsteken. Elders is een zeer kleinschalig microreliëf van kleine dekzandkoppen en -ruggen aanwezig met hoogteverschillen tot maximaal enige meters.

De negatieve terreinvormen omvatten het patroon van insnijdingen door beken en gei-



Legenda / Legend



Figuur 4.12

De hydrologische landschapsstructuur: de reliëfkaart. In deze kaart zijn negatieve terreinvormen ('laagten'), vlakten en positieve terreinvormen ('hoogten') onderscheiden. De noord-zuid georiënteerde stuwwallen worden doorkruist door fijnmazige patronen van beekdalen en overstromingsvlakten.

Figure 4.12

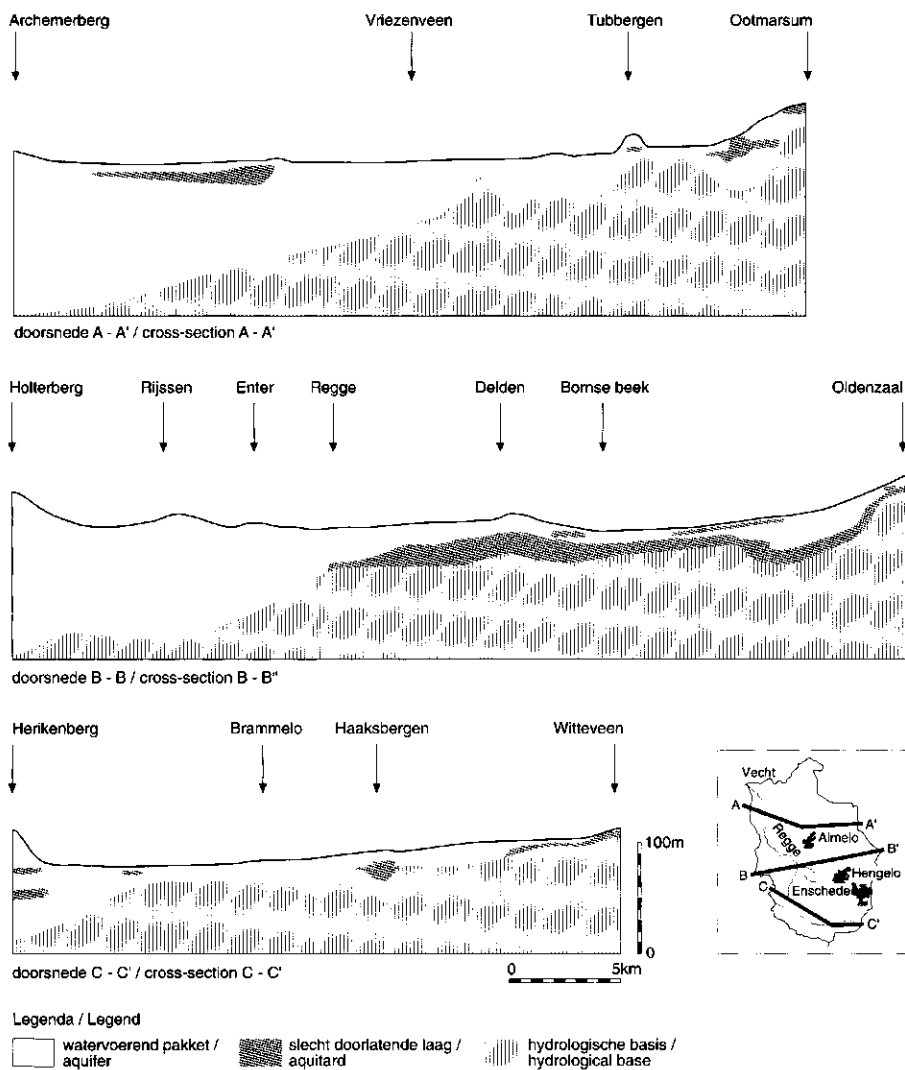
The hydrological landscape structure: the relief map of the study area. A distinction is made in three geomorphological units: 'lows', 'plains' and 'heights'. A series of four north-south oriented ice-pushed ridges is found, accompanied by fine-grained patterns of stream valleys and floodplains.

Bron / Source : de Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1: 50.000.

soleerde (komvormige) laagten. Lokaal betreft het hier scherpe terreininsnijdingen met steilranden en relatief grote hoogteverschillen (tot circa 10 meter) zoals op de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal en op de Sallandse Heuvelrug. Het betreft terreinvormen die onder (peri)glaciale omstandigheden zijn ontstaan. In het oostelijk gebiedsdeel voeren deze laagten nog steeds water; het betreft het gebied van de Twentse 'bronbeken'. Op de Sallandse Heuvelrug is de grondwaterstand zo diep dat vrijwel alle dalen droog staan. Buiten deze diepe, lokale situaties zijn de insnijdingen minder scherp. De dalen van de Regge, de Azelerbeek en de Bornse Beek vormen de laagste delen van het studiegebied.

De geohydrologische schematisatie

De inzichten in de opbouw van de ondergrond maken het mogelijk een geohydrologische schematisatie van het studiegebied af te leiden (figuur 4.13). De mariene Tertiaire kleisedimenten van de Formatie van Breda worden in het algemeen als hydrologische basis aangenomen. De ligging van het Oost-Nederlands Plateau wordt in de doorsneden weerspiegeld door het punt waar de hydrologische basis definitief naar



Figuur 4.13
De hydrologische landschapsstructuur: de geohydrologische schematisatie van het studiegebied. Voor een drietal west-oost doorsneden zijn de wervoerende pakketten, de slecht doorlatende lagen en de ligging van de hydrologische basis weergegeven. Het wervoerende pakket neemt in westelijke richting in dikte toe. In het oosten dagzoomt de hydrologische basis.

Figure 4.13
The hydrological landscape structure: the geohydrological schematization of the study area. The location of aquifers, layers with low transmissivity and the hydrological base of the study area in three west-east cross-sections. In the western part the aquifer is relatively deep, whereas in the east the hydrological base is found up to the surface of the earth.

grotere diepten wegduikt. Ten oosten daarvan is sprake van een (zeer) ondiep watervoerend pakket; plaatselijk dagzoomt immers de Breda-formatie. In grote delen van het studiegebied worden (direct) boven de Tertiaire kleiafzettingen slecht doorlatende lagen aangetroffen die verband houden met de afzetting van keileem. Alleen ter plekke van de noord-zuid verlopende glaciële geulstructuur bereikt het watervoerend pakket zodanige dikten dat van grondwaterstroming van (regionale) betekenis sprake kan zijn. Westelijk van het Oost-Nederlands Plateau duikt de hydrologische basis diep weg en is een overwegend zandig watervoerend pakket aanwezig. In gebieden waar de bekkenkleien van de Drenthe-formatie voorkomen, worden twee watervoerende pakketten onderscheiden.

Een typering van de grondwaterstromingsstelsels

Op grond van de hierboven aangeduide kenmerken van het landschap kunnen de voornaamste historische grondwaterstromingsstelsels worden getypeerd als in figuur 4.14. Deze kaart bevat de begrenzingen en de voornaamste in- en uitgangen van de grondwaterstromingsstelsels. De hoogveengebieden zijn - gezien hun specifieke hydrologische condities - als aparte eenheden weergegeven. Blokdiagrammen die zijn afgeleid van modelberekeningen van het gebied met het simulatiemodel FLOWNET (Van Elburg et al., 1989) schematiseren de grondwaterstroming (figuren 4.15 tot en met 4.23). De kaart van figuur 4.14-b geeft aan waar de door middel van de blokdiagrammen geschematiseerde hydrologische condities kunnen worden gevonden. In bijlage I wordt uitgebreid ingegaan op de wijze waarop de infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden en de stelselgrenzen zijn aangeduid en op de simulaties met FLOWNET die daaraan ten grondslag liggen. Hieronder wordt volstaan met een korte typering van de grondwaterstromingsstelsels.

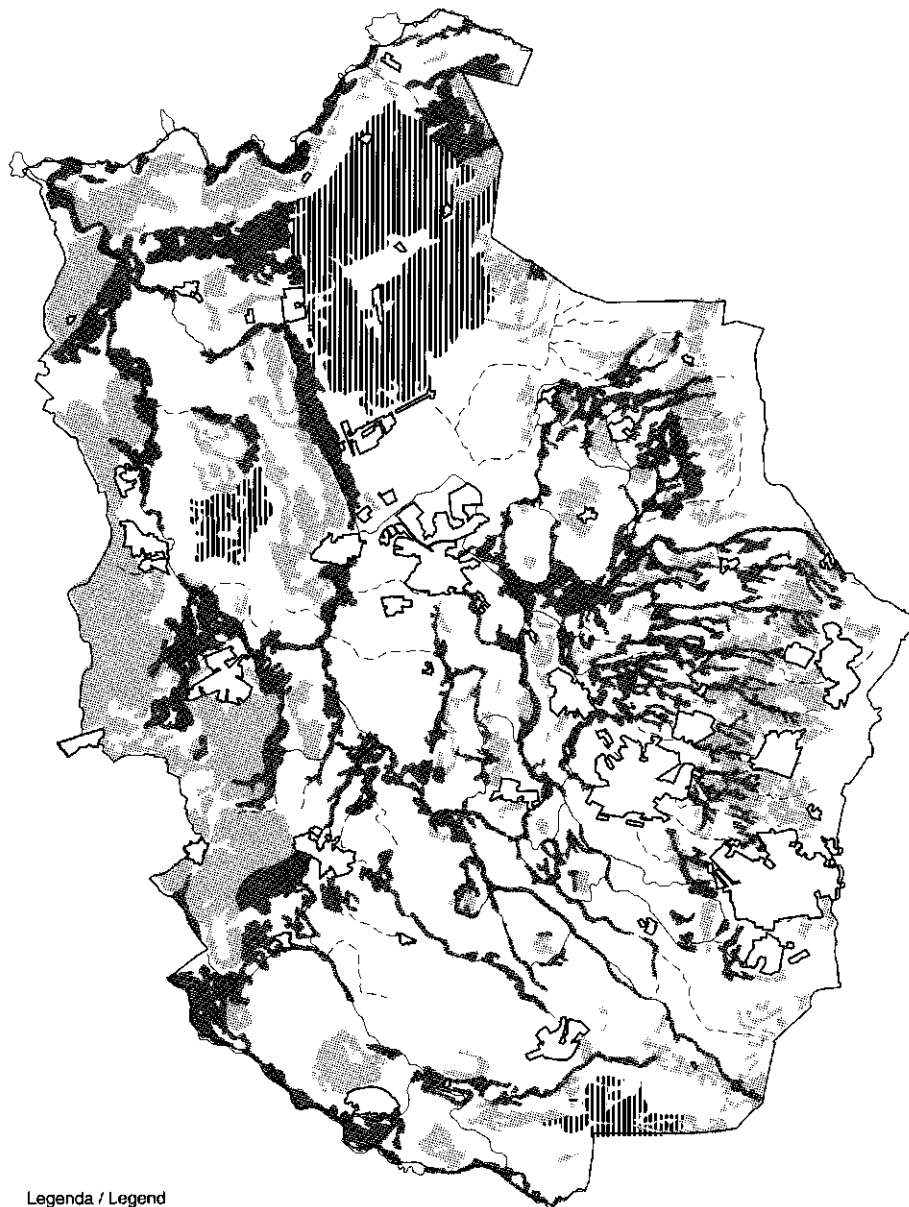
Het kaartbeeld van figuur 4.14-a maakt duidelijk dat in het gebied een aantal primaire (regionale) grondwaterstromingsstelsels kunnen worden onderscheiden. De ingangen daarvan bevinden zich op de stuwwallen langs de west- en oostgrenzen van het studiegebied en op de voornaamste (hoger gelegen) stuwwallen daartussenin. De uitgangen van deze stelsels worden gevonden langs de belangrijkste beken (waaronder Regge, Bornse Beek en Azeler Beek). Daartussen zijn (complexen van) kleinere grondwaterstromingsstelsels aanwezig, al dan niet gesuperponeerd op de regionale stelsels¹⁵. Hieronder worden de stromingsstelsels besproken (zie Bijlage I¹⁶; vergelijk: Van Brussel, 1987; Gieske, 1989; De Ruiter, 1989; Engelen et al., 1989; Gieske, 1990; Hoogendoorn, 1992).

De grondwaterstromingsstelsels op de Sallandse Heuvelrug






De zandig ontwikkelde stuwwallen en de relatief diepe ligging van de hydrologische basis bieden in de Sallandse Heuvelrug gunstige condities voor de stroming van grondwater¹⁷ (figuur 4.15). Het neerslagoverschot wordt hier dan ook voornamelijk via het grondwater tot afvoer gebracht. Vanaf de stuwwallen stroomt het water in het studiegebied in oostelijke tot noord-oostelijke richting naar het dal van de Regge en naar de laagten aan de voet van de stuwwallen. Het lagere orde reliëf van dekzandruggen en -koppen leidt tot (complexen van) gesuperponeerde stromingsstelsels (zoals dat van Zuna; Gieske, 1990). In tegenstelling tot de situatie in het oostelijk deel van het studiegebied, ontstaat hier een tamelijk grofkorrelig patroon van grondwaterstromingsstelsels (figuur 4.14-a).

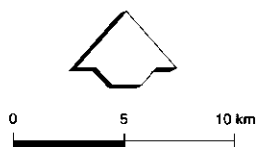
De grondwaterstromingsstelsels van de lagere stuwwallen in de zone Den Ham-Enter

Aan de oostzijde worden de stromingsstelsels van de Sallandse Heuvelrug onder meer begrensd door de stelsels die worden gevoed vanuit de stuwwallen en stuwwalrestanten van Den Ham, Daarle-Wierden, Overwater en Enter (figuur 4.16). De grenzen van deze stromingsstelsels worden, behalve in het dal van de Regge, gevonden in de aanliggende dalen en vlakten. Het stromingsstelsel van Daarle-Wierden heeft een diepe tak onder dat van Overwater, zodat dit laatste als een gesuperponeerd stelsel moet worden geïnterpreteerd (Gieske, 1990). Het hoogveengebied ten Westen van Wierden dankt z'n ontstaan waarschijnlijk aan de ondiepe ligging van kleiige formaties. In dit vlakke gebied stagneerde de afvoer en nam de veenvorming een aanvang.



Legenda / Legend

-  infiltratie gebieden / infiltration areas
-  exfiltratie gebieden / exfiltration areas
-  hoogveen / peat moor areas
-  stedelijke gebieden / urban areas
-  stelselgrenzen / borders of groundwater flow systems



Figuur 4.14

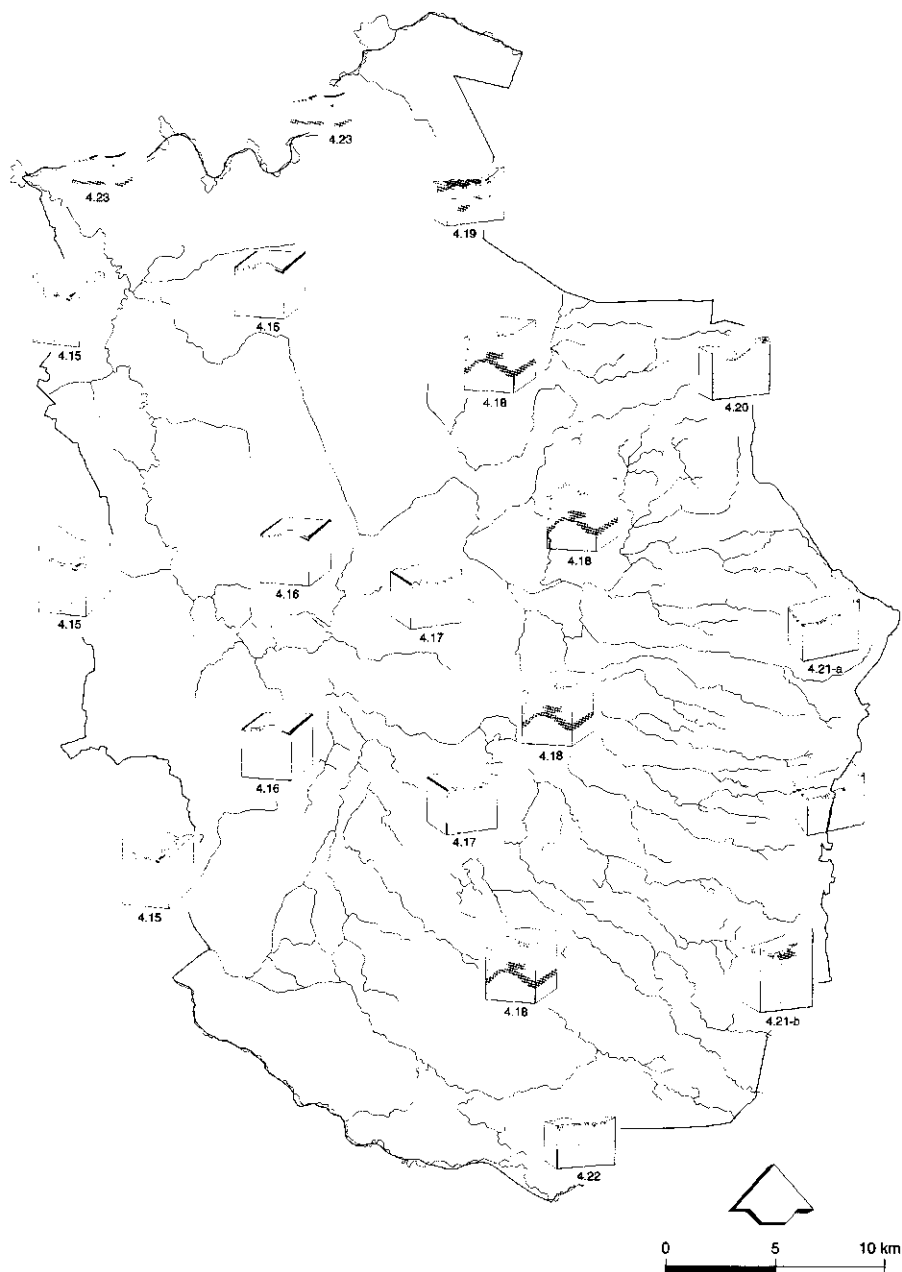
De hydrologische landschapstructuur: een typering van de grondwaterstromingsstelsels in een historische situatie.

a. De begrenzingen en de infiltratie- en exfiltratiegebieden van de voornaamste grondwaterstromingsstelsels. In verband met hun specifieke hydrologische eigenschappen zijn de hoogveengebieden apart onderscheiden.

Figure 4.14

The hydrological landscape structure: a characterization of the groundwater flow systems in a historic situation.

a. The borders and the infiltration and exfiltration zones of the major groundwater flow systems. Peat moor areas are distinguished separately, because of their specific hydrological conditions.



Figuur 4.14

De hydrologische landschapsstructuur: een typering van de grondwaterstromingsstelsels in een historische

b. Een typering van de stromingspatronen in de grondwaterstromingsstelsels en aanduiding van de ligging van de blokdiagrammen uit de figuren 4.15 tot en met 4.23.

Figure 4.14

The hydrological landscape structure: a characterization of the groundwater flow systems in a historic situation.

b. A characterization of the patterns of groundwater flow in the groundwater flow systems and the location of the block-diagrams of the figures 4.15 to 4.23.

Het complex van lokale grondwaterstromingsstelsels in het centrale deel van het gebied

Ten zuid-oosten van Rijsen vormt de Regge de westelijke begrenzing van een overstromingsvlakte waarin vele dekzandkopjes ('eenmansessen') de ingangen vormen van kleine, zeer lokale stromingsstelsels (figuur 4.17). Er bestaan aanwijzingen voor de veronderstelling dat deze kleine stromingsstelsels gesuperponeerd liggen op stroomtakken van regionale betekenis, gevoed vanuit de (dek)zandruggen ten westen van Borne en Delden.

De grondwaterstromingsstelsels van de lagere stuwwallen in de zone Geesteren-Rekken

De zone van de lage stuwwallen en smeltwaterheuvels van Geesteren tot Rekken langs de rand van het Oost-Nederlands Plateau, heeft geleid tot een serie kleine grondwaterstromingsstelsels (figuur 4.18). Door de ondiepe ligging van de hydrologische basis is de laterale verbreiding van het grondwater beperkt. De uitgangen van deze stromingsstelsels liggen dan ook als een krans rond de verheffingen, in lagere terreingedeelten en/of beekdalen. Door de overwegende oost-west helling in dit deel van het studiegebied zijn deze stromingsstelsels asymmetrisch van vorm, met een grotere invloedzone aan de westzijde.

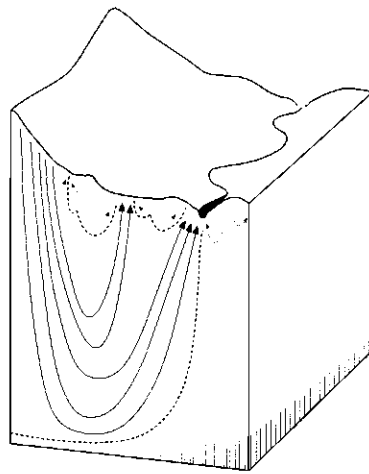
Het grondwaterstromingsstelsel van Uelsen-Ootmarsum

In het noord-oostelijk deel van het studiegebied ligt het regionale grondwaterstromingsstelsel van Uelsen-Ootmarsum. De stromingspatronen in het noordelijke (figuur 4.19) en het zuidelijke gedeelte (figuur 4.20) vertonen naast enige overeenkomsten ook duidelijke verschillen.

De voornaamste infiltratiegebieden van het stromingsstelsel bevinden zich op de flanken van deze stuwwal¹⁸. Hier is een relatief dik watervoerend pakket ontwikkeld door de zandige opvulling (fluvio-glaciaal, dekzand) van de glaciale geul. Vanuit de infiltratiegebieden heeft de grondwaterstroming in het studiegebied een westelijke richting.

In het noordelijk deel van dit gebied, waar de basis van het watervoerend pakket diep wegduikt, lijkt de grondwaterstroming tot aan de rand van de ruggen langs de Vecht en de stuwwallen van Den Ham en Daarle-Wierden te reiken. De stelsels gevoed vanuit de ruggen van Sibculo en Langeveen hebben hierdoor een gesuperponeerde ligging. Een groot deel van dit gebied werd in de historische situatie bedekt door een uitgebreid hoogveengebied. Dit is waarschijnlijk ontstaan in een vlak gelegen, door stagnatie en kwel nat gebied (Haak, 1985; Steur en Heijink, 1989). In een aantal fasen is een dik pakket zogenaamd ombrotroof - dat wil zeggen van het regenwater afhankelijk - hoogveen ontwikkeld. Het door het hoogveen in stand gehouden hoge grondwater-niveau ligt boven de stijghoogte in het onderliggende Pleistocene pakket (Schouwenaars, 1990). Vanuit het hoogveen mag dan ook grondwatervoeding worden verwacht.

Meer naar het zuiden is een andere stromingssituatie van toepassing (figuur 4.20). De dikte van het watervoerende pakket neemt aan de voet van de stuwwal snel af, waardoor het grondwater uittreedt. Dit wordt weerspiegeld in een iets noordwest-zuidoost verlopende band van kwelzones. De westelijke begrenzing van de grondwaterstroming wordt hier gevormd door de uitgangen van de stromingsstelsels van de kleinere stuwwallen langs de rand van het Oost-Nederlands Plateau (zone Geesteren-Rekken). In een zone rondom de top van de stuwwal komt de hydrologische basis tot aan het maaiveld. Dit heeft tot gevolg dat hier kleine stromingsstelsels van lokale orde zijn ontstaan, gevoed vanuit de essen bovenop de stuwwal¹⁹. De uitgangen van deze stelsels liggen in de (erosie)dalen en hebben geleid tot het ontstaan van bronnen (Oude Egbrink en Notenboom, 1982). De overwegend slechte condities voor grondwaterstroming leiden hier tot een relatief dicht netwerk van beken²⁰. Tussen deze beken bestaan - waarschijnlijk gesuperponeerd op het regionale stelsel - grondwaterstromingsstelsels van een lokale betekenis, waarin het water in noordwestelijke en zuidwestelijke richting naar de beken afstroomt. Verder stroomafwaarts, waar het watervoerend pakket dikker wordt, treedt waarschijnlijk weer infiltratie vanuit de beken naar

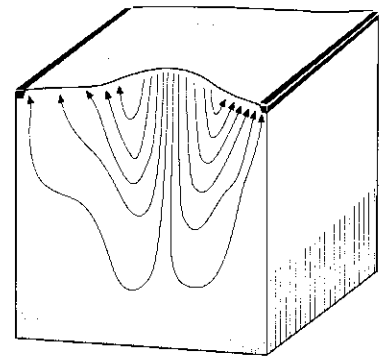


Legenda / Legend

— grens van een grondwaterstromingsstelsel / boundary of a groundwater flow system

Figuur 4.15
 Een typering van de grondwaterstromingsstelsels op de Sallandse Heuvelrug (locatie: zie figuur 4.14-b). Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuren 1.8, 1.9 en 1.10-c (meest westelijke gedeelten) van Bijlage I.

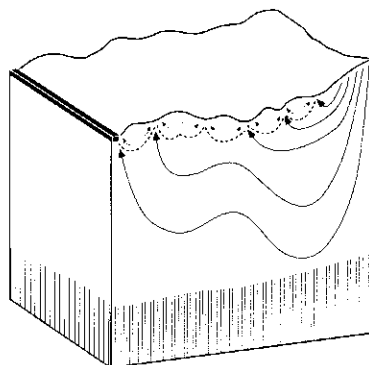
Figure 4.15
 A characterization of the groundwater flow systems of the Sallandse Heuvelrug along the western border of the study area (location: see figure 4.14-b). Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figures 1.8, 1.9 and 1.10-c (most western parts) from Appendix I.



— grondwaterstromingsstelsel / groundwater flow system
 ▨ hydrologische basis / hydrological base

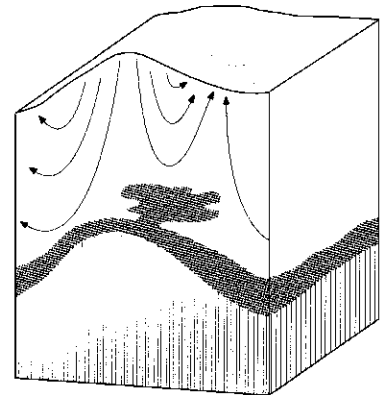
Figuur 4.16
 Een typering van de grondwaterstromingsstelsels van de lagere stuwwallen in de zone Den Ham - Enter (locatie: zie figuur 4.14-b). Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuren 1.8, 1.9 en 1.10-c (westelijke gedeelten) uit Bijlage I.

Figure 4.16
 A characterization of the groundwater flow systems of the small ice-pushed ridges in the zone from Den Ham to Enter (location: see figure 4.14-b). Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figures 1.8, 1.9 and 1.10-c (western parts) from Appendix I.



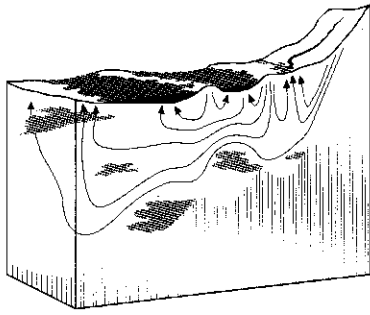
Figuur 4.17
 Een typering van het complex van lokale grondwaterstromingsstelsels in het centrale deel van het studiegebied (locatie: zie figuur 4.14-b). Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuur 1.10-b uit Bijlage I en Gieske (1989).

Figure 4.17
 A characterization of the complex of small groundwater flow systems of a local order in the centre of the study area (location: see figure 4.14-b). Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figure 1.10-b from Appendix I and Gieske (1989).



Figuur 4.18
 Een typering van de grondwaterstromingsstelsels van de lagere stuwwallen in de zone Geesteren - Rekken (locatie: zie figuur 4.14-b). Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit de figuren 1.9, 1.10-b en 1.11-b uit Bijlage I.

Figure 4.18
 A characterization of the groundwater flow systems of the small ice-pushed ridges in the zone from Geesteren to Rekken in the eastern part of the study area (location: see figure 4.14-b). Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figures 1.9, 1.10-b and 1.11-b from Appendix I.

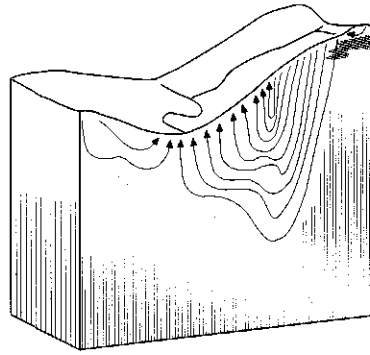


Figuur 4.19
 Een typering van het noordelijk deel van het grondwaterstromingsstelsel van Uelsen-Ootmarsum (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuur 1.8 (oostelijk deel) uit Bijlage I en Van Brussel (1987).

Figure 4.19
 A characterization of the northern part of the groundwater flow system of Uelsen-Ootmarsum in the north-eastern part of the study area (location: see figure 4.14-b).

Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figure 1.8. (eastern part) from Appendix I and Van Brussel (1987).



Figuur 4.20
 Een typering van het zuidelijk deel van het grondwaterstromingsstelsel van Uelsen-Ootmarsum (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuur 1.9 (oostelijk deel) uit Bijlage I.

Figure 4.20
 A characterization of the southern part of the groundwater flow system of Uelsen-Ootmarsum in the north-eastern part of the study area (location: see figure 4.14-b).

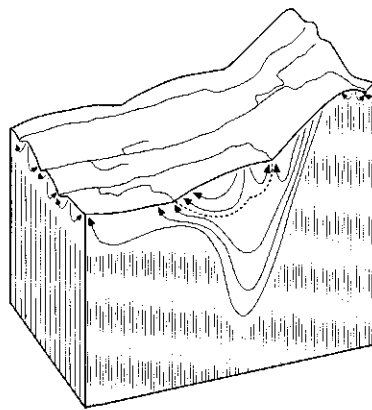
Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figure 1.9 (eastern part) from Appendix I.

het regionale stelsel op. Op andere plekken waar het watervoerend pakket relatief erg dun is worden dikwijls vochtig tot natte infiltratiegebieden aangetroffen. Het gaat hier om situaties waar, door een helling van de slecht doorlatende formaties het water weliswaar wordt afgevoerd, maar niet diep kan wegzakken (natte veldpodzolgronden).

Het grondwaterstromingsstelsel van Oldenzaal-Enschede

Dit grondwaterstromingsstelsel (figuur 4.21-a en 4.21-b) vertoont een aantal overeenkomsten met het zuidelijk deel van het stelsel van Uelsen-Ootmarsum. Ook hier speelt de (regionale) grondwaterstroming zich voornamelijk af op de flank van de stuwwal waar ten gevolge van de dekzandruggen en de zandig opgevlude glaciale geul het watervoerend pakket relatief goed ontwikkeld is. De ondiep voorkomende slecht doorlatende tertiaire formaties hebben hier evenwel een grotere verbreiding. Net als in het grondwaterstromingsstelsel van Uelsen-Ootmarsum vormt ook hier het dichte bekenstelsel een afspiegeling van de over het algemeen slechte condities voor grondwaterstroming. In dit stromingsstelsel kunnen achtereenvolgens worden onderscheiden (figuur 4.21-a):

- een zone met ondiepe stromingsstelsels van lokale orde op de top van de stuwwal. Deze voeden bronnen van waaruit beekjes ontspringen;
- de infiltratiezones van het eerste-orde stromingsstelsel op de flank van de stuwwal. Vanaf hier stroomt het grondwater in (noord)westelijke richting naar diverse exfiltratiegebieden, veelal in beekdalen. Een eerste kwelniveau wordt aangetroffen bij een knik in het reliëf. Een tweede kwelniveau ontstaat daar waar het watervoerend pakket weer ondieper wordt en de transmissiviteit te gering is om het van boven instromende grondwater te verwerken. Beide kwelzones vormen parallelle, min of meer noordoost-zuidwest verlopende gebieden waarin beken ontspringen. Vanaf het hoogste punt op de stuwwalflank wordt een regionale stromingscomponent naar de stelselgrens (de Bornse Beek) aangetroffen;
- een zone met lokale - waarschijnlijk op het regionale stelsel gesuperponeerde - stromingsstelsels in het vlakkere gedeelte ten westen van de stuwwalflank. De ingangen zijn te vinden op dekzandruggen en -koppen; de uitgangen in de beekdalen. Als zuidgrens van het stromingsstelsel van Oldenzaal-Enschede wordt het dal van de Oelerbeek aangenomen¹.

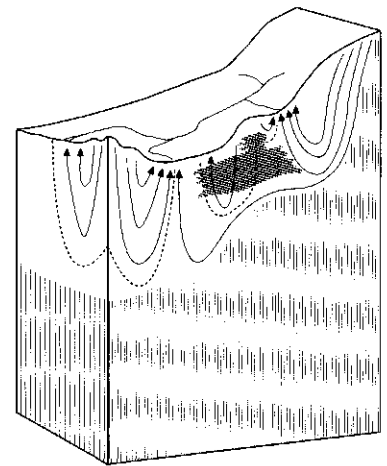


Figuur 4.21-a
Een typering van het noordelijk deel van het grondwaterstromingsstelsel van Oldenzaal-Enschede (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit figuur I.10-a uit Bijlage I.

Figure 4.21-a
A characterization of the northern part of the groundwater flow system of Oldenzaal-Enschede along the eastern border of the study area (location: see figure 4.14-b).

Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figure I.10-a from Appendix I.



Figuur 4.21-b
Een typering van het zuidelijk deel van het grondwaterstromingsstelsel van Oldenzaal-Enschede (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit de figuren I.10-b en I.11 uit Bijlage I.

Figure 4.21-b
A characterization of the southern part of the groundwater flow system of Oldenzaal-Enschede along the eastern border of the study area (location: see figure 4.14-b).

Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figures I.10-b and I.11 from Appendix I.

In het zuidelijk gedeelte van dit stromingsstelsel worden situaties aangetroffen als weergegeven in figuur 4.21-b. Door het voorkomen van keileem-afzettingen (terug te vinden als lichte terreinverheffingen) wordt de grondwaterstroming vanaf de stuwwal in westelijke richting beperkt. Afhankelijk van de omvang en verbreding van de betreffende keileemlagen, zal hierdoor een groot deel of vrijwel al het op de flank van de stuwwal infiltrerende grondwater aan de oostzijde van de keileem-opduiking uittreden.

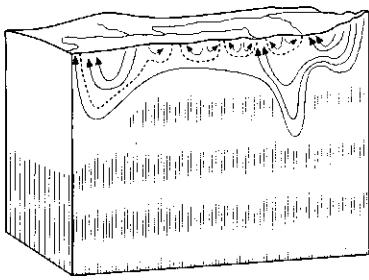
De grondwaterstromingsstelsels vanuit de ruggen en glooiingen in het zuid-oostelijk gebiedsdeel

Langs de zuidelijke gebiedsgrens liggen op ruggen en glooiingen een aantal infiltratiegebieden vanwaar het grondwater in noordwestelijke richting naar de Regge afstroomt (figuur 4.22). Een van deze ruggen betreft het stuifzandgebied bij Buurse. De westelijke begrenzing van de glaciële geulstructuur - waar een deel van het regionale grondwater uittreedt - valt ook hier samen met plekken waar beken ontspringen. Tussen de beken wordt het bestaan van stromingsstelsels van een lokale orde aangenomen. Ten zuidoosten van Haaksbergen is een uitgebreid hoogveengebied tot ontwikkeling gekomen.

Plaatselijk worden in dit deel van het studiegebied keileemopduikingen aangetroffen (o.a. bij Stepelo, Bentelo en Usselo). Hier bestaan aparte stromingsstelsels als hiervoor besproken bij de grondwaterstromingsstelsels van de lagere stuwwallen in de zone Geesteren-Rekken. In dergelijke situaties komen de regionale stroomtakken eerder tot aan het oppervlak dan in figuur 4.22 is weergegeven (vergelijk met figuur 4.18).

De grondwaterstromingsstelsels langs de Vecht

Het complex van (hoge) stuifduinen en dekzandruggen aan de noordgrens van het gebied vormt het herkomstgebied van grondwaterstroming naar het dal van de Vecht en naar de laagten aan de rand van het hoogveengebied van Vriezenveen (figuur 4.23). Tussen Mariënberg en Hardenberg zijn deze ruggen zodanig zwak ontwikkeld dat hier het water vanuit het stelsel van Uelsen-Ootmarsum tot aan de Vecht zal kunnen reiken.

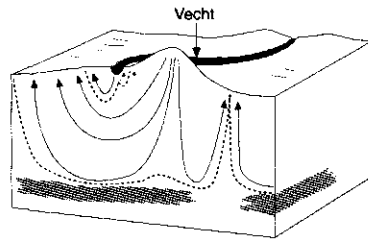


Figuur 4.22
Een typering van de grondwaterstromingsstelsels vanuit de ruggen en glooiingen in het zuid-oostelijk deel van het studiegebied (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op de simulatie met het FLOWNET-computermodel uit de figuren 1.12 en 1.13 uit Bijlage 1.

Figure 4.22
A characterization of the groundwater flow systems that originate from the ridges in the south-eastern part of the study area (location: see figure 4.14-b).

Based on the simulation with the FLOWNET-computer model from the figures 1.12 and 1.13 from Appendix 1.



Figuur 4.23
Een typering van de grondwaterstromingsstelsels langs de Vecht (locatie: zie figuur 4.14-b).

Gebaseerd op Van Brussel, 1987 en Engelen et al., 1989.

Figure 4.23
A characterization of the groundwater flow systems along the river Vecht at the northern border of the study area (location: see figure 4.14-b).

Based on Van Brussel, 1987 en Engelen et al., 1989.

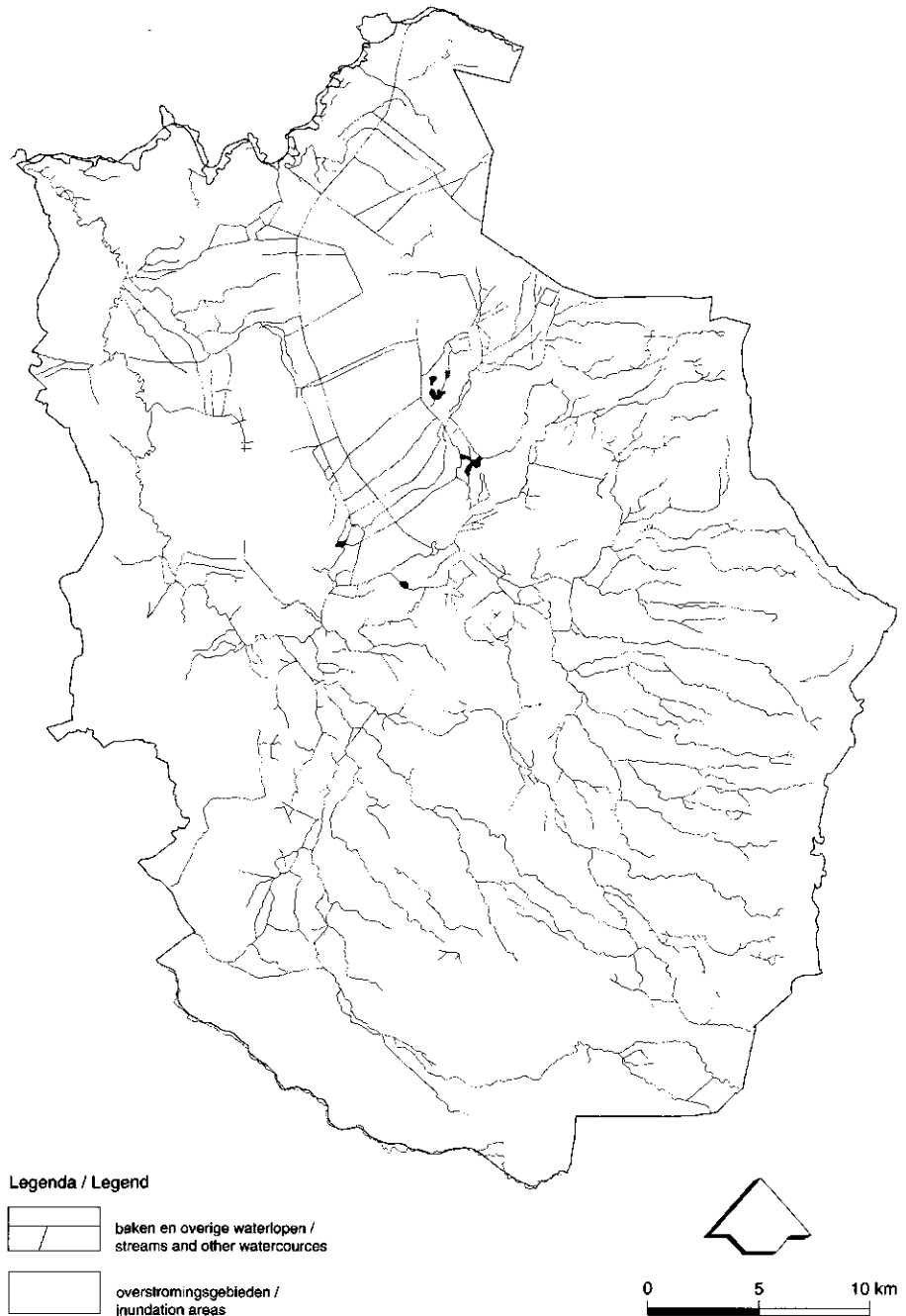
Oppervlaktewaterstromingsstelsels

Het reliëf en de opbouw van de ondergrond zijn ook voor de historische oppervlaktewaterstromingsstelsels bepalende factoren. In figuur 4.24 zijn de historische oppervlaktewaterstromingsstelsels in kaart gebracht. Deze kaart toont de voornaamste waterlopen die konden worden gevonden op de topografische kaart van rond 1850²². De stromingsrichting van de beken volgt de overwegende zuidoost-noordwest helling van het studiegebied. Het waterlopenpatroon weerspiegelt de aanzienlijk verschillende hydrologische condities tussen de stuwwallen langs de oostelijke en de westelijke gebiedsgrenzen. Op het Oost-Nederlands Plateau is, samenhangend met de relatief slechte condities voor grondwaterstroming, een dicht drainagepatroon van min of meer parallel verlopende beken aanwezig. De diverse kwelniveaus van de betrokken grondwaterstromingsstelsels markeren de locaties waar beken ontspringen. Langs de rand van het plateau, waar de terreinhelling afneemt, treffen we brede dalen en overstroomingsvlakten aan. Het betreft hier relatief vlakke, laaggelegen gebiedsdelen waar de oppervlakkige afvoer stagneerde hetgeen tot het optreden van inundaties leidde. In sommige situaties vallen deze zones samen met de uitgangen van de regionale grondwaterstromingsstelsels.

In het westelijk gebiedsdeel is het bekenpatroon minder intensief en blijft beperkt tot een aantal grotere (beneden)lopen (Regge, Exosche Aa, Linder Beek) die de grenzen vormen van regionale grondwaterstromingsstelsels.

Uit verschillende bronnen kan overigens worden opgemaakt dat ook in de historische toestand het bekenstelsel voor een deel een antropogene ontstaansgeschiedenis heeft. Naast de ingrepen ten behoeve van de ontginning²³ zijn vanaf de Middeleeuwen vooral voor de ontwikkeling van de watermolens en voor de scheepvaart beektrajecten gegraven, opgestuwd en/of aangepast (Buter, 1978; Hagens, 1979; Anonymus, 1979-b)²⁴. Van belang zijn voorts de ingrepen in de oppervlaktewaterstelsels ten behoeve van het ontwikkelen van 'bevoeiingsystemen' (Coster, 1995; vergelijk: Baaijens, 1988; De Poel, 1992). Met deze systemen trachten de boeren inundaties zodanig te beïnvloeden dat hiermee - via de afzetting van slib - de bodemvruchtbaarheid werd vergroot. Dergelijke ingrijpende veranderingen in de stromingsstelsels van het oppervlaktewater hebben belangrijke gevolgen gehad voor de ligging en het functioneren van de waterlopen in het stroomgebied van de Regge.

Een voorbeeld van dergelijke ingrepen betreft de koppeling van de Buurser Beek en de Zoddebeek in het zuid-oostelijk deel van het studiegebied, door Hagens (1979) in verband gebracht met de aanleg van een watermolen in de 14e eeuw. De Buurserbeek vormde - tot voor deze koppeling - een bovenloop van het Reggestroomgebied waarbij het gebied globaal ten oosten en noorden van Haaksbergen in noord-westelijke richt-



*Figuur 4.24
De hydrologische landschapsstructuur: de stromingsstelsels van de oppervlaktewateren in de historische situatie.*

*Figure 4.24
The hydrological landscape structure: the surface water flow systems in the historic situation.*

ing via de Oelerbeek en de Bornse Beek afwaterde. Voorts stelt Hagens (1979) dat de bovenloop van de Berkel mogelijk tot het oorspronkelijke brongebied van de Regge moet worden gerekend²⁵. Via de Bolksbeek en een waterloop door het gebied rond Gelselaar zou hier het water naar de Regge zijn getransporteerd. Vanuit dit perspectief kan de huidige monding van de Berkel in de IJssel als een latere toevoeging worden geïnterpreteerd waarmee een deel van het brongebied van de Regge van de rest van het stroomgebied is afgekoppeld. Het graven van de Schipbeek in de 16e eeuw ten behoeve van de verbinding van Deventer met het Duitse achterland (Buter, 1978), betekende een verdere onthoofding van het oorspronkelijke bovenstroomse gebied van de Regge. Het kanalenstelsel in het noordelijk deel van het studiegebied (figuur 4.24) weerspiegelt de eerste aanzet tot de ontginning van het hoogveen en de kunstmatige afwatering van dit gebied.

In weerwil van dergelijke ingrepen, heersten in de beken zodanige condities dat processen die zich van nature in stromend water manifesteren tot ontplooiing konden komen. Dit heeft geleid tot de sterk meanderende profielen van de beken uit het begin van de 19e eeuw.

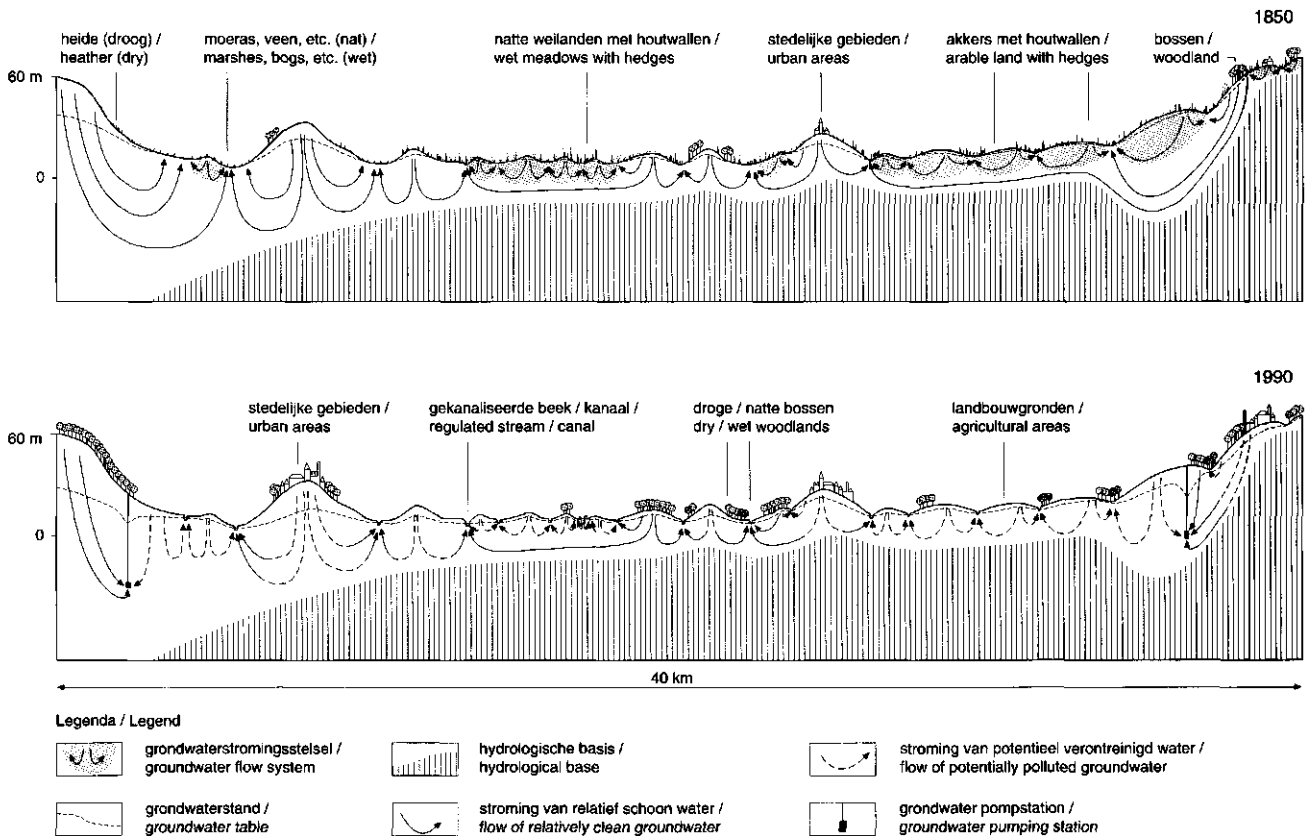
4.3.3.2 De huidige hydrologische landschapsstructuur

Vanaf de tweede helft van de 19e eeuw doen zich in het grondgebruik een aantal ingrijpende veranderingen voor met duidelijke gevolgen voor de hydrologische condities in het gebied. In twee schematische west-oost dwarsprofielen (figuur 4.25) zijn deze veranderingen getypeerd. De historische situatie weerspiegelt een toestand met een nauwe relatie tussen grondgebruik en de oorspronkelijke hydrologische omstandigheden. Het profiel van de huidige situatie vertoont structurele veranderingen in zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve eigenschappen van de hydrologische stromingsstelsels. Antropogene factoren zijn tot belangrijke stuurvariabelen voor het hydrologisch functioneren uitgegroeid (vergelijk Pedrolí, 1989; Engelen et al., 1989; Stuurman et al., 1989). Hieronder wordt nader op de gesignaleerde veranderingen ingegaan.

Kwantitatieve veranderingen

Grondwaterwinningen

Figuur 4.25 drukt uit dat het regionale grondwaterstromingspatroon in de huidige situatie wordt beïnvloed door de winning van grondwater. Deze grondwaterwinningen vangen diepe regionale grondwaterstromen af. Aan deze stroming gekoppelde kwelomstandigheden verdwijnen. De afname van de potentialen in de diepere grond-

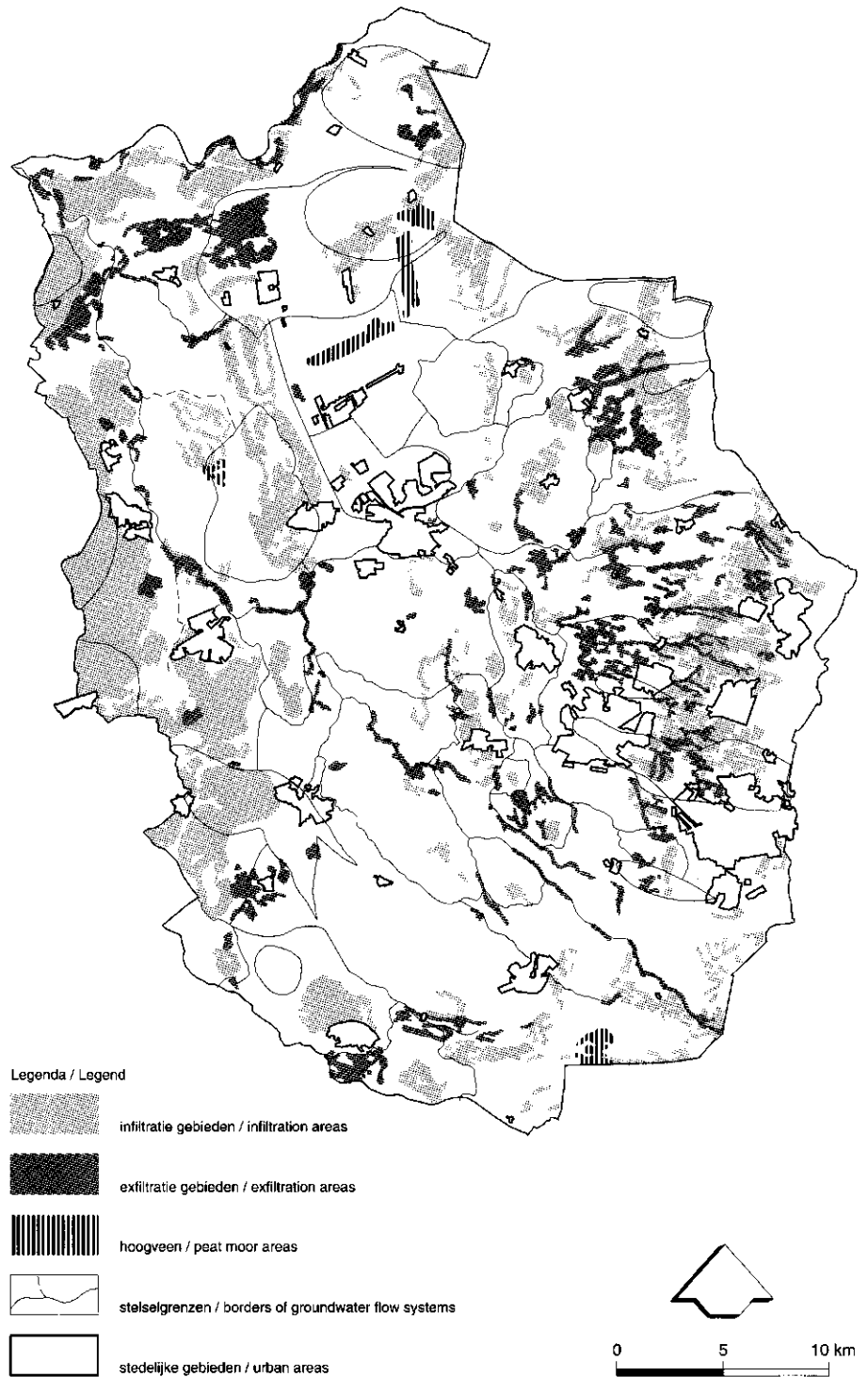


Figuur 4.25
Een typering van de hydrologische landschapsstructuur in relatie tot het grondgebruik in de historische (boven) en de huidige (onder) situatie voor een schematische west-oost dwarsdoorsnede. De patronen van de grondwaterstroming, de grondwaterstanden en de kwaliteit van het water zijn gewijzigd ten gevolge van menselijke ingrepen.

Figure 4.25
A characterization of the hydrological landscape structure and land-use in the historic (above) and present (below) situation in a schematic west-east cross-section. The groundwater flow patterns are changed, the groundwater tables are lowered and the quality of the water is decreased. These changes are caused by human interference (e.g. groundwater pumping, drainage, urban expansion).

waterstromingsstelsels ten gevolge van de winningen kunnen bovendien leiden tot verschuiving van de grenzen van stromingsstelsels. Hierdoor neemt de verbreiding van de ondiepe, lokale stelsels toe (vergelijk hoofdstuk 2; figuur 2.4).

De invloed van de grondwaterwinningen komt ook naar voren op de kaart van de voornaamste grondwaterstromingsstelsels van de huidige situatie (figuur 4.26). Rond de onttrekkingspunten zijn omvangrijke, kunstmatig aangedreven stromingsstelsels aan-



Figuur 4.26
De hydrologische landschapsstructuur: een typering van de grondwaterstromingsstelsels in de huidige situatie. Weergegeven zijn de begrenzingen en de infiltratie- en exfiltratiegebieden van de voornaamste grondwaterstromingsstelsels.

Figure 4.26
The hydrological landscape structure: a characterization of the groundwater flow systems in the present situation. The borders and the infiltration and exfiltration zones of the major groundwater flow systems are reflected.

wezig (vergelijk Gieske, 1990; Hoogendoorn, 1992). De meeste van deze kunstmatige stelsels bevinden zich in delen van het studiegebied met een relatief dik watervoerend pakket: ten westen van het Oost-Nederlands Plateau en ter hoogte van de met zandige formaties opgevlude glaciale geul parallel aan de stuwwallen van Ootmarsum-Enschede. Overigens is een opvallend verschil te constateren tussen de vorm van de kunstmatige stromingsstelsels in sterk hellende en in vlakkere gebieden. Op de (flanken van de) westelijke en oostelijke stuwwallen bevinden deze stelsels zich vrijwel uitsluitend bovenstrooms van de onttrekkingspunten. Bij de winningen van Wierden en Hoge Hexel liggen deze stelsels als cirkels rond de puttenvelden.

Naast de veranderingen in de patronen van de grondwaterstroming leiden de grondwaterwinningen ook tot grondwaterstands dalingen (vergelijk figuur 4.25-b). Deze komen onder andere tot uitdrukking in het optreden van 'droge' grondwatertrappen in genetisch natte bodems. Voorbeelden hiervan worden aangetroffen in de omgeving van het grondwaterpompstation 'Wierden' waar beekerdgronden met een grondwatertrap VI en VII aanwezig zijn (Ebbens en Visschers, 1983). Exfiltratie condities kunnen daarbij 'omslaan' in infiltratie omstandigheden.

Naast de grote, ruimtelijk geconcentreerde grondwaterwinlocaties, bestaat er een groot aantal diffuus over het landschap verspreide kleinere winningen, met soms een incidenteel karakter. Het betreft de landbouwkundige, (kleine) industriële en individuele pompputten en bronningen. Per locatie zijn hier relatief kleine hoeveelheden water betrokken en is de invloed op het regionale stromingspatroon relatief gering.

Intensivering van de drainage

Belangrijke kwantitatieve veranderingen zijn ook het gevolg van de oppervlaktewaterhuishouding ten behoeve van de landbouw, de bebouwing en de infrastructuur. In figuur 4.25 is dit aangegeven door insnijdingen in het maaiveld die de verdieping en intensivering van het drainagepatroon weerspiegelen. Deze ontwaterde gebieden kunnen worden geïnterpreteerd als complexen van dynamische, zeer lokale stromingsstelsels, waarbij het cultuurland als infiltratie gebied en de ontwateringsmiddelen als exfiltratiezones functioneren. Hierbij treedt een concentratie van stroombanen op, waarbij exfiltratiecondities beperkt worden tot de ontwateringssloten of een smalle zone daarlangs. Eventuele - nog resterende - diepe stroomtakken kunnen door het diepe drainagesetstel worden afgevangen. Zo'n situatie wordt bijvoorbeeld aangetroffen in het lage gebied ten westen van Rijssen (vergelijk hoofdstuk 6). De intensivering van het drainagepatroon wordt ook duidelijk wanneer de historische (figuur 4.24) en de huidige (figuur 4.27) waterlopenkaarten met elkaar worden vergeleken. Met name de aanleg van kanalen en van koppel- en verzamelleidingen hebben tot ingrijpende wijzigingen van de oorspronkelijke stroomgebieden geleid. De aanleg van het Twente-Rijn kanaal betekende wederom een onthoofding van een deel van het stroomgebied van de Regge. Momenteel is het Waterschap Regge en Dinkel evenwel doende om (een deel van) de op deze wijze afgesneden bovenstroomse gebieden weer op de oorspronkelijke benedenlopen aan te sluiten. Op de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal-Enschede zijn bovenstroomse gebieden via koppelleidingen afgesneden. In veel stedelijke gebieden zijn de beken omgeleid²⁶ en/of in een buizenstelsel gelegd (Offermans en Noortman, 1991).

De meeste ingrepen beogen een snelle afvoer van de neerslag-overschotten, opdat wateroverlast wordt voorkomen. Niettemin kunnen er nog steeds overstromingen optreden, met name langs de Bornse Beek (Anonymus, 1989-b). Het grote aandeel verhard oppervlak in het hellende, bovenstroomse deel van het betreffende stroomgebied leidt - ook tijdens hevige buien in het zomerhalfjaar - tot grote piekafvoeren. De waterlopen in het vlakkere benedenstroomse gebied zijn niet in staat deze afvoeren te verwerken zodat overstromingen het gevolg zijn²⁷. De laatste decennia, met name sinds het zeer droge jaar 1975, is de waterhuishoudkundige infrastructuur in rurale gebieden ook steeds meer gericht op het vermijden van droogteschade. In het zomer-halfjaar wordt hiertoe het water opgestuwd; in sommige gebieden, met name langs het Twente-Rijnkanaal, kan water worden ingelaten.

Vermindering van de grondwatervoeding

Tenslotte blijkt uit de figuren 4.25 en 4.26 een toename van het verharde oppervlak

(bebouwing, wegen, vliegveld) en van het areaal (naald)bosgebieden (vergelijk met figuur 4.10). Beide ontwikkelingen hebben een verminderde grondwatervoeding tot gevolg. Vooral in (voormalige) infiltratiegebieden in hellende terreinen zal dit leiden tot een verschuiving van grondwater- naar oppervlaktewaterafvoer. De eerder gememoreerde inundaties benedenstrooms van de stedelijke gebieden van Hengelo en Enschede zijn mede hieraan te wijten.

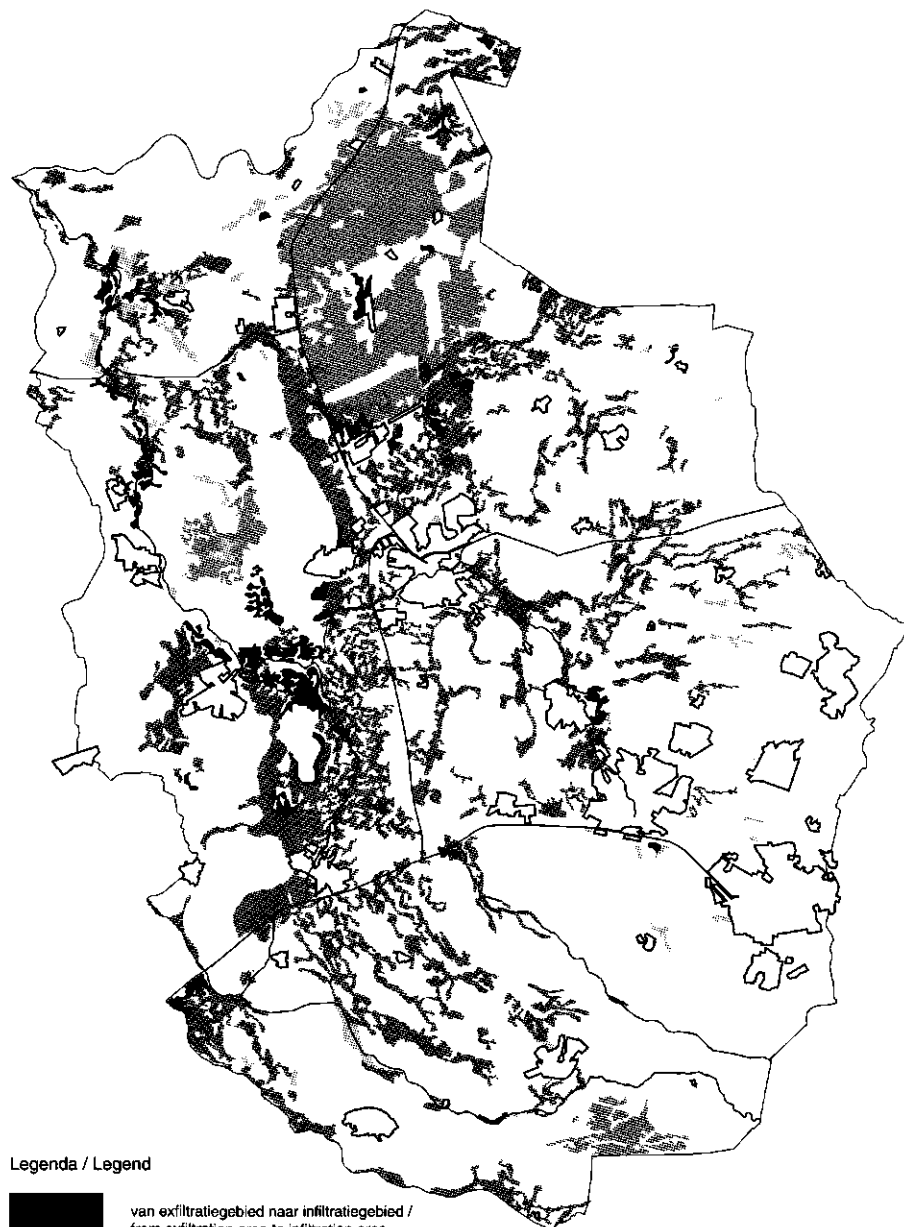
Veranderingen van de infiltratie- en exfiltratiegebieden

De kwantitatieve veranderingen komen tenslotte tot uitdrukking in verschuivingen in de ligging en de arealen van infiltratie- en exfiltratiegebieden. In figuur 4.28 zijn deze veranderingen tussen de historische en de huidige situaties getypeerd²⁸. Het kaart-






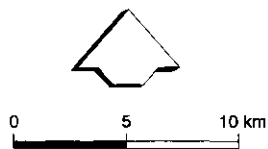
Figuur 4.27
De hydrologische landschapsstructuur: de stromingsstelsels van de oppervlaktewateren in de huidige situatie.

Figure 4.27
The hydrological landscape structure: the surface water flow systems in the present situation.



Legenda / Legend

-  van exfiltratiegebied naar infiltratiegebied /
from exfiltration area to infiltration area
-  van exfiltratiegebied naar infiltratiegebied van lokale orde /
from exfiltration area to infiltration area of local order
-  van hoogveengebied naar infiltratiegebied van lokale orde /
from peat moor area to infiltration area of local order
-  van infiltratiegebied van lokale orde naar infiltratiegebied /
from infiltration area of local order to infiltration area
-  stedelijke gebieden /
urban areas
-  waterlopen en kanalen /
streams and canals



Figuur 4.28

Veranderingen in de hydrologische landschapsstructuur: de gebieden waar het hydrologische functioneren tussen de historische en de huidige situatie is gewijzigd*. Het betreft hier de omslag van exfiltratie- en hoogveengebieden naar infiltratiegebieden.

* Hierbij zijn de veranderingen weergegeven in de aanduidingen op de kaarten met infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden voor de historische en huidige situatie van de figuren 1.4 en 1.5 uit Bijlage 1.

Figure 4.28

Changes in the hydrological landscape structure: the areas where hydrological function changed between the historic and present situation*. In most cases it concerns the change from exfiltration areas and peat moor areas to infiltration areas.

* Reflected are the changes in the location of infiltration areas, exfiltration areas and peat moor areas in historic and present situations on the maps of figures 1.4 and 1.5 from Appendix 1.

beeld maakt duidelijk dat een groot deel van het areaal van de exfiltratiegebieden is verdwenen. Het grootste aandeel in deze veranderingen betreft de omzetting van exfiltratiegebieden naar gebieden die - ten gevolge van intensivering van de drainage - fungeren als infiltratiegebieden van een lokale orde. In dit type gebieden fungeren de drainagemiddelen als exfiltratie- en de daartussen gelegen (landbouw)gronden als infiltratiegebieden. Een zelfde situatie wordt gevonden voor de (voormalige) hoogveengebieden, die voor het grootste deel zijn ontgonnen en/of ontwaterd.

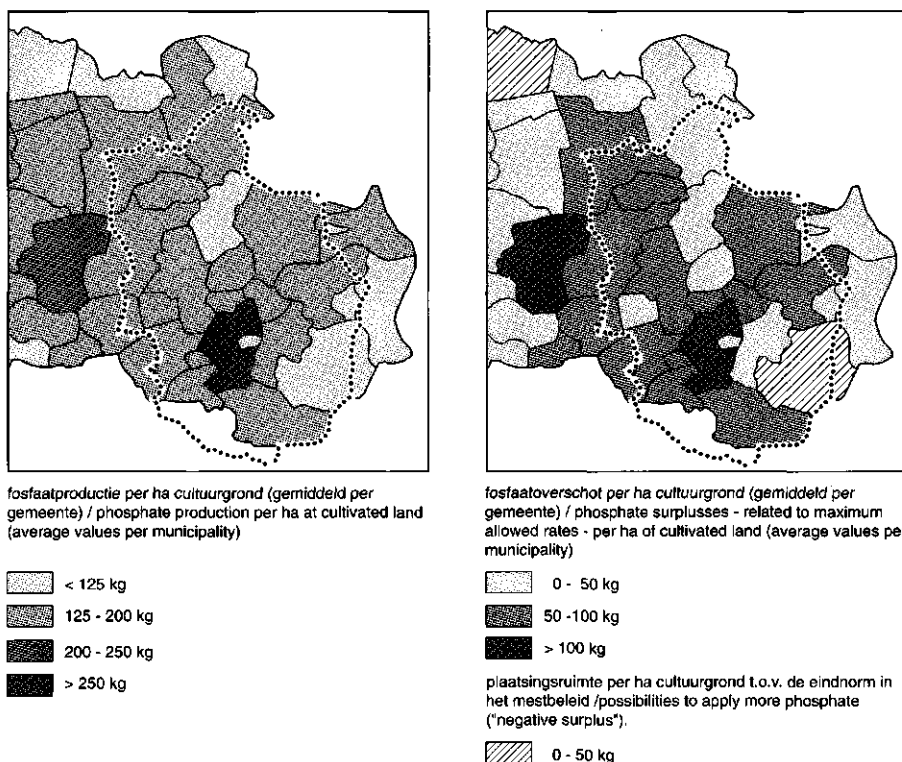
Toename oppervlakkige stromingsprocessen

Het netto-effect van de kwantitatieve veranderingen is een verschuiving naar meer oppervlakkige stroming. Een geringer deel van het neerslagoverschot komt via het grondwater tot afvoer met substantiële grondwaterstandsverlagingen als gevolg (Heijndeman en Peters, 1981; Van Amstel et al., 1989; Bremer et al., 1990; Anonymus, 1991-b). Het waterbeheer heeft een nivellerende, soms zelfs reciproke, invloed op de natuurlijke hydrologische dynamiek: drooglegging in het winter halfjaar en opstuwing of wateraanvoer in het zomerhalfjaar.

Kwalitatieve veranderingen

Bronnen van verontreiniging

Het intensieve karakter van het urbane en agrarische grondgebruik heeft een aanmerkelijke invloed op de kwaliteit - of samenstelling - van grond- en oppervlaktewater in het studiegebied. Een indicatie voor de hoge intensiteit van het agrarische grondgebruik vormen de fosfaatproductie per hectare cultuurgrond en de overschotten aan fosfaat (ten opzichte van de eindnorm) per gemeente (figuur 4.29). Een belangrijk deel van deze nutriënten en andere stoffen komt via uit- en afspoeling in het hydrologische



Figuur 4.29
Veranderingen in de hydrologische landschapsstructuur: de fosfaatproductie (links) en de fosfaat-overschotten (rechts) indiceren de intensiteit van het huidige agrarische grondgebruik en de daaruit voortvloeiende bedreiging van de waterkwaliteit (gegevens uit 1988).

Figure 4.29
Changes in the hydrological landscape structure: the phosphate production (left) and the phosphate-surplusses (right) indicate the intensity of present agricultural use and the related hazard to water quality (data from 1988).

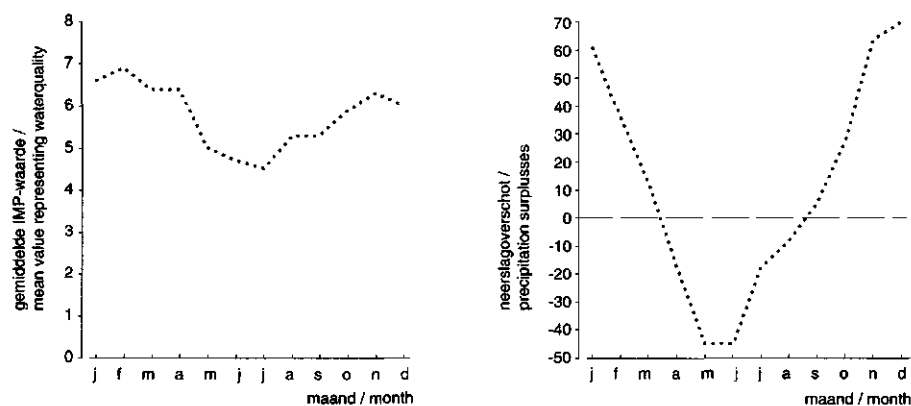
Bron / Source : Anonymus, 1991-c.

systeem terecht. Belangrijke vervuilingbronnen in de urbane gebieden zijn onder andere: lekkende rioolstelsels, de overstorten en effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties, de afspoeling van op verharde oppervlakten neergeslagen stoffen en bodemverontreinigingen.

De ondiepe, lokale stromingsstelsels

In het grondwater manifesteren de veranderingen van de waterkwaliteit zich het eerst in de ondiepe stromingsstelsels (Visser et al., 1985; Gieske, 1989; De Ruiter, 1989). De sterk door landbouwkundig of urbaan gebruik gedomineerde grondwaterstromingsstelsels bevatten een verontreinigde stromingscomponent. Het zijn vooral de gebieden met dergelijke ondiepe stromingsstelsels (zoals op bepaalde delen van het Oost-Nederlands Plateau en in het vlakke centrale gebiedsdeel) waar de (grond)waterkwaliteit door deze verontreinigingen wordt bepaald. Een aanwijzing voor dit verschijnsel vormt de afname van de waterkwaliteit in enige bronnen op de oostelijke stuwwallen tussen 1959 en 1982 (Oude Egbrink en Notenboom, 1982; Verdonschot, 1990).

De in het voorgaande geconstateerde tendens naar meer oppervlakkige stroming en de daaraan gepaard gaande uitbreiding van de invloedssfeer van de lokale stelsels, heeft dus ook aanzienlijke gevolgen voor de (grond)waterkwaliteit. Naast de geringere 'rijping' die het grondwater heeft ondergaan, is de verontreiniging hieraan debet. Vooral in natte perioden, wanneer de lokale stelsels water voeren komen de verontreinigingen in beweging. Stuurman et al. (1989) constateren voor deze perioden een aanzienlijke verslechtering van de waterkwaliteit in (mede) door lokale stromingsstelsels gevoede beken in Noord-Brabant (hoofdstuk 2; figuur 2.10)²⁹. Een vergelijking van de (gemiddelde) zogenaamde IMP30-waarderingen van enige meetpunten in Twente met het neerslag-overschot (figuur 4.30) lijkt ook in deze richting te wijzen. Overigens zijn in deze vergelijking geen waarnemingen betrokken in waterlopen die in



Figuur 4.30
Veranderingen in de hydrologische landschapsstructuur: een vergelijking van de waterkwaliteit en het neerslagoverschot voor enige meetpunten in het studiegebied. Een verbetering van de waterkwaliteit en een droge periode vallen samen (zie ook figuur 2.10).

a. De waterkwaliteit op zeven punten in het studiegebied (gegevens uit 1989 en 1990). Maandelijks gemeten kwaliteitsparameters zijn omgezet in zogenaamde 'IMP-waarden' (een lage IMP-waarde wijst op een relatief hoge waterkwaliteit). Het betreft meetpunten in waterlopen zonder lozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Bron: meetnet waterkwaliteit waterschap Regge en Dinkel.

b. Het langjarig gemiddelde (1951 - 1980) neerslagoverschot (neerslag minus Penman verdamping) van het meteorologisch station op vliegveld Twente.

Figure 4.30
Changes in the hydrological landscape structure: a comparison of surface water quality and precipitation surpluses at a few sampling sites in the study area. An amelioration of water quality and a dry period coincide (compare to figure 2.10).

a. The water quality at seven sites in the study area (data from 1989 and 1990). Monthly sampled parameters are simplified using the so-called IMP-values; a low IMP-value represents a relatively high water quality. None of the sites are located in watercourses with effluents from sewer systems.

Source: waterquality sampling system Regge en Dinkel water board.

b. The longterm mean (1951 - 1980) precipitation surplus (precipitation minus Penman transpiration) at the meteorological station of Twente airbase.

belangrijke mate door effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties worden beïnvloed.

De diepe, regionale stromingsstelsels

De zones waar het schone, diepe grondwater met verblijftijden van minstens enige honderden jaren (Hoogendoorn, 1992) - dus van ver vóór het merendeel van de verontreinigende grondgebruiksinvloeden - tot aan het oppervlak voorkomen zijn van verontreiniging gevrijwaard. Het is evenwel niet ondenkbaar dat (zoals ook in figuur 4.25-b schematisch is aangegeven) vervuilingsfronten in deze diepe stelsels aanwezig zijn. Hiervoor bestaan enige indicaties. Zo blijkt in 7 van de 17 putten van het landelijk grondwaterkwaliteitsmeetnet het water in één of meer filters niet aan de drinkwater-normen te voldoen (Engelen et al., 1990). Het hoge verontreinigingsrisico vanuit stedelijke gebieden heeft geleid tot (onderzoek naar) verplaatsing van enige drinkwaterpompstations (Anonymus, 1990-b).

De samenstelling van het oppervlaktewater weerspiegelt de hoge grondgebruiksintensiteit. Naast de flux van verontreinigingen via de ondiepe grondwaterstromingsstelsels in agrarische gebieden speelt het (urbane) afvalwater hierin een belangrijke rol. In sommige waterlopen bepaalt het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties in het zomerhalfjaar de afvoer vrijwel volledig; in andere waterlopen wordt de kwaliteit in negatieve zin beïnvloed (Anonymus, 1989-b). Een belangrijke factor daarbij vormt de ligging van een belangrijk deel van het stedelijk gebied in hellend terrein. De capaciteit van de zuiveringsinstallaties is niet altijd toereikend voor de verwerking van piekafvoeren, waardoor er overstort van ongezuiverd water op het oppervlaktewater plaats vindt. Bovendien worden bij de piekafvoeren aan bodemsedimenten gebonden verontreinigingen gemobiliseerd met eveneens een negatieve invloed op de waterkwaliteit. De zogenaamde 'effluent-watergangen' die door het stedelijk gebied stromen komen bij de kwaliteitswaardering van het oppervlaktewater dan ook vrijwel zonder uitzondering in de laagste categorieën terecht (Anonymus, 1989-b). Dit zelfde geldt voor de belangrijkste doorgaande waterlopen waar dit water wordt verzameld (Bornse Beek, Regge).

Kortom, de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater staat onder grote druk ten gevolge van de hoge intensiteit van het grondgebruik. De ten aanzien van de kwantitatieve aspecten geconstateerde tendenzen - de toename van de ondiepe(re) stromingsprocessen in de betrokken watersystemen - versterken dit effect omdat de verontreinigende invloeden zich met name in de oppervlakkige en ondiepe systemen manifesteren.

4.4 Analyse van het grondgebruik

4.4.1 Inleiding

De resultaten van de landschapsanalyse maken het mogelijk een analyse uit te voeren van de wijze waarop het grondgebruik in de hydrologische landschapsstructuur is gepositioneerd (vergelijk figuur 4.3). Er is voor gekozen hierbij drie vormen van grondgebruik in beschouwing te nemen: de natuurgebieden³¹, de drinkwaterwinning en de landbouw. De natuurgebieden en de landbouw representeren respectievelijk de twee grondgebruikscategorieën die in de problematiek van de zandgebieden een centrale rol spelen. De drinkwaterwinning neemt daarin een ambivalente positie in en is mede gekozen gezien de directe koppeling aan het functioneren van de watersystemen. De probleemomschrijving die uit deze analyses naar voren komt, kan worden opgevat als een uitwerking van de problematiek van de zandgebieden zoals beschreven in hoofdstuk 1.

4.4.2 De natuurgebieden

De ontwikkelingen als beschreven in de vorige paragrafen hebben tot ingrijpende gevolgen voor de natuurgebieden geleid. Verkleining van het totale areaal, versnippering en verandering van de hydrologische condities zijn daarbij sleutelbegrippen. Een



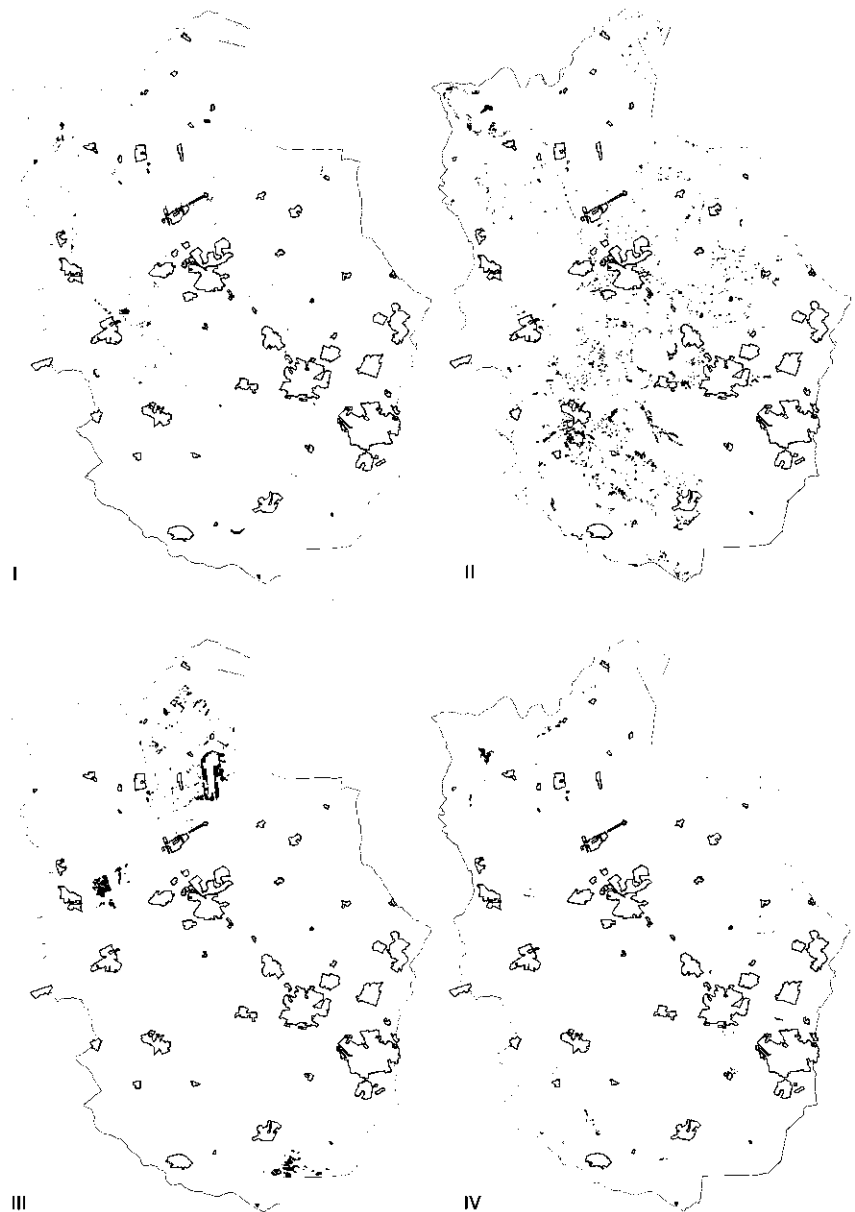
- I. infiltratiegebieden / infiltration areas
- II. infiltratiegebieden, van grondwaterstromingsstelsels van lokale orde / infiltration areas of groundwater flow systems of local order
- III. exfiltratiegebieden, van grondwaterstromingsstelsels van lokale orde / exfiltration areas of groundwater flow systems of local order
- IV. exfiltratiegebieden / exfiltration areas

Figuur 4.31
 De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een typering van de positie van de natuurgebieden in de hydrologische landschapsstructuur.

a. Een aanduiding van de hydrologische condities in de bestaande natuurgebieden. Het aandeel infiltratiegebieden is opvallend groot; van de natte gebieden resteren voornamelijk kleine, geïsoleerde restanten.

Figure 4.31
 The analysis of land-use versus the water systems: a characterization of the position of nature areas in the hydrological landscape structure.

a. A characterization of the hydrological conditions in the existing nature areas. The fraction of dry areas with infiltration conditions is very high; from the areas with wet conditions only small and isolated examples remain.



- I. van exfiltratiegebied naar infiltratiegebied / from exfiltration area to infiltration area
- II. van exfiltratiegebied naar infiltratiegebied van lokale orde / from exfiltration area to infiltration area of local order
- III. van hoogveengebied naar infiltratiegebied van lokale orde / from peat moor area to infiltration area of local order
- IV. van infiltratiegebied van lokale orde naar infiltratiegebied / from infiltration area of local order to infiltration area

Figuur 4.31

De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een typering van de positie van de natuurgebieden in de hydrologische landschapsstructuur.

b. De natuurgebieden waarin - ten opzichte van de historische situatie - de hydrologische condities zijn gewijzigd en een typering van die wijzigingen (vergelijk met figuur 4.28). Het zijn vooral de voormalig natte exfiltratie- en hoogveengebieden die zijn verdroogd.

Figure 4.31

The analysis of land-use versus the water systems: a characterization of the position of nature areas in the hydrological landscape structure.

b. The nature areas in which hydrological conditions - compared to the historic situation - changed and a characterization of these changes (compare to figure 4.28). The former wet exfiltration and peat moor areas are turned into infiltration zones.

vergelijking van de kaarten met het historische en het huidige grondgebruik (figuur 4.10) laat zien dat het totale areaal van de als natuurgebieden aangemerkte gebieden (bossen en niet in cultuur genomen gronden; zie ook de opmerkingen onder noot 31) sterk is afgenomen. Opvallend daarbij is overigens dat het areaal bos ten opzichte van de historische situatie sterk is toegenomen. Gelijktijdig met de afname treedt er een versnippering van het areaal natuurgebieden op.

Een scherper beeld van de kwaliteit van de natuurgebieden ontstaat door de positie van deze gebieden in de hydrologische landschapsstructuur te typeren. In figuur 4.31-a zijn de hydrologische condities van de huidige natuurgebieden weergegeven. Deze figuur weerspiegelt twee interessante zaken. Allereerst is het aandeel infiltratiegebieden opvallend groot. Op de stuwwallen langs de westgrens van het gebied, langs de Vecht, en meer verspreid in het centrale en oostelijke deel van het studiegebied beslaan deze gebieden grote oppervlakten. Er kan worden geconcludeerd dat veruit het grootste deel van de natuurgebieden door deze hydrologische condities wordt gekenmerkt. Anderzijds valt op dat er een zone met (nog natte) exfiltratiegebieden langs de oostelijke stuwwallen resteert. Deze gebieden vallen samen met de verschillende exfiltratie niveaus die voor de grondwaterstromingsstelsels van Uelsen-Ootmarsum en van Oldenzaal-Enschede zijn aangeduid. Het betreft overigens een verzameling geïsoleerde gebieden.

Figuur 4.31-b geeft aan waar zich in de huidige natuurgebieden een verandering van hydrologische condities tussen de huidige en historische toestanden heeft voorgedaan (vergelijk figuur 4.28). Het betreft vooral gebieden met van oorsprong natte omstandigheden: exfiltratie gebieden zijn omgezet in gebieden met infiltratie condities behorende tot stromingsstelsels van lokale orde. Hetzelfde geldt voor een deel van de (voormalige) hoogveengebieden die tot de natuurgebieden zijn gerekend. De typering van de veranderingen in figuur 4.31-b wijst op een afname van de differentiatie aan milieutypen in de huidige natuurgebieden. Het zijn met name de natte gebieden die zijn veranderd.

Een detail van het studiegebied maakt het mogelijk de hierboven geschetste ontwikkelingen nader te beschouwen. Hiertoe is in figuur 4.32 de oorspronkelijke hydrologische differentiatie in het gebied (zoals getypeerd voor de historische toestand; figuur 4.32-a) afgezet tegen de hydrologische condities in de huidige natuurgebieden (figuur 4.32-b). De kaart van figuur 4.32-a vertoont een rijk geschakeerd beeld van droge (voedselarme) tot zeer natte (voedselrijke) situaties met vele overgangen daartussenin. Onder de relatief - ten opzichte van de huidige situatie - geringe grondgebruiksintensiteit in de historische toestand konden deze milieu-gradiënten tot expressie komen in de toenmalige flora en fauna.

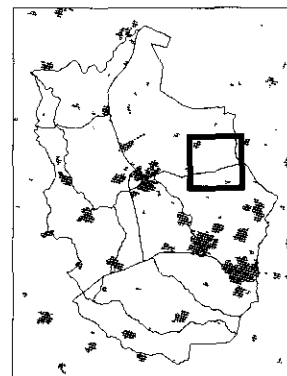
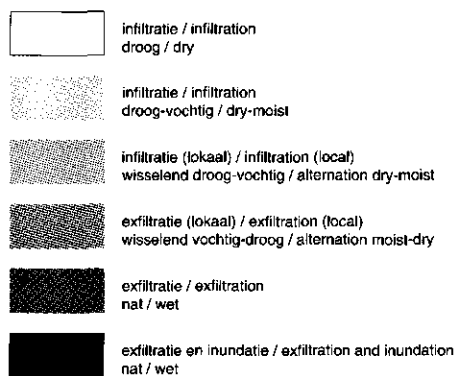
De hydrologische omstandigheden in de huidige natuurgebieden (figuur 4.32-b) geven een heel ander beeld te zien. Nog slechts op enkele plaatsen grenzen natuurgebieden met (duidelijk) verschillende hydrologische condities aan elkaar en kunnen dus gradiënt-milieus tot ontwikkeling komen. En passant komen ook de fragmentering en isolatie van de resterende natuurgebieden in beeld.

Uit de figuren 4.31 en 4.32 kan een opvallende achteruitgang van met name de natuurgebieden met natte milieuecondities worden afgeleid. In figuur 4.33 is dit nogmaals voor het gehele studiegebied in beeld gebracht door de ontwikkeling van de gebieden met exfiltratiecondities³³ van de historische naar de huidige toestand weer te geven. De kaart van figuur 4.33-a weerspiegelt de gebieden met exfiltratie condities, zoals gereconstrueerd voor de historische situatie. Deze gebieden vormen een uitgestrekt areaal, dat bovendien gekarakteriseerd is door een grote mate van verbondenheid. Bekijken we hetzelfde type gebieden voor de huidige toestand, dan vallen twee ontwikkelingen op: een sterke afname van de oppervlakte natte gebieden en tegelijkertijd een sterke versnippering van dat areaal (figuur 4.33-b). Het netwerk van intern sterk samenhangende natte gebieden is uiteengevallen in een serie geïsoleerde gebieden.

De problematiek wordt nog duidelijker geïllustreerd in figuur 4.33-c, waarin is aangegeven welke van de huidige exfiltratie gebieden zijn gelegen in bos- of natuurgebieden (vergelijk noot 31). De totale oppervlakte van de gebieden neemt nog verder af, terwijl de fragmentering nog nadrukkelijker duidelijk wordt. De ontwikkeling van



Legenda / Legend



Figuur 4.32

De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een nadere beschouwing van de ontwikkeling van natuurgebieden in een deel van het studiegebied.

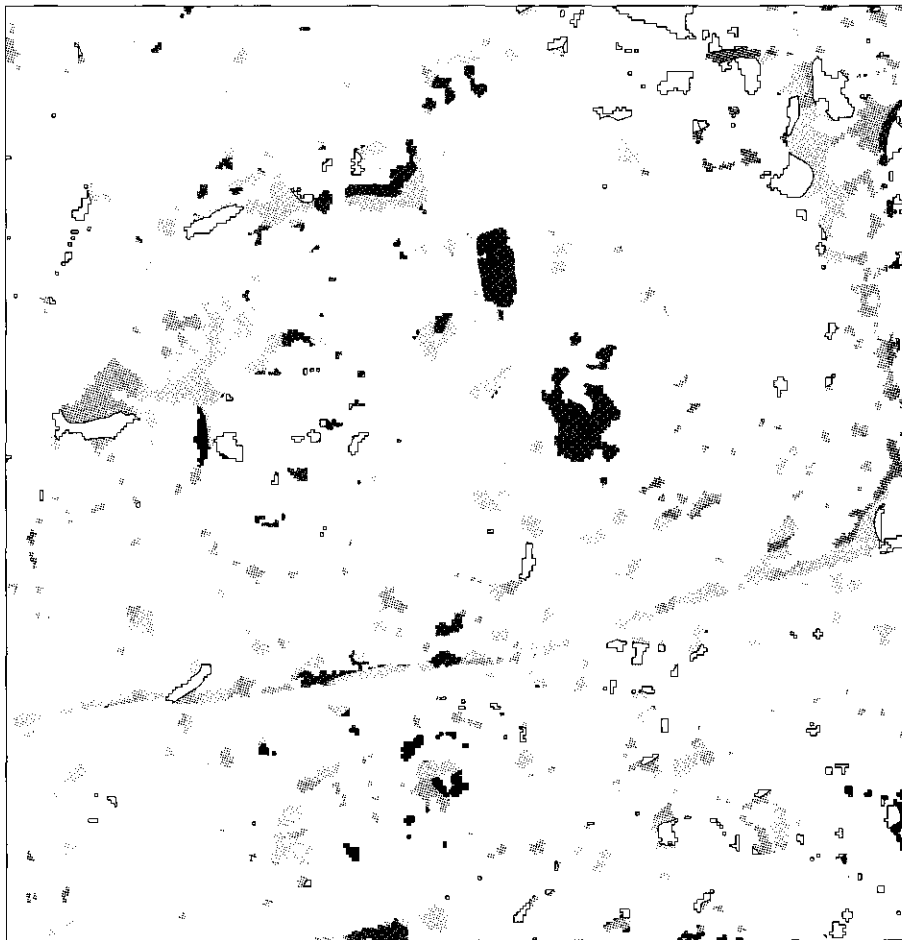
a. Een typering van de differentiatie aan milieucondities zoals die oorspronkelijk in het gebied werd aangetroffen. In de historische situatie kon deze differentiatie voor grote delen van het gebied in de flora en de fauna tot uiting komen.*

** Aan de basis van deze kaart ligt een typologie van voor het studiegebied karakteristieke fysiotoopen. In Bijlage II is deze typologie beschreven.*







Figure 4.32

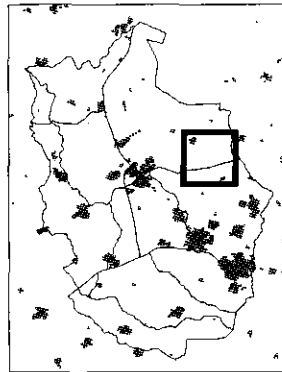
The analysis of land-use versus the water systems: a more detailed view on the development of nature areas by an analysis of a part of the study area.

a. A characterization of the differentiation of environmental conditions that could be found in the area. In the historic situation this differentiation was reflected in the patterns of flora and fauna. Both the large area of uncultivated lands and the relatively low land-use intensity underly this.



Legenda / Legend

	infiltratie / infiltration droog / dry
	infiltratie / infiltration droog-vochtig / dry-moist
	infiltratie (lokaal) / infiltration (local) wisselend droog-vochtig / alternation dry-moist
	exfiltratie (lokaal) / exfiltration (local) wisselend vochtig-droog / alternation moist-dry
	exfiltratie / exfiltration nat / wet
	exfiltratie en inundatie / exfiltration and inundation nat / wet



Figuur 4.32

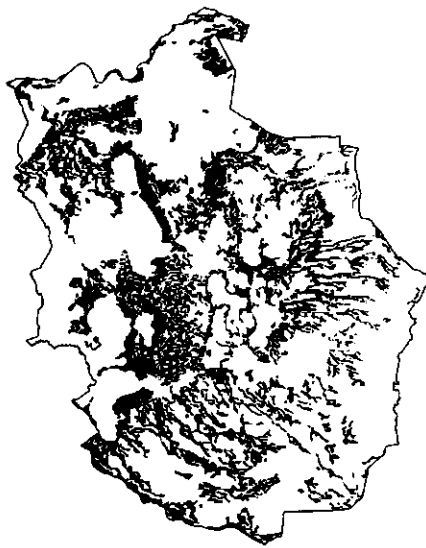
De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een nadere beschouwing van de ontwikkeling van natuurgebieden in een deel van het studiegebied.

b. Een typering van de milieuocondities in de bestaande natuurgebieden. De vergelijking met de situatie uit figuur 4.32-a- wijst op een afname van het areaal, een versnippering daarvan en het verdwijnen van gradiënten - ruimtelijk continue zones van gebieden met verschillende milieuocondities.

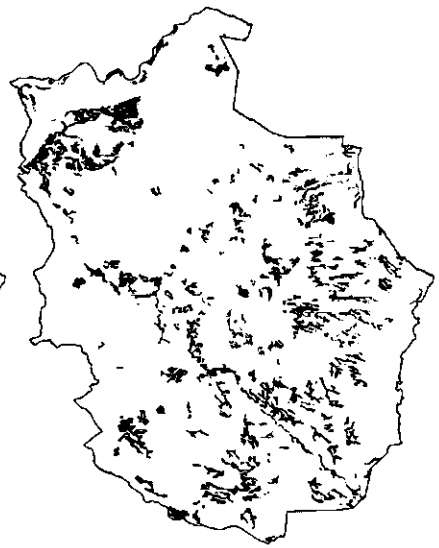
Figure 4.32

The analysis of land-use versus the water systems: a more detailed view on the development of nature areas by an analysis of a part of the study area.

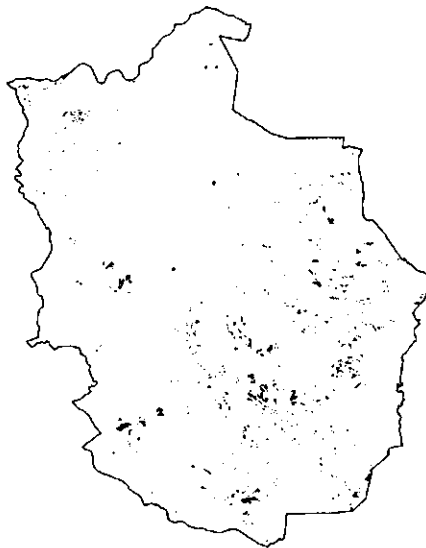
b. Een typering van de milieuocondities in de bestaande natuurgebieden. De vergelijking met de situatie uit figuur 4.32-a- wijst op een afname van het areaal, een versnippering daarvan en het verdwijnen van gradiënten - ruimtelijk continue zones van gebieden met verschillende milieuocondities.



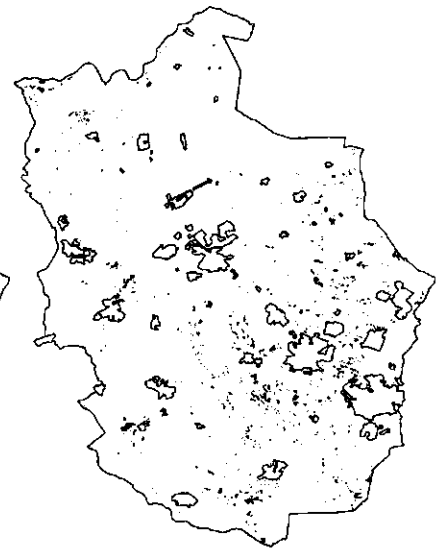
a. De reconstructie van de exfiltratiegebieden in de historische situatie vertoont een omvangrijk en onderling samenhangend geheel. / The reconstruction of exfiltration areas in the historic situation. An extensive and interconnected system of wetlands.



b. De ligging van de huidige exfiltratiegebieden. Naast een afname is er een sterke versnippering van het oorspronkelijk areaal opgetreden. / The distribution of the existing exfiltration areas reflects a decrease and at the same time a fragmentation of the original area






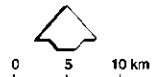
c. De bestaande exfiltratiegebieden gelegen in de bos- en ongecultiveerde gebieden. De afname van het areaal en de versnippering daarvan komen nog nadrukkelijker tot uiting. / The present exfiltration areas that are found in nature areas. The decrease of total area and its fragmentation are even worse.



d. De bos- en natuurgebieden met exfiltratiecondities liggen temidden van zeer intensief gebruikte agrarische en agrarische gebieden. Gezien de hydrologische eigenschappen van deze bos- en natuurgebieden betekent dit een bedreiging voor de waterkwaliteit en -kwantiteit. / The nature areas with exfiltration conditions are surrounded by a matrix of a very intensively used agricultural and urban areas. Because of their specific hydrological position these remaining wetlands are suffer from the inflow of pollutants and from drainage.

Legenda / Legend

-  exfiltratiegebieden / exfiltration areas
-  landbouwgebieden / agricultural areas
-  stedelijke gebieden / urban areas



Figuur 4.33

De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: de ontwikkeling van de exfiltratiegebieden van de historische naar de huidige situatie.

Figure 4.33

The analysis of land-use versus the water systems: the development of the exfiltration areas from the historic to the present situation.

- over het algemeen zeer zeldzame - planten en dieren die afhankelijk zijn van de natte milieumomstandigheden hangt juist van deze restanten af.

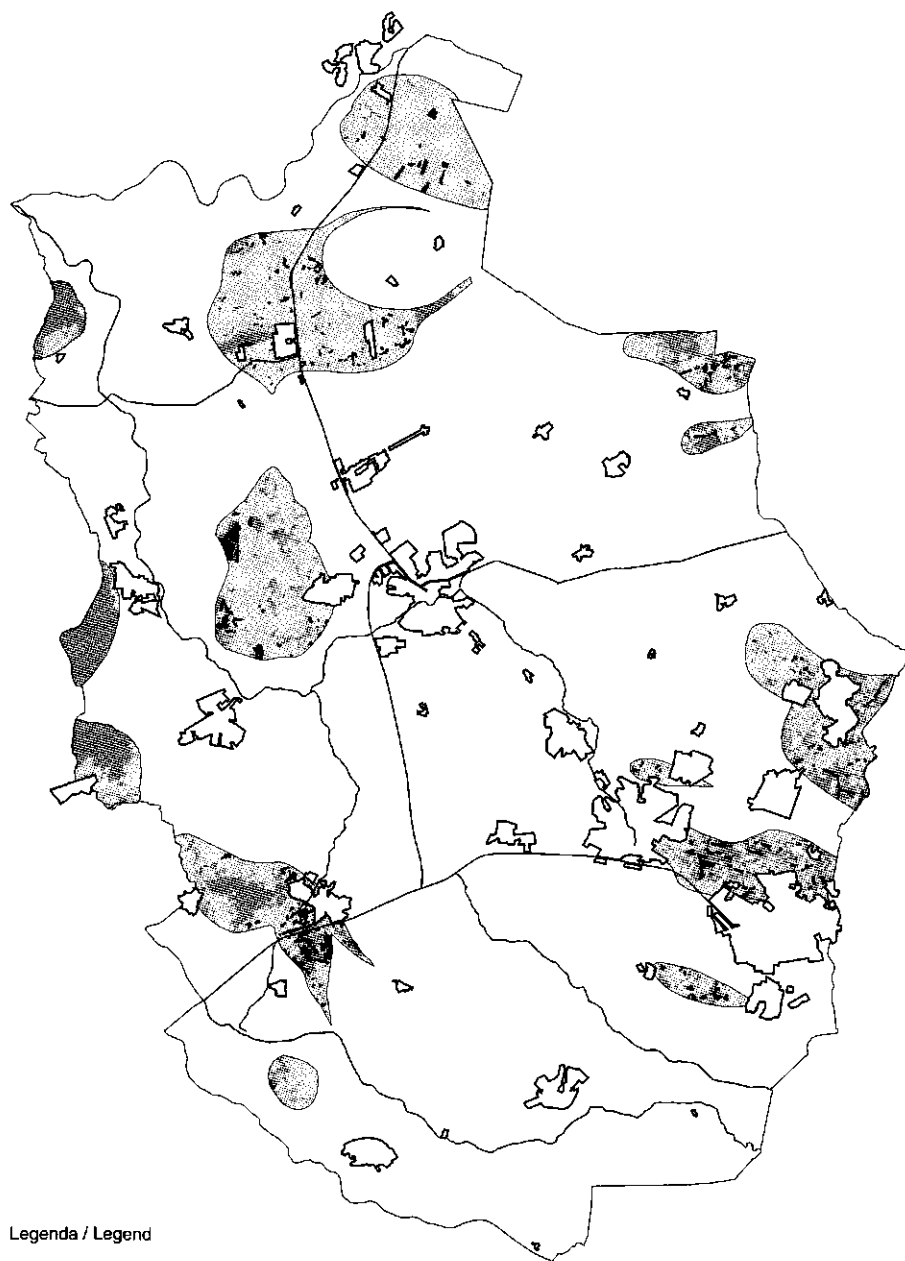
Tenslotte zijn in figuur 4.33-d de zeer intensief gebruikte urbane en agrarische gebieden aangegeven die de nog resterende exfiltratiegebieden omgeven. Enerzijds kan hieruit worden afgeleid dat het toekomstperspectief voor een groot deel van deze natte gebieden niet rooskleurig is. Dit vloeit voort uit de specifieke hydrologische positie van deze gebieden, waardoor ze gevoelig zijn voor de instroom van nutriënten en verontreinigingen of voor verdroging ten gevolge van het grondgebruik in de directe omgeving. Anderzijds zijn er ook (complexen van) nog natte natuurgebieden, die deel uitmaken of in de directe nabijheid liggen van grotere natuurterreinen. Zoals bijvoorbeeld in het centrale deel van het studiegebied. Hier liggen wellicht interessante perspectieven voor verdere ontwikkeling van dit type milieus.

De geconstateerde veranderingen in het abiotische milieu, maar ook factoren als afname van het areaal, versnippering en isolatie van leefgebieden, vormen de achtergrond van de achteruitgang, c.q. het verdwijnen van plant- en diersoorten die ook voor dit gebied is geconstateerd (zie bijvoorbeeld Bremer et al., 1990; Bremer, 1993). Een illustratie hiervan vormt de ontwikkeling van de laaglandbeken. Een combinatie van veranderingen in afvoercharacteristieken (regime, waterkwantiteit), kwaliteit van het water en de fysieke structuur of vorm van de beken heeft hier tot een afname van de milieudiversiteit geleid (Heijdeman en Peters, 1981; Verdonschot, 1990). In slechts 2% van de Twentse beken - in hellende, bovenstroomse gedeelten van het stroomgebied - wordt nog het voor laaglandbeken karakteristieke stroomkarakter met de bijbehorende rheofiele levensgemeenschappen aangetroffen (Verdonschot, 1990). De geïsoleerde ligging van deze beektrajecten - mede een gevolg van het aanbrengen van barrières - heeft met name voor migrerende organismen die in of langs de beek leven negatieve gevolgen. Andere soorten zoals ijsvogel, oeverzwaluw en grote gele kwikstaart die afhankelijk zijn van een meanderend profiel (steile oevers, zandstrandjes) worden in hun voortbestaan bedreigd.







4.4.3 De drinkwaterwinning

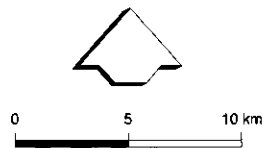
De winning van drinkwater vormt een belangrijke drijfveer voor een aantal belangrijke veranderingen in de hydrologische landschapsstructuur. Tevens betekenen de kwalitatieve hydrologische veranderingen - i.c. de afname van de kwaliteit van het grondwater - dat de mogelijkheden voor de productie van drinkwater worden beperkt. Deze karakterisering benadrukt de ambivalentie van de drinkwaterwinning in de relaties met natuur en landbouw. Zo biedt een natuurgebied in het intrekgebied een bescherming van de kwaliteit van het gewonnen water. De winning kan echter een bedreiging vormen voor verdrogingsgevoelige natuurgebieden. Het landbouwkundig grondgebruik leidt juist tot risico's voor de waterkwaliteit. De grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van de waterwinning kunnen in de zomer leiden tot droogteschade in de landbouw; in de winter kan evenwel een vermindering van de wateroverlast optreden.

De problematiek rond de drinkwaterwinning lijkt zich in de toekomst verder te gaan toespitsen. Dit kan worden onderstreept door een analyse van het grondgebruik in de intrekgebieden van de onderscheiden pompstations. In figuur 4.34 zijn hiertoe voor de intrekgebieden respectievelijk stedelijke, landbouw- en natuurgebieden aangegeven. Bij de natuurgebieden is bovendien een onderscheid gemaakt tussen (voormalig) natte en overige natuurgebieden. Het stedelijke grondgebruik is vooral van belang voor de intrekgebieden van de winningen nabij Wierden, Oldenzaal en Enschede. Problemen met de bescherming van de kwaliteit van het gewonnen water zijn hier te verwachten. Momenteel is dat met name het geval voor de winning nabij Wierden. Anderzijds zijn er intrekgebieden die vrijwel volledig worden bepaald door natuurgebieden, zoals de winningen op de Sallandse stuwwallen nabij Holten, Nijverdal en Archem. Het gebruik als natuurgebied brengt hier een bescherming van de kwaliteit van het geproduceerde water met zich mee. Bovendien gaat het hier om grotendeels - ook van oorsprong - (zeer) droge gebieden waarin verdroging geen rol speelt. Een andere situatie met betrekking tot de natuurgebieden wordt aangetroffen rond de winningen in het centrale en het oostelijke gedeelte van het studiegebied. Hier bevinden zich een aantal



Legenda / Legend

-  (voormalige) natte bos- en natuurgebieden / (formerly) wet nature areas
-  bos- en natuurgebieden / nature areas
-  landbouwgebieden / agricultural areas
-  intrakgebieden drinkwaterpompstations / catchment zones of drinking water pumping stations
-  stedelijke gebieden / urban areas
-  waterlopen en kanalen / streams and canals

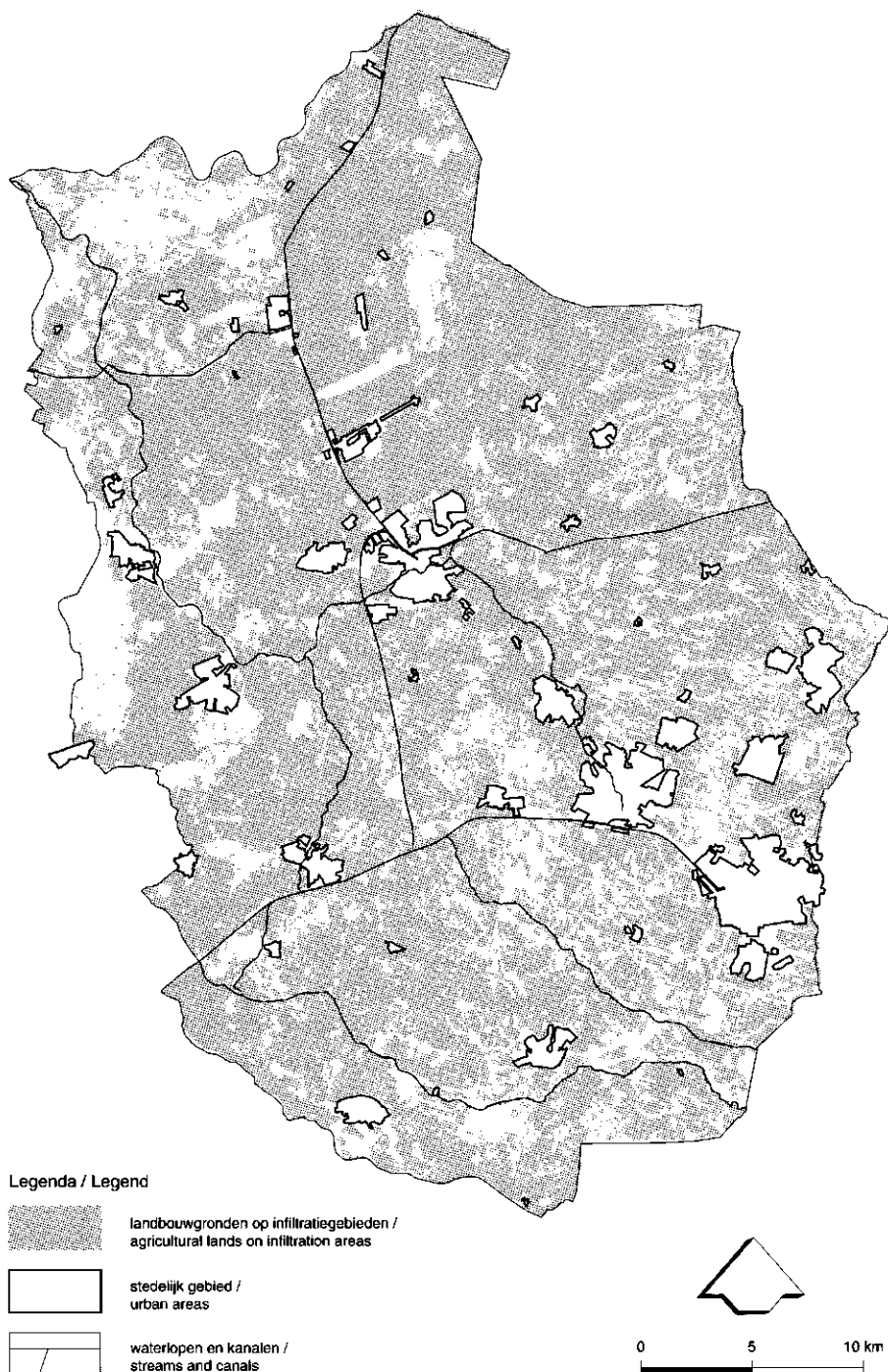


Figuur 4.34

De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: het grondgebruik in de intrakgebieden van de drinkwater pompstations. De bescherming van de waterkwaliteit is problematisch bij overheersing van het urbane en agrarische gebruik. Een overwegend gebruik als bos- of natuurgebied leidt juist tot een bescherming van die kwaliteit.

Figure 4.34

The analysis of land-use versus the water systems: the land-use in the catchment area of drinking-water pumping stations. In situations with a high degree of urban and agricultural land-use, drinking-water quality may be seriously affected. A large covering of nature areas may protect water quality.



Figuur 4.35

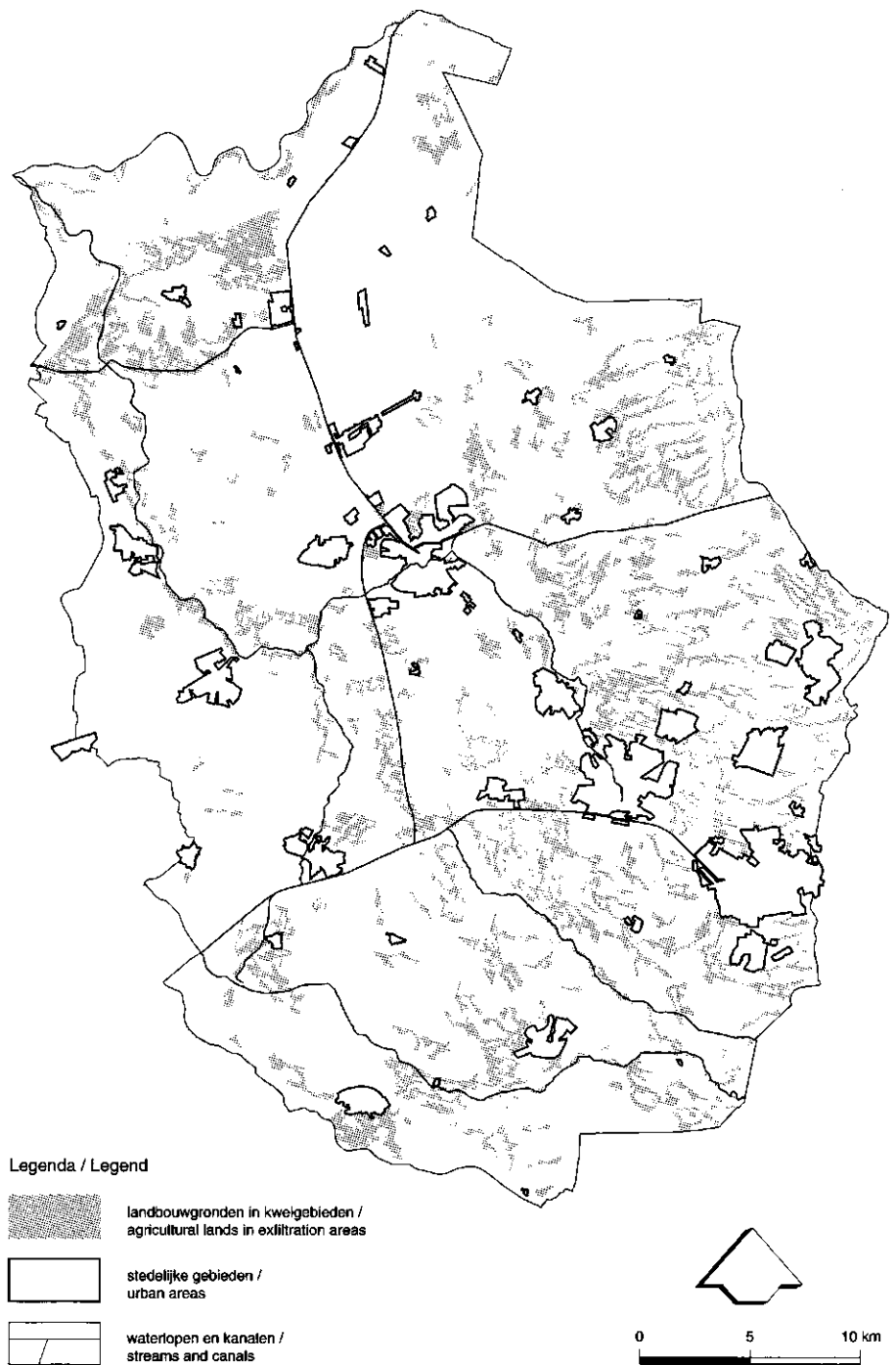
De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een aanduiding van wijze waarop de landbouwgebieden in de hydrologische landschapsstructuur zijn gepositioneerd.

a. Het areaal landbouwgebieden gelegen in infiltratiegebieden. Dit intensief gebruikte areaal beslaat het grootste deel van het studiegebied, hetgeen een bedreiging impliceert van de waterkwaliteit in de grondwaterstromingsstelsels. Enige stelsels in het westelijke, oostelijke en centrale deel van het studiegebied vormen hierop een uitzondering.

Figure 4.35

The analysis of land-use versus the water systems: an indication of the position in the hydrological landscape structure of the agricultural areas.

a. The area of agricultural lands that cover infiltration zones. This area covers the largest part of the study area. The intensity of land-use in related zones may seriously affect waterquality in the majority of groundwater flow systems. A few flow systems in the western, eastern and central parts of the study area are excepted.



Figuur 4.35

De analyse van het grondgebruik versus de watersystemen: een aanduiding van wijze waarop de landbouwgebieden in de hydrologische landschapsstructuur zijn gepositioneerd.

b. De landbouwgebieden gelegen in nog natte exfiltratiegebieden. In deze gebieden kan de behoefte aan drainage leiden tot grondwaterstandverlagingen; ook in nog natte natuurgebieden in de omgeving.

Figure 4.35

The analysis of land-use versus the water systems: an indication of the position in the hydrological landscape structure of the agricultural areas.

b. The agricultural lands that cover existing wet exfiltration areas. Farmers may want to drain these lands. As a result groundwatertables may be lowered, even in surrounding wet nature areas.

(voormalig) natte natuurgebieden die door de winning zijn of worden bedreigd. Het overgrote deel van de intrekgebieden wordt overigens gedomineerd door agrarisch grondgebruik.

De analyse wijst er op dat de kwaliteit en kwantiteit van de drinkwatervoorziening in het gebied vooralsnog problematisch zal blijven. De negatieve ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit is nog niet tot staan gebracht. De problemen rond de aanpak van de overbestedings- en gewasbeschermingsproblematiek in de landbouw wijzen daarop, getuige ook de recente discussies rondom de zogenaamde 'mineralen boekhouding'. Het realiseren van zodanige bemestingsniveaus dat aan de normen voor de drinkwaterkwaliteit kan worden voldaan, is nog niet in zicht. Bovendien kunnen de effecten van verontreinigingen, ook wanneer deze niet langer optreden, nog geruime tijd naaijen. Een belangrijk deel van het drinkwater is immers afkomstig uit diepe pakketten waar de vervuiling nog niet volledig is doorgedrongen, maar waar dat op termijn denkbaar is (Engelen et al., 1990). Tenslotte is het niet onbelangrijk dat een verdere toename van de vraag naar drinkwater wordt verwacht (Anonymus, 1984-c; Anonymus, 1990-b; Anonymus, 1995; Van Dijk en Wessels, 1995). De laatste jaren heeft deze situatie onder andere tot het zoeken naar alternatieven voor de gangbare praktijk van de drinkwaterproductie geleid. In hoofdstuk 6 wordt op dit aspect nader ingegaan.

4.4.4 De landbouw

De landbouw manifesteert zich in het huidige landschap als een bron van fundamentele veranderingsprocessen en daaraan gekoppelde (milieu)problemen. Behalve de intensiteit van het grondgebruik zijn de elkaar snel opvolgende ingrepen in het landschap in verband met de waterhuishouding, de verkaveling en de ontsluiting hiervoor verantwoordelijk.

Een deel van de milieuproblematiek ten gevolge van de landbouw kan nader worden aangeduid door de ligging van de agrarische gebieden in de hydrologische landschapsstructuur te schetsen. In figuur 4.35-a is hiervoor het landbouwareaal aangegeven dat is gelegen in gebieden die zijn te typeren als infiltratiegebieden van de grondwaterstromingsstelsels. Het overgrote deel van het studiegebied is op deze kaart als zodanig aangeduid. Vanuit deze infiltratiegebieden vindt de verspreiding plaats van overtollige meststoffen en (andere) verontreinigingen die met het intensieve agrarische gebruik samenhangen. Uit de figuur blijkt dat de voornaamste infiltratiegebieden van de grondwaterstromingsstelsels van de Sallandse Heuvelrug, alsmede grote delen van de infiltratiegebieden van de stromingsstelsels vanuit de flanken van de stuwwallen van Oldenzaal-Enschede, van de stuwwal rondom Delden en van de ruggen en glooiingen ten zuiden en oosten van Haaksbergen relatief in geringe mate door het agrarisch gebruik worden gedomineerd.

De landbouwgebieden die samenvallen met de (nog natte) exfiltratiegebieden zijn in figuur 4.35-b gekarteerd. Het betreft gebieden waar, vanuit agrarisch perspectief bezien, behoefte aan verdere ingrepen in de waterhuishouding kan worden verwacht³³. In de directe omgeving van deze nog natte landbouwgebieden bevindt zich ook een groot gedeelte van de nog natte natuurgebieden. Verdere ontwatering zou dan tot een intensivering van de verdroging van natuurgebieden kunnen leiden.

Factoren van economische, technische en wellicht ook van milieukundige aard zullen ook in de toekomst tot veranderingen in de landbouw aanleiding blijven geven. Die veranderingsdruk blijkt bijvoorbeeld uit het vooronderzoek ten behoeve van het Structuurschema Groene Ruimte (De Boer et al., 1991), waarin wordt gesteld dat in grote delen van het studiegebied de verkaveling, maar ook de waterbeheersing, vanuit landbouwkundig perspectief te wensen overlaat.

1 Enkele kleine gedeelten van het stroomgebied van de Regge liggen in Duitsland en zijn hier om pragmatische redenen buiten beschouwing gebleven.

2 Deze opmerking geldt met name voor de ruimtelijke planvorming. De planning van bijvoorbeeld de drinkwatervoorziening of het (technische) beheer van het oppervlaktewater op dergelijke schaalniveaus vergt uiteraard wel inzicht in de kwantitatieve aspecten van de watersystemen.

3 Lokaal komen afzettingen van hogere geologische ouderdom tot aan het oppervlak. De verbreiding hiervan is evenwel slecht bekend, evenals de betekenis van deze formaties in hydrologisch opzicht.

Symptomatisch hiervoor is de discussie over de 'Onderkrijt zanden' in Twente (vergelijk: Haak, 1985; Hoogendoorn, 1992).

4 *De rand van het Oost-Nederlands Plateau ligt ongeveer ter hoogte van de 20 m + NAP hoogtelijn, waar de Tertiaire formaties meer dan 25 meter diep wegduiken.*

5 *Bij de vorming van deze depressie in de Tertiaire afzettingen hebben hoogst waarschijnlijk ook tektonische activiteiten van ver voor de landijsbedekking een rol gespeeld (Van den Berg en Den Otter, 1993). Het is daarom niet geheel juist om van een 'glaciale geulstructuur' te spreken; niettemin wordt deze term in het vervolg aangehouden.*

6 *In de stroomdalen bleven door de relatief droge omstandigheden in de zomer nieuwvorming en afbraak van het veen in evenwicht, zodat er - in tegenstelling tot de hoogvenen - geen verarming van het milieu optrad (Steur en Heijink, 1989).*

7 *Het betreft met name de plaatsen waar een dun zandpakket op het keileem is afgezet, dan wel waar de keileem relatief zandig is ontwikkeld. Hijszeler (1970) toont aan dat de oude woonplaatsen op de stuwwal van Ootmarsum als een krans rondom de gronden liggen waar de natte, moeilijk bewerkbare Tertiaire formaties dagzomen.*

8 *Het studiegebied is, zo heeft archeologisch onderzoek uitgewezen, al in prehistorische tijden bewoond geweest. Op oostflank van de Holterberg zijn sporen van 'celtic fields' aangetroffen, en ook langs de Regge zijn aanwijzingen van bewoning van voor de Romeinse periode teruggevonden. Het is evenwel onduidelijk of het gebied in de periode tussen de Romeinse tijd tot aan de vroege Middeleeuwen ook bewoond is geweest (Van Broekhoven en Schoorl, 1989).*

9 *Hoewel geënt op de natuurlijke condities is in dit stelsel sprake van een aanzienlijke betekenis van de mens als landschapsvormende factor (§ 4.2; Harms en Kalkhoven, 1979; Vink, 1980). Gezien de in vergelijking tot het moderne grondgebruik relatief extensieve en geleidelijke karakter van de antropogene invloed, wordt deze invloed vaak als een versterking en verdere uitbouw van de van nature aanwezige verschillen in abiotische condities opgevat (Westhoff et al., 1973; Mörzer Bruyns en Sloet van Oldruitenborgh, 1978).*

10 *De voor akkerbouw geschikte gronden kwamen weliswaar veelvuldig voor, maar in relatief geringe omvang en sterk verspreid. Karakteristiek voor Twente is daarnaast de minder krachtig ontwikkelde markeorganisatie en de relatief sterke invloed van grootgrondbezitters. Beide factoren maakten (individuele) ontginningen door buitenstaanders gemakkelijker.*

11 *Bij de ontginning van de woeste gronden ten behoeve van de landbouw, werd soms bos aangeplant. Op deze wijze werd getracht een verbetering van de bodemstructuur te verkrijgen.*

12 *De opkomst van de textielindustrie in Twente kan in verband worden gebracht met de textielnijverheid die in eerdere eeuwen een belangrijke rol heeft gespeeld in Twente (Keuning, 1955). Als uitvloeisel van deze ontwikkeling zijn ook andere vormen van industriële en in het verloop van de twintigste eeuw - na de ondergang van de textielindustrie - dienstverlenende bedrijvigheid ontstaan.*

13 *Een van de belangrijkste ontwikkelingen is de landbouwcrisis van de jaren 80 van de 19e eeuw. De aanvoer van (goedkoop) graan uit de Verenigde Staten leidde tot een overschakeling van het gemengde bedrijf naar de veehouderij (Slicher van Bath, 1970).*

14 *In verband met de grote ontginningsactiviteit aan het eind van de 19e en het begin van de 20e eeuw kan een toename van de totale lengte aan houtwallen worden waargenomen (vergelijk: Menzinga-Waaijenberg, 1972; Visser, 1973). Vanaf de dertiger jaren neemt echter de totale lengte aan houtwallen en andere perceelsgrensbeplantingen af (zie o.a. Van Buuren et al., 1991). Vlaanderen (1989, 1990) heeft voor een aantal gebieden op de westflank van de stuwwal van Ootmarsum deze ontwikkeling in beeld gebracht. Hij komt daarbij tot de conclusie dat de lengte aan lijnvormige beplantingen in de periode tussen 1963 en 1984 gemiddeld met zo'n 1% per jaar afneemt. In het gedeelte van het bestudeerde gebied waar een ruilverkaveling is uitgevoerd, geschiedde de afname relatief schoksgewijs ten tijde van de uitvoering van de ruilverkavelingswerken. In de niet-verkavelde gedeeltes is het geleidelijker verlopen, met niettemin een vergelijkbaar eindresultaat (Vlaanderen, 1989).*

15 *Deze stelsels zijn omwille van de leesbaarheid van het kaartbeeld niet weergegeven. Hiervoor wordt verwezen naar figuur 1.4 in Bijlage I.*

16 *In deze bijlage wordt nader ingegaan op de wijze waarop de diverse stromingsstelsels zijn begrensd.*

17 *Lokaal, zoals in de omgeving van Markelo, komt op of in de stuwwallen keileem ondiep voor. Dit geeft soms aanleiding tot stagnerende afvoer en navenant natte condities (grondwatertrap V) en of tot de vorming van zogenaamde 'schijngrondwaterspiegels'.*

18 *Een deel van dit gebied bevindt zich in Duitsland en is buiten het eigenlijke studiegebied gebleven (zie § 4.1).*

19 *Deze opduiking van de hydrologische basis leidt ertoe dat de ingangen van het regionale stromingsstelsel niet samenvalt met de hoogste delen van de betreffende stuwwal (zie verder Bijlage I).*

20 *In tegenstelling tot de situatie op de Sallandse Heuvelrug zijn hier de gedurende het Weichselien uitgeschuorde dalen watervoerend.*

21 *Waarschijnlijk vormt dit beektraject een voormalige bovenloop van de Bornse Beek (Anonymus, 1979-b). De geomorfologische kaart duidt hier al op; het traject ten noordwesten van het dorp Buurse loopt dwars door de geomorfologische eenheden heen en langs een hoogtelijn. Bovendien werd ook in de FLOWNET-modellering een stelselgrens op deze plek gevonden (Bijlage I).*

22 *Het bleek overigens soms zeer moeilijk de loop van de waterlopen op de historische topografische kaarten te traceren.*

23 In het beeld van figuur 4.8 is op een aantal plekken een drainagepatroon terug te vinden dat duidt op de ontginning van natte laagten en of (voormalige) hoogveengebieden.

24 Het opstuwten van de beken vormde de achtergrond voor vele conflicten tussen molenaars enerzijds en boeren die hun akkers zagen verdrassen anderzijds (zie o.a. Rumpff, 1986). Overigens blijkt uit het verschijnen en verdwijnen van de molens de opeenvolging van natte(re) en droge(re) perioden in de geschiedenis (Hagens, 1979). De opkomst van de scheepvaart betekende voor de grotere (bevaarbare) beken evenwel de ondergang van vele watermolens.

25 Staring en Stieltjes (1884) noemen de Aa (in Duitsland), de Buurserbeek en de Molenbeek - en niet de Berkel - als de oorspronkelijke bovenloop van de Regge. Zij hebben waarschijnlijk over het hoofd gezien dat in het betreffende deel van Oost-Nederland (de Gelderse Achterhoek en het lage gebied rond Almelo) de oorspronkelijke afwatering een zuidoost-noordwest richting moet hebben gehad (Hagens, 1979). Hagens stelt dan ook dat waar in deze relatief vlakke gebieden de beken niet overwegend in deze richting zijn georiënteerd, er sprake moet zijn van menselijk ingrijpen. Zijn visie wordt onder meer gesteund door Schutten (1981). Voor een uitgebreidere behandeling van de oorspronkelijke loop van de Regge en de veranderingen daarin wordt verwezen naar Ten Hag (1995).

26 Een duidelijk voorbeeld hiervan is het Lateraalkanaal rond Almelo, waarmee het grootste deel van het oppervlaktewater uit het oostelijke deel van het Reggestroomgebied in noordelijke richting wordt afgevoerd en bij Archem in de Regge uitstroomt. Er is een plan in voorbereiding, het zogenaamde Borse Beek plan (Anonymus, 1987-c), dat hierop voortbouwt.

27 Het in de vorige noot gememoreerde Borse Beek plan beoogt de aanpak van dit probleem.

28 Het betreft hier een kaart die de veranderingen typeert als geconstateerd bij vergelijking van de historische en de huidige infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden uit Bijlage I (respectievelijk de figuren 1.4 en 1.5). In deze bijlage wordt ten behoeve van de aanduiding van infiltratie- en exfiltratiegebieden een onderscheid gemaakt tussen respectievelijk:

- gronden met (duidelijke) infiltratie condities;
- overige gronden met infiltratie condities, behorend bij stromingsstelsels van lokale orde;
- gronden met (duidelijke) exfiltratiecondities;
- overige gronden met exfiltratiecondities, behorend bij stromingsstelsels van lokale orde;
- hoogveengebieden.

Overigens heeft de kaart van figuur 4.28 betrekking op meer gebieden dan aangegeven op de kaarten 4.14-a en 4.26, die beiden alleen de voornaamste in- en exfiltratiegebieden van historische en huidige toestand representeren.

29 In het zomer-halfjaar is de kwaliteit van de (watervoerende) beken over het algemeen goed. In die periode vindt voeding plaats vanuit het - relatief schone - diepe grondwater. 's Winters, wanneer ook de - vervuilde - lokale stelsels gaan vloeien, treedt een aanzienlijke verslechtering van de waterkwaliteit op. De verontreinigende stoffen worden mobiel.

30 IMP staat voor Indicatief Meerjarenprogramma Water (Anonymus, 1985-b).

31 Het is beter om hier te spreken van 'als natuurgebieden aangemerkte gebieden'. Men kan immers van mening verschillen omtrent welke gebieden deze kwalificatie verdienen. Niettemin wordt - ter wille van de leesbaarheid - in het vervolg gesproken van 'natuurgebieden'. In onderhavig onderzoek is hieromtrent de navolgende positie ingenomen.

Als 'natuurgebieden' zijn aangemerkt de bossen en niet (meer) in cultuur zijnde gronden op de kaarten met topografische gegevens van het studiegebied. Ook voor de historische situatie zijn deze gebruikscategorieën relatief gemakkelijk en betrouwbaar van de toenmalige topografische kaarten af te leiden. Deze categorieën vertegenwoordigen in het algemeen situaties met - zowel in de historische als in de huidige toestand - het minst intensieve grondgebruik en derhalve met de grootste speelruimte voor natuurlijke processen en patronen.

Wel dient hierbij te worden bedacht dat in de historische situatie het grondgebruik - met name in de graslanden - in vergelijking tot nu zeer extensief was. Een belangrijk deel van de destijds agrarisch gebruikte gronden zou dan ook naar de huidige maatstaven gemeten tot de categorie 'natuurgebieden' kunnen worden gerekend. Ten aanzien van de 'bossen' in de huidige toestand moet worden aangetekend dat het hier voor een aanzienlijk deel naaldhoutplantages betreft, waarop het predikaat 'natuurgebied' soms moeilijk van toepassing is.

De bovenstaande interpretatie betekent dus dat het hier niet gaat om formeel beschermde gebieden, zoals natuurreservaten; noch om op basis van inventarisaties gevonden gebieden met 'hoge natuurwetenschappelijke waarde' of met vergelijkbare kwalificaties. In de historische situatie bestonden dergelijke gebiedsaanduidingen niet, zodat vergelijking niet mogelijk zou zijn.

Voor de aanduiding van de huidige natuurgebieden is overigens gebruik gemaakt van het zogenaamde LGN-bestand uit 1986 (DHV en SC-DLO). Dit is een grondgebruikskaart die tot stand is gekomen op grond van satellietbeelden, met een resolutie van 50 bij 50 meter. Tot de 'natuurgebieden' zijn gerekend die categorieën van deze kaart die geen landbouwkundig of urbaan gebruik vertegenwoordigen (vergelijk figuur 4.31).

32 Aan de basis van de kaarten van figuur 4.32 staat een typologie van voor het studiegebied karakteristieke fysiotopten. In Bijlage II is deze typologie beschreven. Door Schroevers et al (1982) wordt een fysiotoop omschreven als een 'ruimtelijk begrensde abiotische eenheid met een karakteristieke homogeniteit'.

33 Gezien de datering van de gebruikte gegevens, een deel van de bodemkaarten die aan de basis staan van de indeling in infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden (Bijlage I) is enige decennia oud, is het aanmerkelijk dat een deel van dergelijke maatregelen reeds is uitgevoerd.

5 PLANVORMING OP STRATEGISCH NIVEAU: EEN 'RAAMWERK' OP BASIS VAN DE HYDROLOGISCHE LANDSCHAPSSTRUCTUUR

5.1 Inleiding

De voorbeeldstudie in dit hoofdstuk richt zich op de planvorming op een regionaal schaalniveau, waarbij de synthesefase van het ontwerpproces centraal staat. De planvorming heeft een tweeledige doelstelling. Het eerste, instrumentele, doel is gericht op de vraag hoe de in de § 3.3 beschreven planningsmaatregelen in een concrete ontwerp-opgave toegepast kunnen worden. Vanuit dit perspectief bezien staat niet het resultaat - een plan - centraal, maar veeleer de wijze waarop het tot stand komt en hoe daarbij hydrologische inzichten worden gebruikt. Hiervoor wordt het ontwerpproces stap voor stap besproken. Het tweede, meer substantiële, doel van de planvorming is het schetsen van een oplossingsrichting voor de problematiek in het studiegebied. Alvorens tot de bespreking van de planvorming - en de daarbinnen onderscheiden fasen (§ 5.3) - over te gaan, wordt in § 5.2 nader ingegaan op de uitgangspunten die aan de planvorming ten grondslag liggen

5.2 Uitgangspunten voor de planvorming

5.2.1 Inleiding

De planvorming op het strategische niveau is gericht op het ontwerp van een 'raamwerk' - als beoogd in het casco-concept - voor het stroomgebied van de Regge. Het voornaamste punt van aandacht daarbij is de ruimtelijke situering van het raamwerk. Gezien de betekenis van de samenhangen in het landschap ten gevolge van hydrologische processen, is het vinden van een in hydrologisch opzicht duurzame ruimtelijke positie van het raamwerk van groot belang. Hieronder wordt verstaan: een zodanige situering van het raamwerk in de hydrologische landschapsstructuur, dat:

- het raamwerk als een min of meer zelfstandige, hydrologische eenheid kan functioneren opdat negatieve beïnvloeding via de stroming van water vanuit de omgeving wordt voorkomen of wordt geminimaliseerd;
- de randvoorwaarden ontstaan voor de ontwikkeling en instandhouding van de voor de betreffende gebieden karakteristieke milieudiversiteit en landschappelijke patronen.

Het ontwerp van een 'raamwerk' dat aan bovengenoemde specificaties voldoet vergt een ingrijpende herordening van het grondgebruik in het studiegebied. In het navolgende ontwerpproces (§ 5.3) zijn hiervoor drie zogenaamde 'ontwerp-stappen' onderscheiden. De uitgangspunten voor deze ontwerp-stappen zijn in § 5.2.2 beschreven. Deze dienen om te kunnen beslissen welke van de planningsmaatregelen uit § 3.3 in welke situatie worden benut.

5.2.2 Natte gebieden

De landschapsanalyse uit hoofdstuk 4 maakt duidelijk dat de invloed van het water

als één van de bepalende factoren achter het ontstaan van milieudifferentiatie in het landschap sterk is gereduceerd. Dit uit zich het meest direct in de afname en bedreiging van de natte gebieden. Deze constatering leidt ertoe dat het scheppen van gunstige randvoorwaarden voor herstel en ontwikkeling van de aan deze gebieden verbonden fysiotopen in de planvorming in dit hoofdstuk centraal is gesteld.

De natte, met exfiltratiecondities samenhangende fysiotopen bevinden zich aan de meest 'benedenstroomse' zijde van een fysiochore¹. Deze positie betekent dat de genoemde fysiotootypen in grote mate bepaald worden door hetgeen zich bovenstrooms afspeelt. Anderzijds hebben ze, gezien hun ligging aan de drainagebasis van de betrokken stromingsstelsels, een belangrijke conditionerende werking op gebieden 'hoger' in de fysiochore². De natte, exfiltratiemilieu's nemen met andere woorden een strategische positie in het landschap in. Het scheppen van gunstige condities voor de ontwikkeling van deze milieus betekent doorgaans dat ook goede perspectieven kunnen worden geschapen voor fysiotopen met een meer 'bovenstroomse' positie. De strategische positie van de natte fysiotopen betekent dat het tot stand brengen van het beoogde raamwerk - in eerste aanleg - kan worden gezien als het ontwerp van een stelsel van natte (natuur)gebieden.

De (restanten van de) hoogveengebieden nemen gezien hun specifieke hydrologische eigenschappen als 'zeer natte infiltratiegebieden' een specifieke positie in. Niettemin vertegenwoordigen deze milieus een belangrijk deel van de in het studiegebied in potentie aan te treffen milieudifferentiatie. Dit is een reden dat hieraan in de planvorming ook speciale aandacht wordt geschonken.

5.2.3 Multifunctioneel landschap

In het stroomgebied van de Regge wordt, zoals overal in de zandgebieden van Nederland, vanuit vele grondgebruiksvormen een beroep gedaan op de beschikbare ruimte. Er kan dan ook worden gesproken van een 'multifunctioneel' landschap. Het ligt in de bedoeling dit multifunctionele karakter van het landschap te behouden. Wel wordt er van uitgegaan dat er - naar gelang de aard van het grondgebruik - op verschillende wijze kan worden ingegrepen in de betreffende arealen en in de ligging daarvan. Het bestaande ruimtebeslag van stedelijke gebieden is in de planvorming als een onveranderlijk gegeven beschouwd. Voor de (in)directe beïnvloeding van hydrologische processen vanuit het urbane gebied geldt dit dan ook. Althans, voorzover geen (inrichtings)maatregelen kunnen worden genomen voor het voorkomen van deze beïnvloeding. Het uitgangspunt hierbij is dat de in bebouwde gebieden gegenereerde problemen ook zoveel mogelijk dáár dienen te worden aangepakt.

Een tweede relevante vorm van grondgebruik is de drinkwaterproductie. Het oppompen van grondwater in infiltratiezones - de gangbare praktijk van de drinkwatervoorziening in het grootste deel van de Nederlandse zandgebieden - heeft grote effecten op het hydrologisch functioneren van de betreffende gebieden. Een uitgangspunt bij de planvorming is dat de drinkwaterproductie moet blijven bestaan, maar dat alternatieve winlokaties of wintechnieken gevonden kunnen worden met een kleinere invloed op de hydrologische stromingsstelsels. Dit impliceert dat er een herstel optreedt van door de bestaande grondwaterwinningen geïnduceerde veranderingen in het hydrologisch functioneren. Het zoeken naar mogelijkheden voor de combinatie van drinkwaterproductie en de ontwikkeling van natte natuurgebieden speelt daarin een belangrijke rol.

De landbouw wordt opgevat als een in potentie voor de ontwikkeling van natuurgebieden in het raamwerk bedreigende vorm van grondgebruik. Het scheppen van gunstige randvoorwaarden voor de ontwikkeling van de natte fysiotopen leidt dan ook tot het zoeken van een optimale hydrologische isolatie ten opzichte van het landbouwareaal. Daarbij zal worden uitgegaan van (ruime) mogelijkheden om bestaande landbouwgronden om te zetten in natuurgebied. Het ligt daarbij voor de hand dat de resterende nog natte gebieden gezien hun matige landbouwkundige geschiktheid hiervoor het eerst in aanmerking komen. Aan de andere kant betekent dit uitgangspunt niet dat er voor de landbouw geen ruimte meer zou bestaan. Er wordt alleen uitgegaan van een (aanzienlijk) geringere oppervlakte.

5.2.4 Landschappelijke patronen

De landschapsanalyse toont aan dat in het huidige landschap de fundamentele abiotische structuur steeds minder in het ruimtelijk beeld tot expressie komt. Dit geldt met name voor de in het studiegebied zo kenmerkende patronen van beekdalen en overstromingsvlakten. Als reactie hierop zal de planvorming mede worden gericht op het herstellen en weer herkenbaar maken van deze patronen. Hiertoe zal - waar mogelijk - worden getracht het raamwerk op de genoemde patronen te enten, hetgeen gezien de hydrologische betekenis van de betreffende (oorspronkelijk grotendeels natte) gebieden nauw aansluit bij de overige doelen voor de planvorming in dit hoofdstuk.

5.3 De planvorming

5.3.1 De eerste stap

5.3.1.1 Inleiding

In § 5.2 is betoogd dat natte gebieden - gezien hun specifieke ruimtelijke positie en daarmee samenhangende hydrologische functie - voor de planvorming in onderhavig hoofdstuk een bijzondere, strategische betekenis hebben. De eerste stap uit de planvorming is er dan ook op gericht een voor de betreffende fysiotopen essentiële conditie te realiseren: het herstel en de duurzame bescherming van de regionale grondwaterstromingsstelsels. Deze stelsels zijn van een fundamentele betekenis voor het ecologisch functioneren van het landschap³ en daarmee voor het scheppen van gunstige randvoorwaarden voor het ontwikkelen en in stand houden van de natte tot vochtige fysiotopen, c.q. van de voor het gebied karakteristieke milieudiversiteit.

5.3.1.2 De in- en uitgangen van de primaire stromingsstelsels

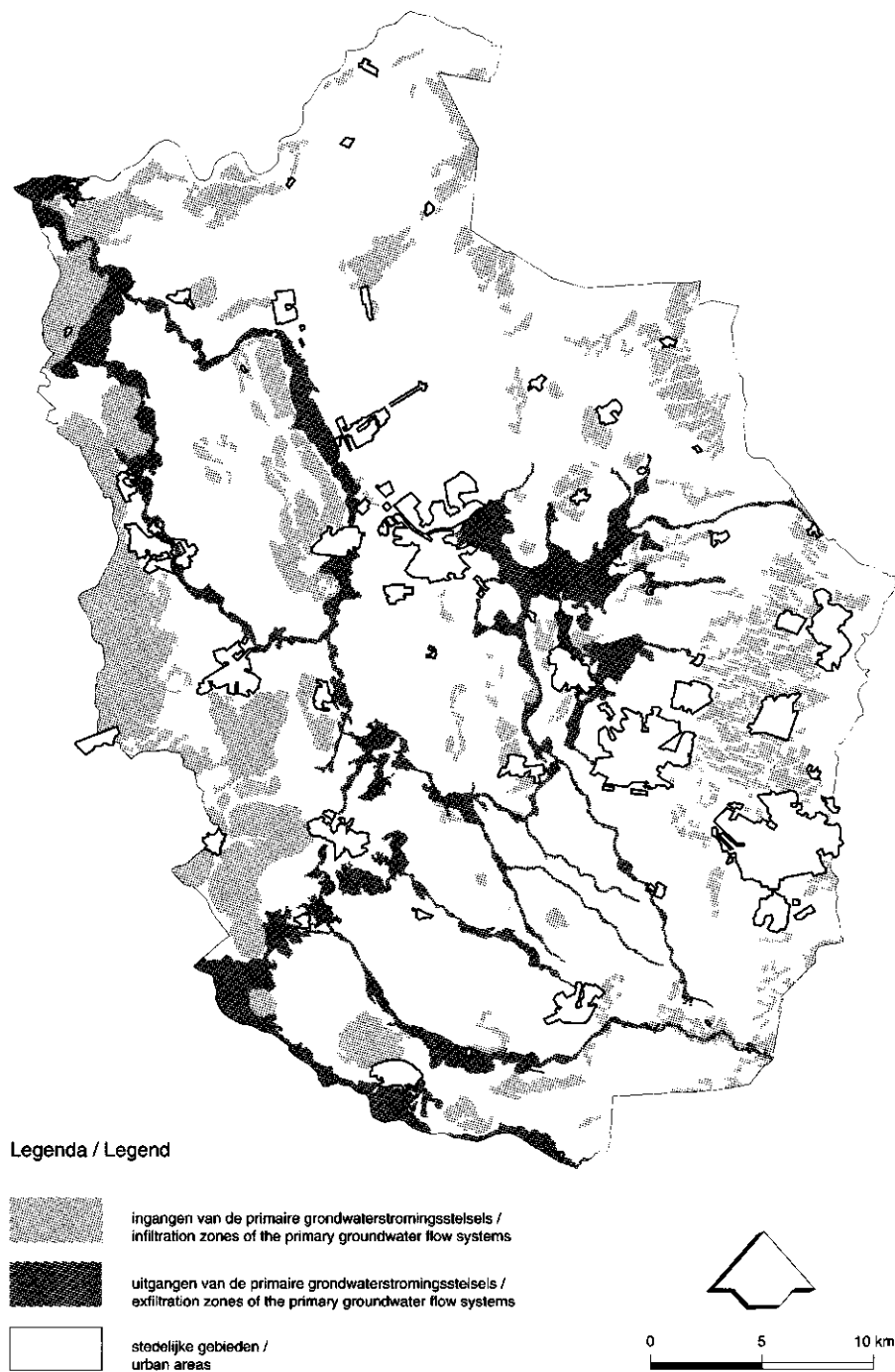
Het herstel en de duurzame bescherming van de regionale grondwaterstromingsstelsels vergt ingrijpende veranderingen in het gebied. Als belangrijkste maatregel wordt voorgesteld de in- en uitgangen van de primaire (of regionale) grondwaterstromingsstelsels op te nemen in het raamwerk en deze te bestemmen als natuurgebied (figuur 5.1). Deze bestemming biedt de meest gunstige perspectieven voor een herstel en duurzame ontwikkeling van de oorspronkelijke kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen van de betrokken stromingsstelsels.

Het planvoorstel impliceert een herordening van het grondgebruik gebaseerd op de relatie tussen in- en exfiltratiegebieden (zie figuur 3.8-e), toegepast op de primaire stromingsstelsels. Grote delen van momenteel agrarisch gebruikte gronden zouden op deze wijze in natuurgebieden veranderen. Het betreft overigens veelal zeer droge (de hoogst gelegen infiltratiezones) of van oorsprong zeer natte (de laagst gelegen exfiltratiezones) gronden met een vanuit landbouwkundig perspectief beschouwd relatief geringe geschiktheid. Voorts betekent het planvoorstel dat voor vrijwel alle bestaande pompputten waar grondwater aan de regionale stelsels wordt onttrokken alternatieven gezocht dienen te worden. De stedelijke gebieden zijn uitgezonderd van de voorgestelde herordening van het grondgebruik. De huidige beïnvloeding van de regionale stelsels vanuit het bebouwde gebied kan worden bestreden met de hiervoor in § 3.3 besproken maatregelen gericht op de inrichting van stedelijke gebieden.

De voorgestelde wijzigingen in het grondgebruik leiden tot een herstel van oorspronkelijke stromingspatronen en bijbehorende ruimtelijke samenhangen, gebonden aan de regionale grondwaterstromingsstelsels. De winningen uit die stelsels worden opgeheven. Het intensieve drainagestelsel in de (voormalige) kwelgebieden wordt overbodig. Naast dit herstel van de kwantitatieve eigenschappen betekent de bestemming tot natuurgebied - waar geen verontreinigingen optreden - dat ook een aanzet is gegeven voor herstel van de kwalitatieve kenmerken van de stromingsstelsels.

In het verlengde van de keuze de in- en uitgangen van de regionale stromingsstelsels

te herstellen en te beschermen via de bestemming tot natuurgebied, ligt het voor de hand de potentieel vervuilende, dynamische vormen van grondgebruik zoveel mogelijk te koppelen aan gebieden gedomineerd door stromingsstelsels van lokale aard. De ingrepen ten behoeve van die grondgebruiksvormen hebben dan op tijd-ruimteschalen gemeten minder verstrekkende invloeden. Bovendien komen de effecten van mogelijke verstoringen sneller aan het licht en zijn daarmee eerder, en dus doorgaans ook beter, aan te pakken.



Figuur 5.1
 Naar een 'raamwerk'-plan voor het Regge-stroomgebied op basis van de hydrologische landschapsstructuur. De eerste stap: de aanduiding van de in- en uitgangen van de primaire grondwaterstromingsstelsels (de 'kern' van het raamwerk). De bescherming van deze gebieden is essentieel voor het herstel en de ontwikkeling van gebieden met natte milieuocondities.

Figure 5.1
 Towards a 'framework'-plan for the Regge-catchment based on the hydrological landscape structure. The first stage: the designation of the infiltration and exfiltration zones of the primary groundwater flow systems (the 'core' of the framework). The protection of these areas is essential for the restoration and development of wetlands.

5.3.1.3 De ruimtelijke vertaling

De voorgestelde herordening van het grondgebruik heeft geleid tot het kaartbeeld van figuur 5.1. Hierin zijn de gebieden onderscheiden waar de voornaamste in- en uitgangen van de primaire grondwaterstromingsstelsels kunnen worden aangetroffen. Bij de aanduiding van deze gebieden is overigens gebruik gemaakt van de beschrijving van de historische grondwaterstromingsstelsels uit hoofdstuk 4. Er wordt immers geanticipeerd op een herstel van de bij die situatie behorende hydrologische condities. Voor de ingangen van de regionale grondwaterstromingsstelsels is er van uitgegaan dat deze samenvallen met die infiltratiegebieden die zijn gelegen op de primaire, relatief hoogste, positieve terreinvormen. Deze bevinden zich op de stuwwallen langs de westgrens van het gebied, op de flanken van de Ootmarsumse en Oldenzaalse stuwwallen en op de hogere stuwwalrestanten, ruggen en glooiingen daartussenin (vergelijk figuur 4.14). Voor de uitgangen van de primaire grondwaterstromingsstelsels is verondersteld dat deze kunnen worden gevonden in de primaire, relatief laagste, negatieve terreinvormen die langs de grenzen van de betreffende stromingsstelsels gelegen zijn. Deze omgrenzing betekent dat een wat ruimer gebied is aangegeven dan de in hoofdstuk 4 begrensde exfiltratiegebieden. Kleine, zeer lokale stromingsstelsels die binnen deze gebieden worden aangetroffen zijn hier meegenomen om een sterke versnippering van de gebieden te voorkomen. Op deze wijze komen tegelijkertijd ook de patronen van de voornaamste dalen en overstromingsvlakten van het studiegebied in het kaartbeeld tot uitdrukking.

De gebieden die in deze ontwerp-stap op de kaart verschijnen vormen als het ware de ruggegraat van het beoogde raamwerk; de 'kern' waaruit het (hydrologisch) functioneren van het gebied in belangrijke mate wordt aangestuurd.

5.3.2 De tweede stap

5.3.2.1 Inleiding

In het huidige landschap van het studiegebied resteren nog plekken met natte tot vochtige milieuomstandigheden (zie figuur 4.33-b). Hoewel deze gebieden sterk onder druk staan, mag worden verondersteld dat hier de randvoorwaarden voor ontwikkeling van natte tot vochtige fysiotopen tot op zekere hoogte nog worden vervuld. Als zodanig vertegenwoordigen deze 'nog natte gebieden' hier een bijzondere potentie. Een deel van de betreffende natte plekken is gelegen in de zones die in de voorgaande paragraaf zijn aangenomen als de gebieden met de uitgangen van de primaire stromingsstelsels. De tweede stap in de planvorming richt zich vervolgens op de resterende nog natte gebieden en omvat:

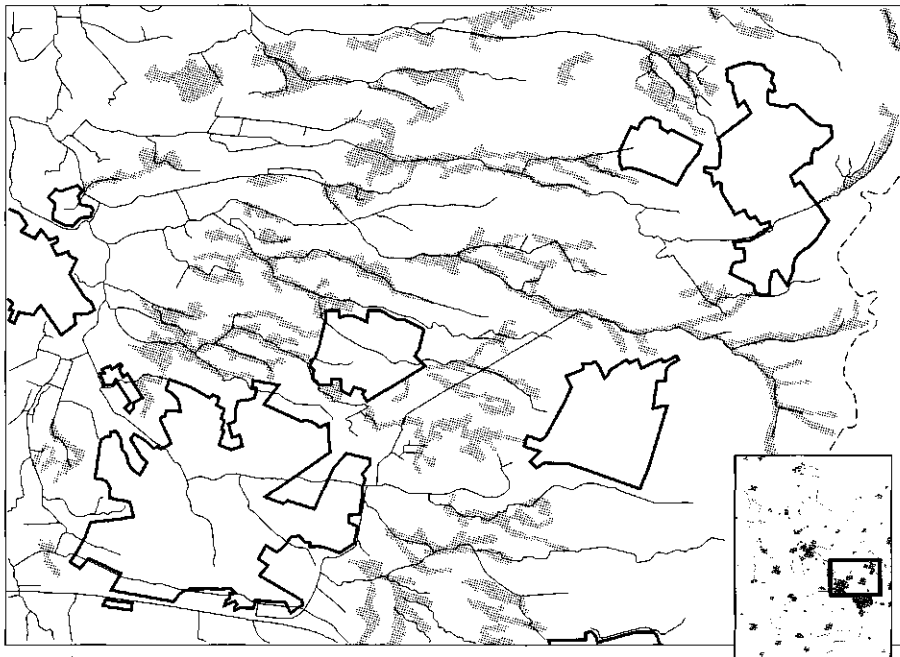
- een selectie van die nog natte gebieden die in het licht van de uitgangspunten voor de planvorming het meest relevant worden geacht;
- het achterhalen van de gebieden die gezien het hydrologisch functioneren bijdragen aan het beschermen van de hiervoor bedoelde nog natte gebieden (de zogenaamde 'beschermingszones').

Beide gebiedscategorieën worden vervolgens als onderdeel van het raamwerk beschouwd en worden aangewezen als natuurgebied of als natuurgebied in combinatie met andere, niet conflicterende vormen van grondgebruik. Het selectieproces uit de tweede ontwerp-stap wordt aan de hand van een detailgebied geïllustreerd (figuur 5.2). De eerste kaart (figuur 5.2-a) geeft de ligging van het detailgebied en van de resterende nog natte gebieden weer.

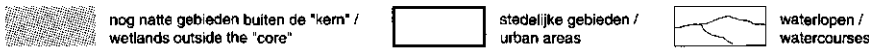
5.3.2.2 De selectie van de 'nog natte gebieden'

Bij de selectie van de nog natte gebieden spelen de volgende overwegingen⁴ een rol:

- de ligging ten opzichte van de 'kern van het raamwerk' uit de eerste ontwerp-stap in combinatie met de omvang van de nog natte gebieden;

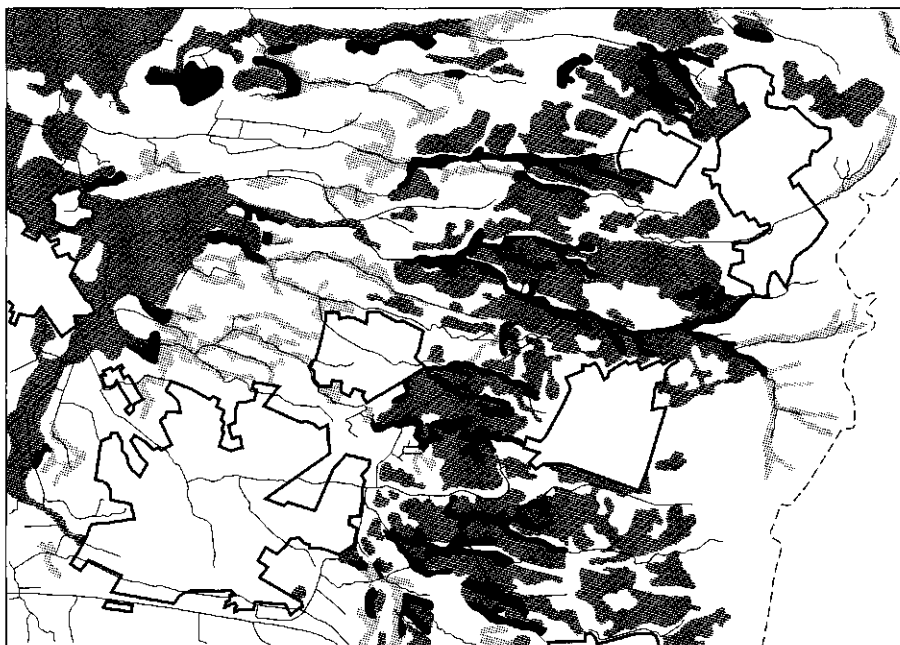


Legenda / Legend

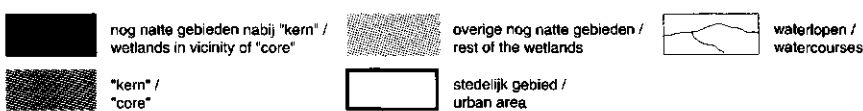


a. De ligging van het detailgebied en van de resterende nog natte gebieden buiten de 'kern' van figuur 5.1.

a. The location of the detail area and of the remaining wetlands outside the 'core' of figure 5.1.



Legenda / Legend



b. De eerste stap van de selectie: de aanduiding van de resterende nog natte gebieden die op korte afstand van de 'kern' liggen.

b. The first selection stage: the designation of remaining wetlands that are located in the direct vicinity of the 'core'.

Figuur 5.2
De methode voor de selectie van de nog natte gebieden buiten de 'kern' (figuur 5.1), geïllustreerd voor een detail gebied. Deze resterende natte gebieden vertegenwoordigen voor het berstel en de ontwikkeling van gebieden met natte milieucondities een bijzondere potentie.

Figure 5.2
The method used for the selection of remaining areas with wet conditions outside the 'core' (figure 5.1), illustrated for a detail of the study area. These areas are of great value for the restoration and development of wetlands.

- het actuele grondgebruik, zowel in het betreffende nog natte gebied als in de omgeving, c.q. in de via de hydrologie daaraan gerelateerde gebieden;
- de mate waarin de betrokken natte gebieden samenvallen met voor het plangebied karakteristieke landschapspatronen, in casu de aan beken gekoppelde geomorfologische eenheden.

De ligging ten opzichte van de kern van het raamwerk

Een korte afstand tussen de 'kern' en de resterende nog natte gebieden is als een belangrijk criterium in de selectie gehanteerd. Hierbij spelen een aantal argumenten een rol.

Het raamwerk beoogt een herstel van ruimtelijke samenhangen in het landschap door het bestrijden van fragmentatie. Het ligt dan voor de hand die nog natte gebieden extra te benadrukken die direct of nagenoeg grenzen aan de gebieden die in de eerst ontwerp-stap reeds als onderdeel van het raamwerk zijn aangemerkt. Bovendien is er hier van uitgegaan dat grote(re), aaneengesloten gebieden in het algemeen een groter vermogen bezitten om negatieve invloeden op te vangen⁵. Gezien het gegeven dat het raamwerk deel uit maakt van een multifunctioneel landschap waarin ook potentieel verontreinigende vormen van grondgebruik een plaats hebben, is dit een belangrijke overweging. Tenslotte speelt nog de overweging mee dat in situaties waar over relatief korte afstand en in een ruimtelijk aaneengesloten zone zeer verschillende milieucondities geleidelijk in elkaar overgaan, milieu-gradiënten tot ontwikkeling kunnen komen.

Voor het herstel en de ontwikkeling van de in het gebied karakteristieke milieudiversiteit zijn dergelijke gradiënten van belang. Het zijn plekken waar een bijzondere flora en fauna tot ontwikkeling kunnen komen (zie bijvoorbeeld Van Wirdum, 1979; Baaijens, 1985; Pedroli, 1989).

Deze overwegingen hebben voor het detailgebied geresulteerd tot de situatie van figuur 5.2-b. De nog natte gebieden met een gunstige ligging ten opzichte van de 'kern' zijn daarin aangegeven.

Het actuele grondgebruik

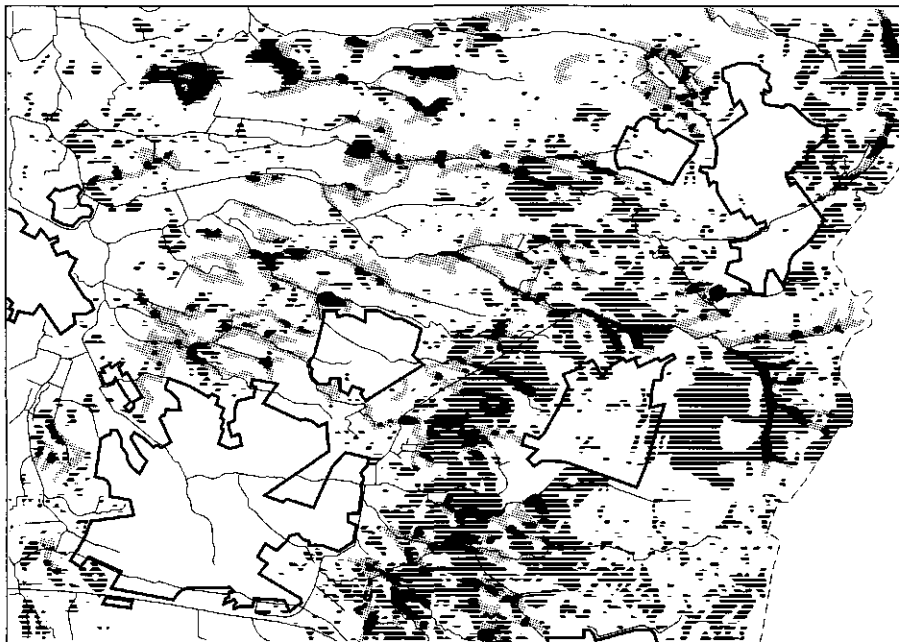
Een tweede overweging bij de selectie van de nog natte gebieden is het actuele grondgebruik. Er is daarbij nagegaan of de nog natte gebieden, dan wel hun directe of via de hydrologie gerelateerde omgeving, reeds in gebruik zijn als bos- of natuurgebied. De hieraan ten grondslag liggende vooronderstelling is dat dit gebruik in het algemeen gunstigere perspectieven biedt voor de ontwikkeling van natte tot vochtige fysiotopen dan andere vormen van gebruik. Er is aangenomen dat het grondgebruik hier minder intensief is en er minder vergaande wijzigingen van de abiotische structuur hebben plaatsgevonden.

Op grond van deze overweging zijn in figuur 5.2-c naast de nog natte gebieden de bestaande bos- en natuurgebieden weergegeven. De zwarte gebieden geven aan waar beide categorieën elkaar overlappen en dus waar de aandachtsgebieden liggen voor de selectie op basis van het actuele grondgebruik.

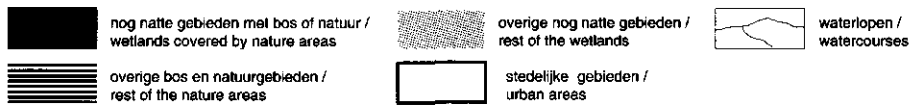
Naast het gebruik als natuur- of bosgebied zijn bij deze beschouwing ook de stedelijke gebieden betrokken. Is er sprake van een sterke mate van beïnvloeding van de nog natte gebieden door urbaan gebruik, dan worden deze minder geschikt geacht voor het beoogde raamwerk. Een belangrijke urbane invloed mag worden verwacht wanneer de natte plekken zijn gelegen in sterk urbaan gedomineerde stroomgebieden of wanneer de gerelateerde infiltratiezones deel uit maken van het stedelijk gebied. In het detailgebied is dit met name het geval in de gebieden direct benedenstrooms van de kernen van Oldenzaal en Hengelo⁶.

Karakteristieke landschappelijke patronen

Een laatste criterium bij de selectie is de mate waarin de nog resterende natte gebieden samenvallen met karakteristieke landschappelijke patronen. Deze overweging vloeit voort uit het uitgangspunt met betrekking tot het weer herkenbaar maken van landschappelijke patronen. In dit verband zijn de aan beken gekoppelde geomorfologische eenheden (beekdalen, overstromingsvlakten) van belang geacht. De analyse

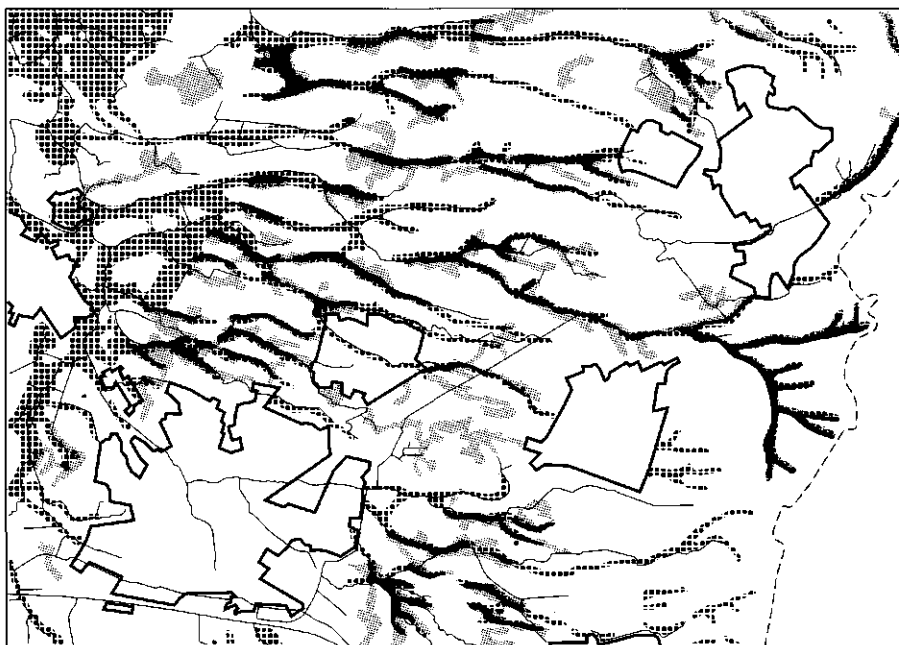


Legenda / Legend

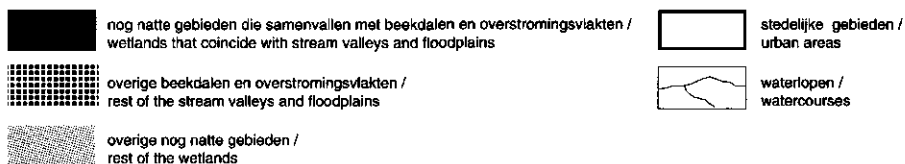


c. De tweede stap van de selectie: de aanduiding van het actuele grondgebruik. De nog natte gebieden met bos of natuur zijn van belang geacht.

c. The second selection stage: the designation of the actual land-use. The remaining wetlands covered by nature areas are considered important.



Legenda / Legend



d. De derde stap van de selectie: de aanduiding van de nog natte gebieden die samenvallen met de karakteristieke aan beken gekoppelde landschappelijke patronen.

d. The third selection stage: the designation of remaining wetlands that coincide with the characteristic landscape patterns related to streams (valleys, floodplains).

Figuur 5.2

De methode voor de selectie van de nog natte gebieden buiten de 'kern' (figuur 5.1), geïllustreerd voor een detail gebied. Deze resterende natte gebieden vertegenwoordigen voor het herstel en de ontwikkeling van gebieden met natte milieucondities een bijzondere potentie.

Figure 5.2

The method used for the selection of remaining areas with wet conditions outside the 'core' (figure 5.1), illustrated for a detail of the study area. These areas are of great value for the restoration and development of wetlands.

voor het detailgebied op grond van dit kenmerk is gepresenteerd in figuur 5.2-d. Hierop is aangegeven waar de beekdalen en overstromingsvlakten van de geomorfologische kaart samenvallen met de nog natte gebieden. Hieruit blijkt dat in een aantal beekstelsels vrijwel continue zones van nog natte gebieden aanwezig zijn. Deze ruimtelijk continuïteit is voor aan beken gebonden of daarlangs migrerende organismen een belangrijk gegeven.

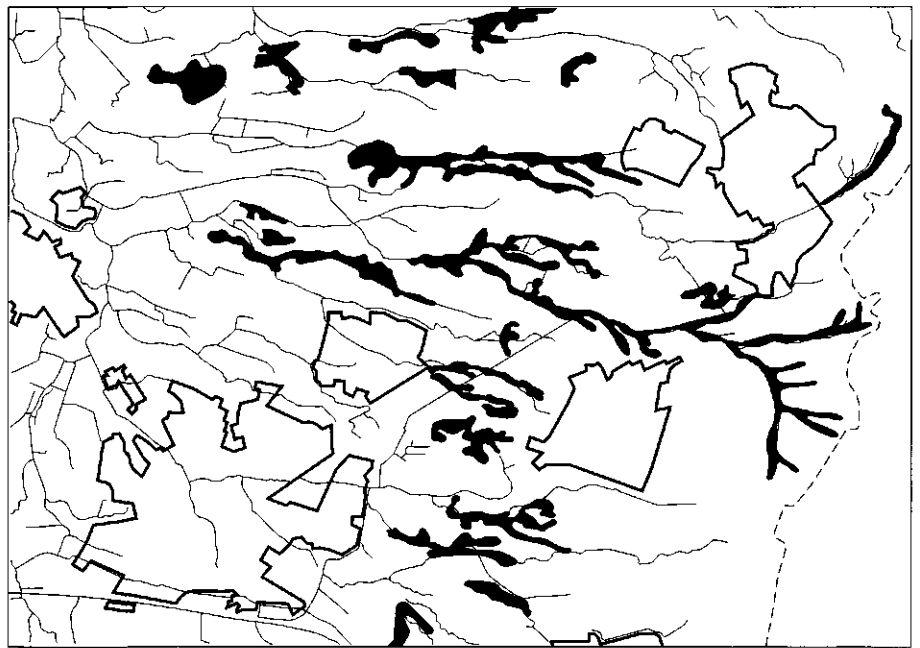
Het resultaat van de selectie

De laatste stap in de selectie van de nog natte gebieden omvat een aggregatie van de analyses als hiervoor besproken in de figuren 5.2-b tot en met 5.2-d. Daarbij is een kaart ontstaan waarin is aangegeven welke van de nog natte gebieden gunstig scoren op twee of drie van de aspecten uit de figuren 5.2-b tot en met 5.2-d. Figuur 5.2-e geeft het resultaat: de uiteindelijke selectie van de nog natte gebieden in het detailgebied die tot het raamwerk worden gerekend.




5.3.2.3 De beschermingszones

Het tweede onderdeel van de onderhavige ontwerp-stap betreft de aanduiding van de gebieden die via de stroming van grond- of oppervlaktewater met de geselecteerde nog natte plekken zijn verbonden. Deze 'beschermingszones' worden bij het raamwerk gerekend, om de bescherming en ontwikkeling van de betreffende natte tot vochtige fysiotopten te bevorderen. Bij de aanduiding van de beschermingszones is aangenomen dat deze overeenkomen met:

- de aan de geselecteerde nog natte gebieden grenzende terreinverheffingen;
 - de (sub)stroomgebieden waarvan de geselecteerde nog natte plekken deel uitmaken.
- De eerste aanname veronderstelt dat de direct aangrenzende, relatief hoger gelegen gronden de voornaamste herkomst (infiltratie) gebieden vormen van lokale grondwaterstromingsstelsels die van invloed zijn op de betreffende natte gebieden. Door deze zones aan het raamwerk toe te voegen, wordt gelijktijdig de ontwikkeling van lokale milieugradiënten gestimuleerd⁷.



Legenda / Legend

 de geselecteerde nog natte gebieden / the selected wetlands	 stedelijke gebieden / urban areas	 waterlopen / watercourses
--	---	--

Figuur 5.2

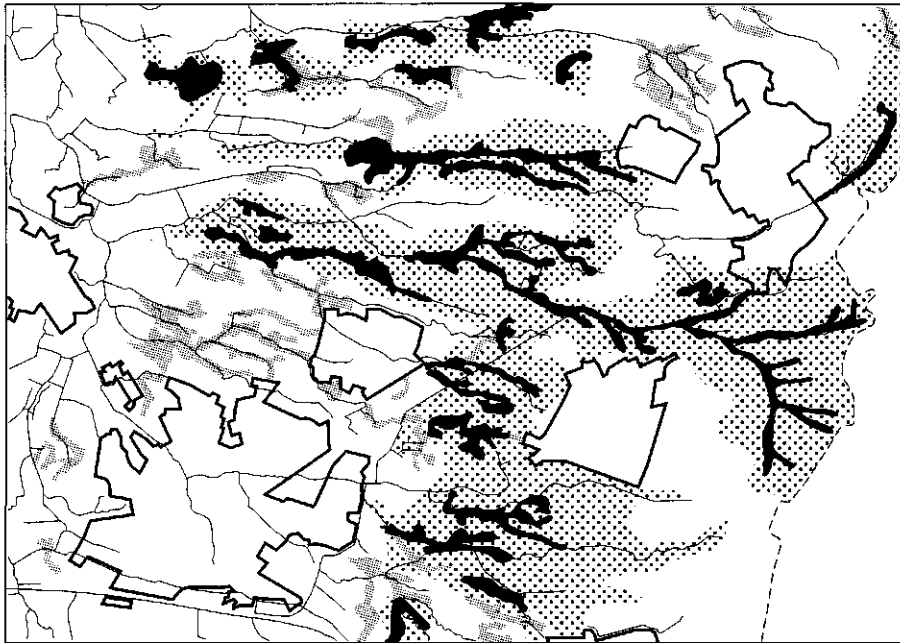
De methode voor de selectie van de nog natte gebieden buiten de 'kern' (figuur 5.1), geïllustreerd voor een detail gebied. Deze resterende natte gebieden vertegenwoordigen voor het herstel en de ontwikkeling van gebieden met natte milieuoedities een bijzondere potentie.

Figure 5.2

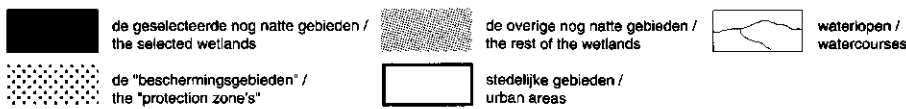
The method used for the selection of remaining areas with wet conditions outside the 'core' (figure 5.1), illustrated for a detail of the study area. These areas are of great value for the restoration and development of wetlands.

e. De uiteindelijke selectie: de nog natte gebieden die in twee of meer van de hierboven beschreven selectie-stap-pen zijn aangeduid.

e. The final selection: the wetlands that were designated in two or three of the previous stages.

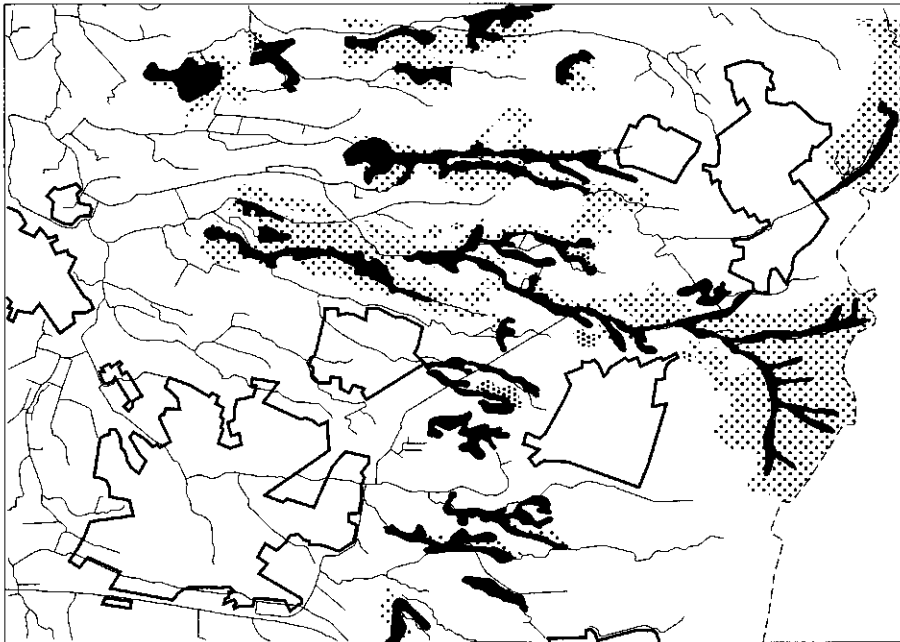


Legenda / Legend

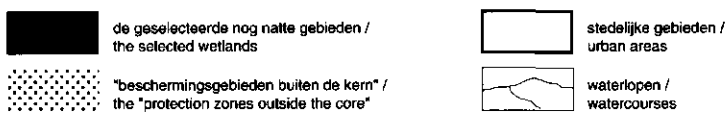


a. De beschermingszones; hieronder zijn begrepen: alle direct aangrenzende terreinverheffingen, alsmede de stroomgebieden waarvan de natte gebieden deel uit maken.

a. The protection zones; these include all bordering elevated area's (infiltration zones) and the catchments in which the wetlands are situated.



Legenda / Legend



b. Een deel van de beschermingszones maken deel uit van de 'kern'. Worden deze buiten beschouwing gelaten, dan resteren de hier gekarteerde 'beschermingsgebieden buiten de kern'.

b. A part of the protection zones are included in the 'core'. These areas are already protected in their first stage. As a result from this selection, the 'protection zones outside the zone' are mapped here.

Figuur 5.3
De methode voor de bepaling van de 'beschermingsgebieden' van de geselecteerde nog natte gebieden, geïllustreerd voor een detail gebied.

Figure 5.3
The method used for the designation of 'protection zones' of the selected wetlands, illustrated for a detail of the study area.

De stroomgebieden of substroomgebieden waarbinnen de geselecteerde nog natte gebieden zijn gelegen vormen het tweede aandachtspunt bij de aanduiding van de beschermingszones. Er is hierbij verondersteld dat de bovenstrooms van de natte plekken gesitueerde delen van deze stroomgebieden belangrijke herkomstgebieden zijn voor het water dat daar kan worden aangetroffen. De waterstanden in de benedenstrooms gelegen gedeelten van de (sub)stroomgebieden conditioneren de stromingsprocessen in stroomopwaartse richting en zijn daarom van belang⁸.

Het op deze wijze aanduiden van de 'beschermingszones' impliceert de toepassing van planningsmaatregelen voor herordening van het grondgebruik gebaseerd op gehele, gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels, op de relatie tussen infiltratie- en kwelgebieden en op de aanwezigheid van lagere orde (sub)stroomgebieden (zie respectievelijk de figuren 3.8-b, 3.8-e en 3.8-h).

De aanduiding van de op deze wijze beschreven 'beschermingszones' voor het detailgebied is weergegeven in figuur 5.3. Hieronder vallen alle aan de geselecteerde nog natte gebieden grenzende terreinverheffingen, alsmede de (sub)stroomgebieden waarvan deze natte plekken deel uit maken⁹. Onder de hierboven gememoreerde aannames zijn dit - afgezien van de primaire in- en uitgangen die reeds in de eerste stap aan de orde zijn geweest - de belangrijkste gebieden die de hydrologische condities van de nog natte gebieden bepalen. Een belangrijk deel van de op deze wijze in het detailgebied aangeduide 'beïnvloedingsgebieden' maken reeds deel uit van de kern van het raamwerk uit de eerste ontwerp-stap. Worden deze gebieden vervolgens buiten beschouwing gelaten dan blijven als beschermingszones over de als zodanig gekarteerde gebieden van figuur 5.3-b. Samen met de geselecteerde nog natte gebieden, vormt dit kaartbeeld het resultaat van de tweede stap van de planvorming voor het detailgebied.

5.3.2.4 De ruimtelijke vertaling

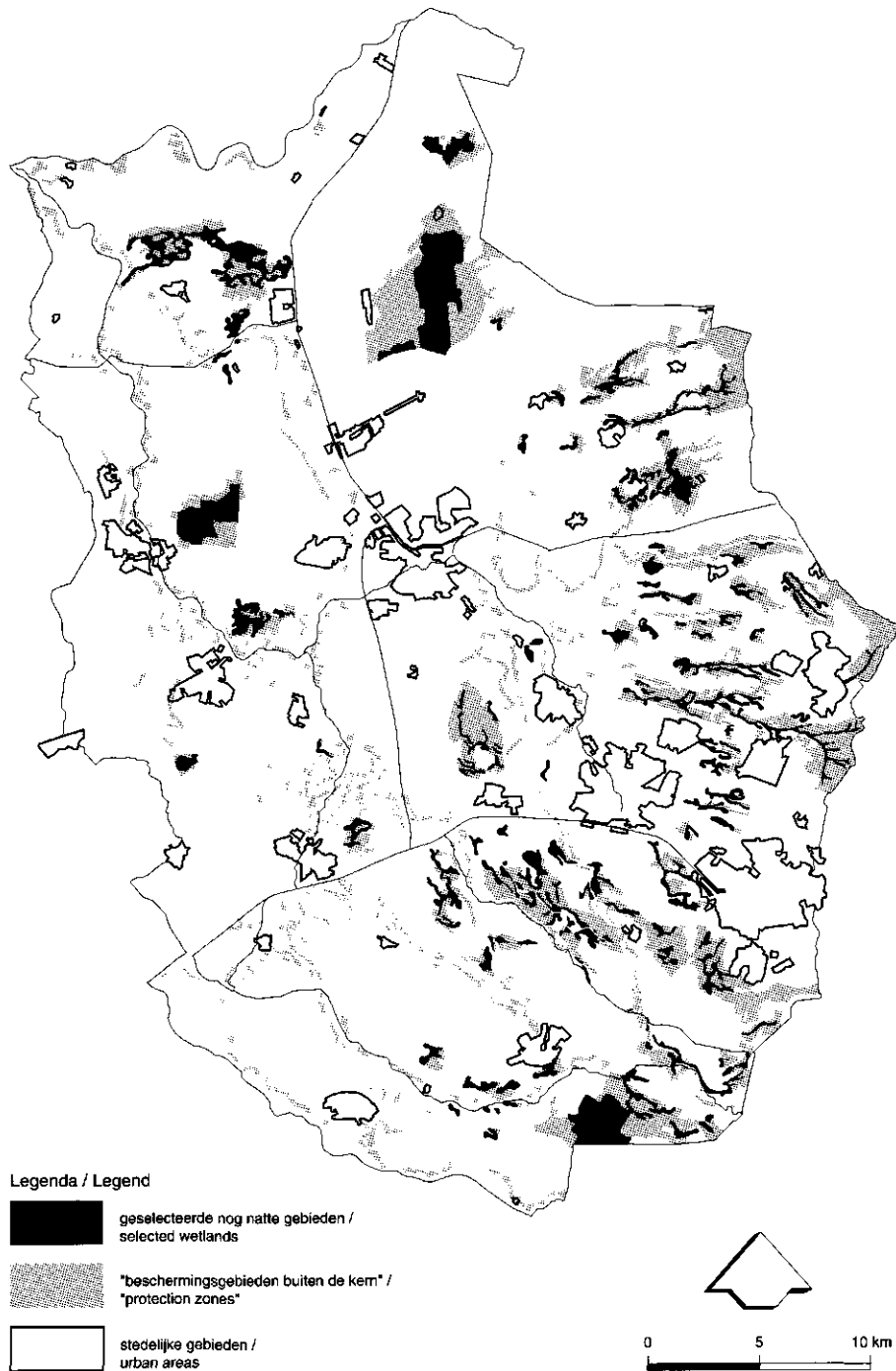
De procedure zoals beschreven voor het detailgebied heeft voor het studiegebied als geheel het resultaat van figuur 5.4 opgeleverd. Opvallend daarbij is dat de stroomgebieden van een aantal beekstelsels van bron tot monding deel uit maken van het raamwerk.

Een drietal omvangrijke gebieden - gelegen rond de hoogveenrestanten van de Engbertsdijkvenen, het Wierdense Veld en het Haaksbergerveen - verdient nadere toelichting. Hier zijn een aantal overwegingen gebruikt die bij de bespreking van het detailgebied niet aan de orde zijn geweest. Er is van uitgegaan dat de bestaande hoogveenrestanten zonder meer tot de te beschermen en zo mogelijk verder te ontwikkelen 'nog natte gebieden' gerekend kunnen worden. Het aanduiden van de bijbehorende beschermingszones is, gezien de specifieke hydrologische condities, vooral gericht op het vinden van de belangrijkste benedenstrooms gelegen gebieden. Deze werken conditionerend op de grondwaterstanden in deze gebieden. Naast de algehele verhoging van de grondwaterstanden die het gevolg is van het herstel van de regionale grondwaterstromingsstelsels is daarmee de belangrijkste grondslag voor ontwikkeling van deze gebieden gegeven. In dit onderzoek is aangenomen dat deze conditionerende, benedenstroomse gebieden samenvallen met de benedenstroomse delen van de stroomgebieden waarvan de hoogveenrestanten deel uitmaken. Volgens Schouwenaars (1990) biedt het inunderen van dit type gebieden en de hoogveenrestanten de beste kansen voor (re)generatie van het hoogveen.

5.3.3 De derde stap

Het herstel van de ruimtelijke samenhangen en het (opnieuw) herkenbaar maken van de meest karakteristieke landschappelijke patronen in het landschap staan centraal in de derde stap van het planvormingsproces. Bij de hiervoor besproken stappen is dit aspect reeds aan de orde geweest. Als aanvulling hierop wordt in deze paragraaf nog eens gekeken naar de beken en de daaraan gekoppelde beekdalpatronen. Het zijn immers juist deze patronen die in hoge mate het landschap van het studiegebied karak-

teriseren. Bovendien vormen de beken en beekdalen een ruimtelijk continu en fijn ver-
 takt stelsel dat vele, vaak sterk verschillende delen van het landschap met elkaar ver-
 bindt. Bij het zoeken naar aanknopingspunten voor het herstel van ruimtelijke samen-
 hangen liggen in dit stelsel dan ook interessante aanknopingspunten besloten.
 In deze stap van de planvorming is dan ook nagegaan welke waterlopen buiten de
 reeds tot het raamwerk gerekende gebieden samenvallen met aan beken gebonden
 geomorfologische eenheden. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 5.5. De op
 deze wijze geselecteerde waterlopen worden als relatief smalle zones aan het raam-
 werk toegevoegd.

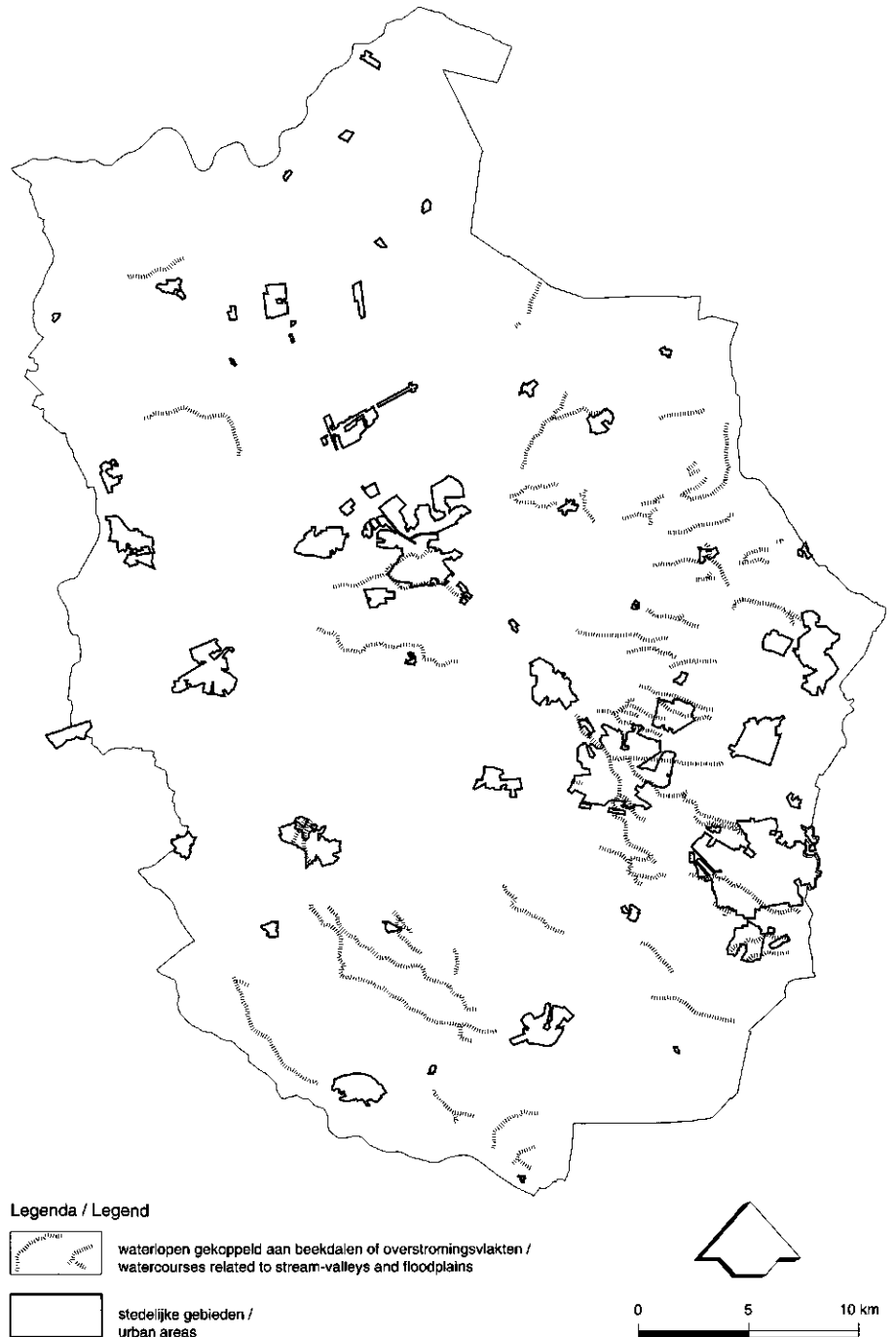


Figuur 5.4
 Naar een 'raamwerk'-plan voor het Regge-stroomgebied op basis van de hydrologische landschapsstructuur. De
 tweede stap: de aanduiding van de geselecteerde nog natte gebieden en bijbehorende 'beschermingsgebieden'.

Figure 5.4
 Towards a 'framework'-plan for the Regge-catchment based on the hydrological landscape structure. The
 second stage: the designation of the selected remaining wetlands and related 'protection zones'.

Het herkenbaar maken van het bekenpatroon staat voorop, niet zozeer een optimale bescherming van de betreffende gebieden. Dit neemt niet weg dat via inrichtingsmaatregelen het natuurlijk functioneren van de beken kan worden gestimuleerd en de ruimtelijke continuïteit hersteld¹⁰.

Het tot ontwikkeling brengen van (natuurlijke) beekbegeleidende beplanting kan hier meerdere doelen dienen. Deze beplanting kan een rol spelen in het bufferen van verontreinigende effecten uit de aangrenzende gronden. Bovendien vergroot een consequente beplanting de zichtbaarheid en de herkenbaarheid van de beken en kan deze een rol spelen bij de dispersie van organismen.



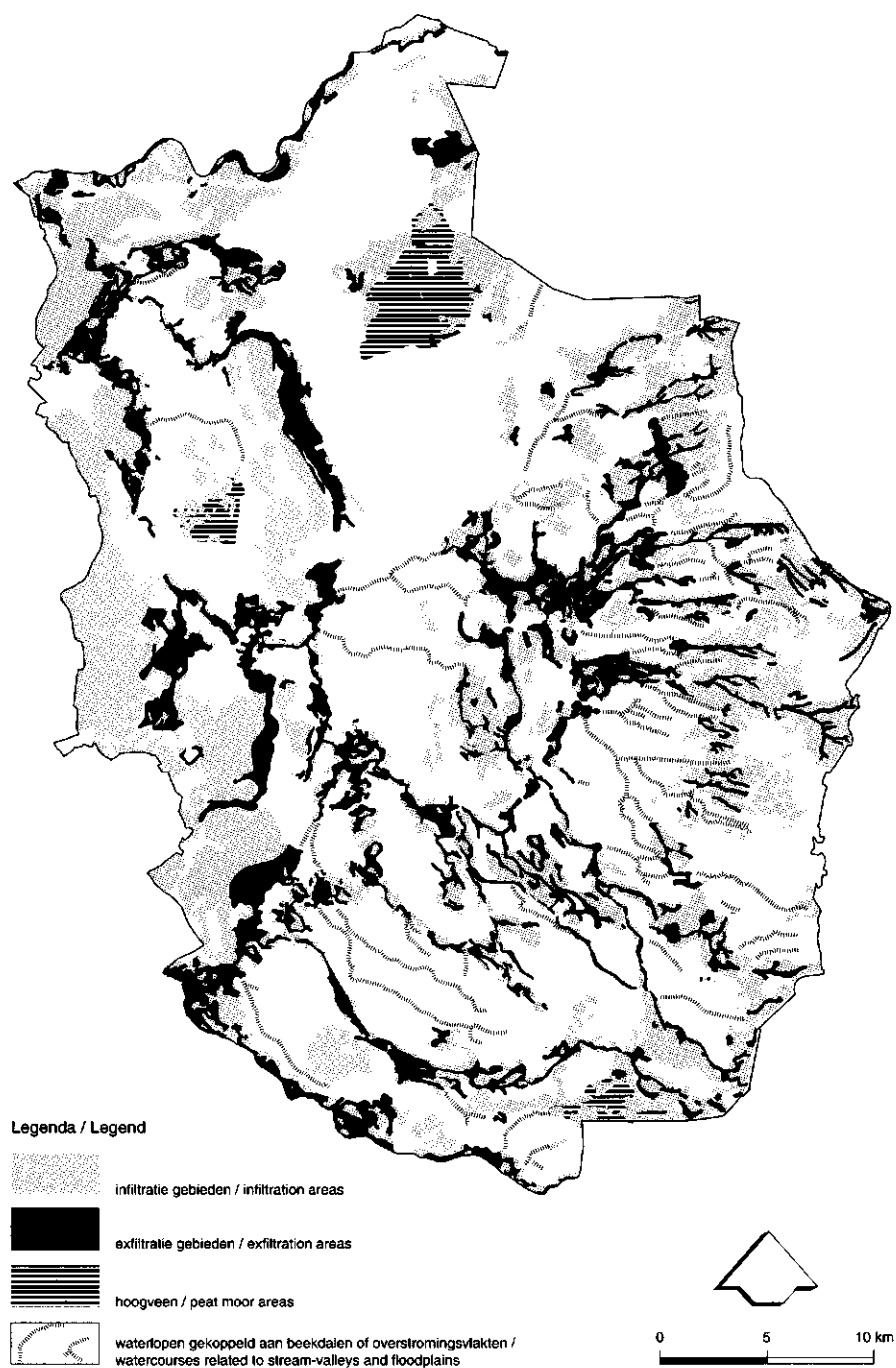
Figuur 5.5
Naar een 'raamwerk'-plan voor het Regge-stroomgebied op basis van de hydrologische landschapsstructuur. De derde stap: de selectie van waterlopen gekoppeld aan beekdalen of overstromingsvlakten buiten de in figuren 5.1 en 5.4 aangeduide gebieden.

Figure 5.5
Towards a 'framework'-plan for the Regge-catchment based on the hydrological landscape structure. The third stage: the selection of water courses related to stream valleys or floodplains. The areas designated in figures 5.1 and 5.4 are excluded.

5.4 Het raamwerk

5.4.1 Inleiding

Het uiteindelijke plan voor het raamwerk volgt uit het samenvoegen van de resultaten uit de drie hiervoor besproken stappen. In figuur 5.6 is dit resultaat weergegeven. Het kaartbeeld van figuur 5.6 representeert een serie ruimtelijk aan elkaar gerelateerde



Figuur 5.6

Het 'raamwerk'-plan voor het Regge-stroomgebied op basis van de hydrologische landschapsstructuur. Het plan biedt in principe mogelijkheden voor de ontwikkeling van een samenhangend netwerk van gebieden met daarin een scala aan milieutypen en -gradiënten.

Figure 5.6

The 'framework'-plan for the Regge-catchment based on the hydrological landscape structure. The plan may result in a network of interconnected areas with a range of environmental conditions and related ecological gradients.

gebieden die gezamenlijk ook een afspiegeling vormen van de voornaamste abiotische patronen in het stroomgebied van de Regge. De grote, vlakvormige gebieden aan de west- en noordzijde omvatten de daar gelegen zandige stuwwallen en (dek)zandruggen, die aan de voet worden vergezeld van grote, vlakvormige kwelzones. De centrale en zuidelijke delen worden gekenmerkt door de fijn vertakte, sterk gerichte patronen van de beekdalen en daarlangs gelegen hogere ruggen. In het oosten zijn de contouren zichtbaar van de infiltratiezones op de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal, terwijl ook een aantal van de brongebieden van de beken te herkennen zijn. Hieronder wordt het voorstel voor het raamwerk nader besproken aan de hand van de twee voorwaarden die bij aanvang van de planvorming zijn gesteld: de in hydrologisch opzicht zelfstandige positie van het netwerk en de daarbinnen aan te treffen milieudifferentiatie.

5.4.2 De hydrologische positie van het raamwerk

In het plan van figuur 5.6 zijn op de watersystemen gebaseerde planningsmaatregelen toegepast. Op deze wijze is getracht gebieden in het ruimtelijk netwerk op te nemen die via hydrologische relaties met elkaar samenhangen, opdat het als een min of meer zelfstandige eenheid kan functioneren. Dit uitgangspunt komt bijvoorbeeld naar voren bij de bestemming van de in- en uitgangen van de primaire grondwaterstromingsstelsels in de eerste of van de 'beschermingszones' van de geselecteerde 'nog natte gebieden' in de tweede stap van de planvorming.

Nog afgezien van de aannames die nodig waren voor het daadwerkelijk op de kaarten aangeven van de betreffende gebieden, past hier een relativerende opmerking. Gezien de hiërarchisch georganiseerde structuur waarin de te onderscheiden watersystemen zijn gevat, bestaan er vele directe en ook indirecte samenhangen tussen de aan die watersystemen gerelateerde ruimtelijke eenheden. Een volledige, absolute isolatie van (bepaalde delen van) gebieden is daarmee ondenkbaar. Niettemin zijn bij de planvorming steeds de voornaamste hydrologische relaties en daarmee samenhangende gebieden betrokken.

5.4.3 De milieudifferentiatie

Het raamwerk zou randvoorwaarden moeten bieden voor de ontwikkeling en instandhouding van de voor het studiegebied karakteristieke milieudiversiteit. Om dit te kunnen onderzoeken is de typologie van voor het gebied kenmerkende fysiotoepen (Bijlage II) toegepast op de tot het netwerk behorende gebieden. Zo kan worden nagegaan in hoeverre de abiotische condities voor ontwikkeling van de beoogde milieudifferentiatie ook daadwerkelijk kunnen worden verwacht.

Figuur 5.6 weerspiegelt voor het gehele studiegebied een vereenvoudigde fysiotoepenindeling. De in de bijlage onderscheiden typen zijn daartoe samengevoegd op grond van het belangrijkste onderscheidende kenmerk: de hydrologie. Het kaartbeeld van figuur 5.7 geeft voor een fragment van het ruimtelijk netwerk in het noordoosten van het plangebied de volledige indeling van de fysiotoepen weer.

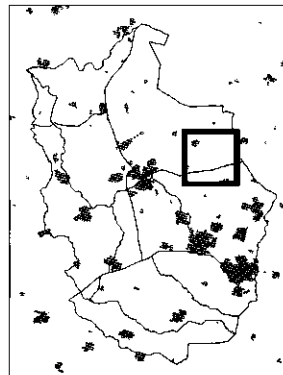
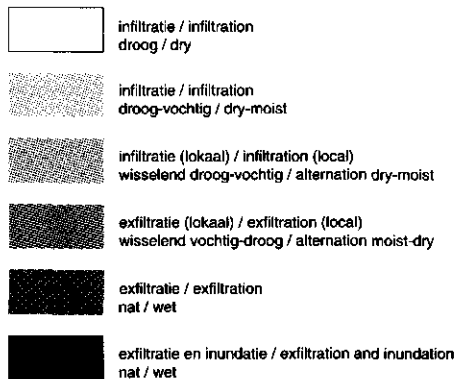
Uit de kaartbeelden kan worden afgeleid dat alle onderscheiden fysiotoepen binnen het ruimtelijk netwerk een plaats kunnen vinden. Bovendien blijkt dat het netwerk - in ruimtelijk continue zones - gebieden met overeenkomstige milieuecondities verbindt, maar ook gebieden omvat met elkaar opeenvolgende reeksen van heel verschillende abiotische omstandigheden (milieugradiënten).

5.4.4 Tot slot

In deze voorbeeldstudie heeft de herordening van het grondgebruik op grond van hydrologische (abiotische) overwegingen centraal gestaan. De (detail)inrichting en het (natuur)beheer zijn bij deze planvorming op strategisch niveau goeddeels buiten beschouwing gebleven. Toch zijn dit factoren die van doorslaggevende betekenis kunnen zijn voor het toekomstige landschapsbeeld en voor de levensgemeenschappen die



Legenda / Legend



Figuur 5.7

Een detail van het plan uit figuur 5.6 maakt het mogelijk de via het plan te ontwikkelen milieudifferentiatie nader aan te duiden.*

** Hiervoor is de indeling in voor het gebied kenmerkende fysiotopen uit Bijlage II toegepast.*

Figure 5.7

The presentation of a part of the plan from figure 5.6 enables a more detailed description of the environmental differentiation that may be developed.

uiteindelijk tot ontwikkeling kunnen komen. Zo zal een geringe beheersintensiteit voor grote delen van het netwerk tot bosontwikkeling leiden. Alleen op plekken met dynamische natuurlijke processen - zoals ten gevolge van stromend oppervlaktewater (inundatie, erosie, sedimentatie) - of met permanent zeer hoge grondwaterstanden kan een meer open vegetatiestructuur worden verwacht. In de voorbeeldstudie op het operationele planningsniveau (hoofdstuk 6) komen dergelijke inrichtings- en beheersaspecten meer nadrukkelijk aan de orde.

1 Een fysiochore is een "ruimtelijk begrensde eenheid gekenmerkt door een bepaalde karakteristieke heterogeniteit in haar abiotische component" (Schroevens et al, 1982) en kan in zekere zin worden vergeleken met een - in dit geval abiotische - gradiënt.

2 In dit verband spelen de (grond)waterstanden in het laagst gelegen gebied een belangrijke rol. Veranderingen hierin (verlaging, verhoging) zijn van invloed op de potentiaalverschillen tussen deze lage en de hoger gelegen gebieden en daarmee op de stromingsprocessen.

3 In de zandgebieden van Nederland kunnen de regionale grondwaterstromingsstelsels worden beschouwd als de basis waarop de overige stromingsstelsels zijn gefundeerd (verg. hoofdstuk 2, § 2.4). Er wordt hier dan ook uitgegaan van de gedachte dat een structureel herstel van de afgeleide stromingsstelsels dan ook alleen mogelijk is als ook de basis daarvan - de eerder gememoreerde regionale stelsels - weer naar behoren functioneert.

4 De in het navolgende te bespreken overwegingen zijn niet als harde, ondubbelzinnige criteria gebruikt. Er is bijvoorbeeld niet getracht het aspect 'afstand' dat een rol speelt in de overweging over de positie ten opzichte van de 'kern van het raamwerk', te vertalen in een absolute ruimtemaat zoals: 'nabij wil zeggen binnen 100 meter'. Eenzelfde redenering geldt de genoemde omvang van de nog natte gebieden. Dergelijke scherpe omschrijvingen, zo deze al op grond van objective criteria mogelijk zouden zijn, zijn niet relevant geacht binnen het kader van de strategische planvorming die hier aan de orde is.

5 In zijn artikel over het ontwerp van natuurreservaten op basis van bio-geografische studies wijst Diamond (1975) hierop. Overigens is er rond deze thematiek een levendig debat ontstaan onder (landschaps)ecologen onder het motto 'SLOSS' (hetgeen staat voor 'single large or several small'). Deze discussie handelde om de vraag of een beperkt aantal grote natuurreservaten inderdaad betere perspectieven voor de overlevingskansen van soorten oplevert dan een groot aantal kleine reservaten. Zie onder anderen: Willis en Willis, 1975; Higgs en Usher, 1980; Margules et al., 1982).

6 Een uitzondering hierop is gemaakt in een gebied net onder het midden van de kaart waar een aantal nog natte gebieden net benedenstrooms van een bebouwd gebied toch bij de uiteindelijke selectie terechtgekomen is. De reden hiervoor is dat het actuele grondgebruik hier in zeer sterke mate wordt overheerst door bos- en natuurgebieden.

7 Hetzelfde principe is toegepast voor de in de eerste ontwerpstep aangeduide gebieden waarin de uitgangen van de regionale grondwaterstromingsstelsels zijn gelegen. De voorgestelde maatregelen in die eerste stap zijn immers gericht op het herstel van de werking van de regionale grondwaterstromingsstelsels. Voor de betreffende (potentieel) natte gebieden betekent dit dat de beïnvloeding van de milieukwaliteit ten gevolge van de instroom van (mogelijk) vervuild lokaal grondwater in de eerste ontwerpstep nog niet is ondervangen.

8 Dit principe is niet toegepast voor de in de eerste ontwerpstep aangeduide gebieden waarin de uitgangen van de regionale grondwaterstromingsstelsels zijn gelegen. De positie van deze gebieden in de hydrologische landschapsstructuur brengt met zich mee dat het gehele studiegebied in theorie tot herkomstgebied van oppervlaktewater kan worden gerekend. Het opheffen van het probleem van de aanvoer van verontreinigd oppervlaktewater via een herordening van het grondgebruik zou dan impliceren dat het gehele studiegebied tot natuurgebied bestempeld dient te worden. Dit is in strijd met de in § 5.3.2 besproken uitgangspunten omtrent het multifunctioneel landschap. De bescherming van de fysiotopen in de betreffende gebieden tegen de beïnvloeding door (mogelijk) verontreinigd oppervlaktewater zal dan ook via het treffen van inrichtingsmaatregelen, gestalte moeten krijgen.

9 Bij de feitelijke omgrenzing is nog een onderscheid gemaakt tussen clusters van de geselecteerde natte plekken die samen doorlopende beekstelsels omvatten en meer geïsoleerde natte plekken. In het eerste geval is zonder meer het totale beïnvloedingsgebied als beschermingszone aangeduid. In het tweede geval is daarvan soms afgeweken en is alleen de directe omgeving betrokken, bijvoorbeeld nabij de bebouwde gebieden.

10 Dit zelfde is overigens van toepassing voor de beken die in de voorafgaande twee stappen onderdeel van het raamwerk zijn geworden.

6 PLANVORMING OP HET OPERATIONELE NIVEAU: EEN PLAN VOOR DRINKWATERPRODUCTIE EN NATUURONTWIKKELING

6.1 Inleiding

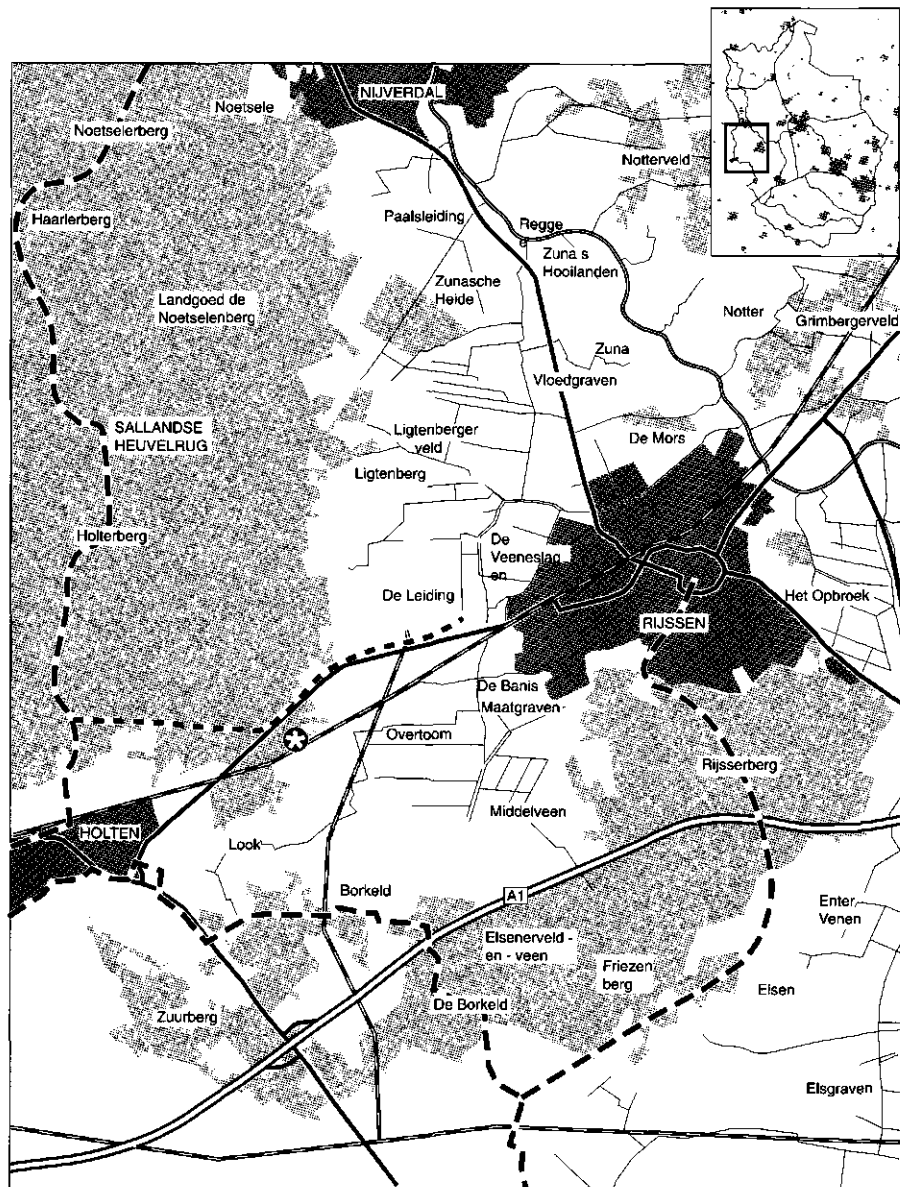
6.1.1 Het doel

De voorbeeldstudie uit dit hoofdstuk betreft de planvorming op een operationeel niveau. Thematisch is ze beperkt tot de relatie tussen drinkwaterproductie en natuurontwikkeling. Het studiegebied is een deel van het hiervoor besproken stroomgebied van de Regge (figuur 6.1). Net als bij de voorgaande voorbeeldstudie is wederom sprake van een tweeledige doelstelling.

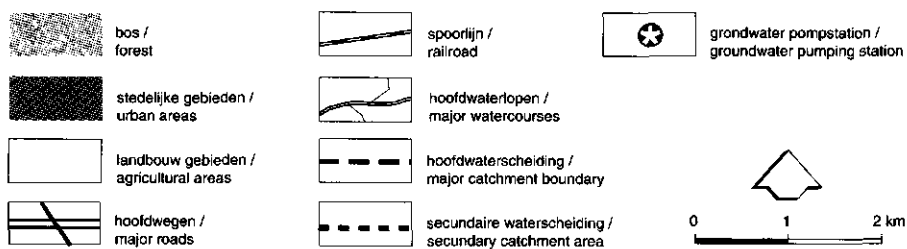
Het instrumentele doel van de studie omvat de toepassing en toetsing van de planningsmaatregelen als behandeld in § 3.3. Anders dan in hoofdstuk 5 gaat het nu om een planningsvraagstuk op een operationeel niveau. Naast het aangeven van (strategische) oplossingsrichtingen, is op dit niveau een (hydrologische) toetsing van die voorstellen geboden. Behalve de procedurele elementen uit de synthese fase, krijgt hier dan ook de hydrologische evaluatie uit de watersysteembenadering voor landschapsplanning een sterk accent. In de hieronder te bespreken werkwijze voor deze voorbeeldstudie komen beide onderdelen - synthese en evaluatie - afwisselend aan de orde. Het substantiële doel van onderhavige voorbeeldstudie betreft het ontwikkelen, uitwerken en evalueren van inrichtingsvoorstellen voor een combinatie van drinkwaterproductie en de ontwikkeling van natte natuurgebieden¹. Dit doel komt voort uit de wens alternatieven te vinden voor het oppompen van grote hoeveelheden grondwater in infiltratiezones. Er zal worden nagegaan in hoeverre alternatieve wintechnieken, in combinatie met een aanpassing van de inrichting van het betreffende gebied, de mogelijkheid bieden tot het samengaan van de productie van drinkwater uit gebiedseigen water en het ontwikkelen van nieuwe natte natuurgebieden. Deze studie is uitgevoerd als het Voorbeeldplan NADORST in het kader van het project 'Voorbeeldplannen Vierde Nota' van de Rijksplanologische Dienst² (Van Buuren et al., 1993).

6.1.2 De werkwijze

De werkwijze van het NADORST-project bestaat uit drie hoofdonderdelen: een landschapsanalyse en twee ontwerp-fasen (figuur 6.2). Het ontwerp heeft op een steeds concreter schaalniveau betrekking, waarbij het accent verschuift van situering (de strategische planvorming), via inrichting en vormgeving op het operationele planvormingsniveau. Daarbij wisselen synthese en (hydrologische) evaluatie elkaar cyclisch af (vergelijk de procedure als besproken in figuur 3.13). Het boomdiagram naast het schema in figuur 6.2 weerspiegelt het keuzeprocess dat aan de voorbeeldstudie ten grondslag ligt. De punten waarop de lijn zich splitst refereren aan belangrijke keuzemomenten in het planproces. De keuzen die in een bepaalde fase worden gemaakt geven vervolgens richting aan de planvorming in de daarop volgende stap. Deze wijze van werken is gekozen om het gehele traject van regionaal tot



Legenda / Legend



Figuur 6.1

Het plangebied van de NADORST*-studie: een gedeelte van het stroomgebied van de Regge op de overgang van de Sallandse Heuvelrug naar het dal van de Regge.

* NADORST staat voor **N**atuurontwikkeling en **D**rinkwaterproductie in het **R**egge-**S**Telsel. Het is een voorbeeld van de toepassing van de watersysteembenadering voor landschapsplanning op een operationeel niveau.

Figure 6.1

The study area of the NADORST*-study: a part of the Regge-catchment located at the ice-pushed ridge of the Sallandse Heuvelrug and in the valley of the river Regge.

NADORST is a dutch acronym for a study in which the planning and design of a combined drinking-water production site and new marsh area is the central focus. This study is an example of the application of the hydrological systems approach to landscape planning at an operational level.

lokaal ontwerp te kunnen doorlopen. Een gevolg daarvan is wel dat niet in elke fase de volle breedte van alternatieven in de afweging kan worden betrokken. Belangrijke keuzemomenten doen zich in alle hieronder nader besproken onderdelen binnen het NADORST-project voor.

De landschapsanalyse

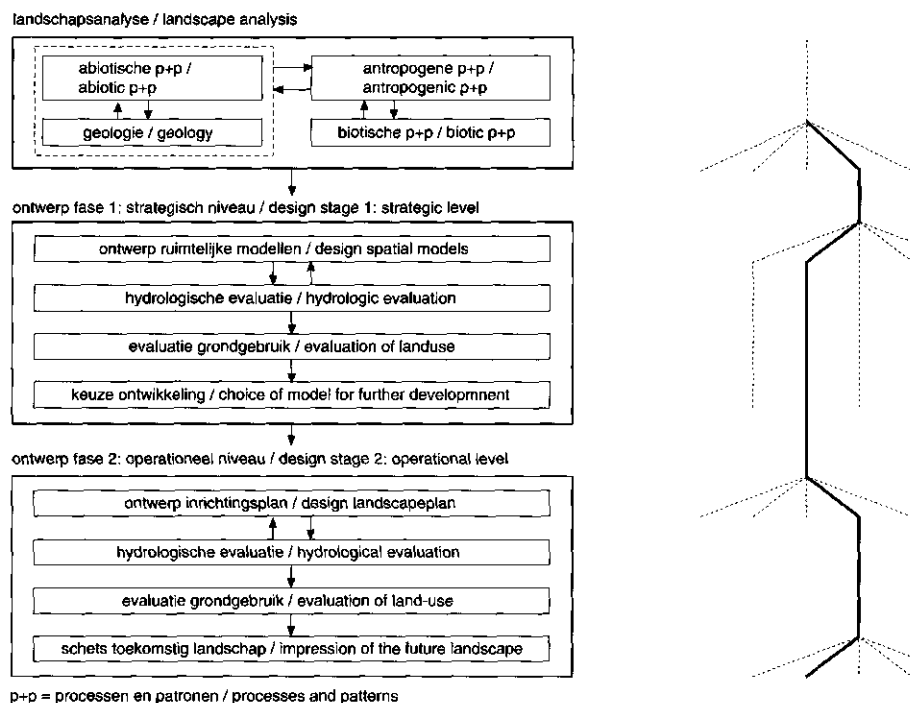
Op analoge wijze als voor het stroomgebied van de Regge in hoofdstuk 4, zijn in de landschapsanalyse van de NADORST-studie de voornaamste abiotische (geologie en hydrologie), biotische en antropogene patronen en processen beschreven. De beschouwing van de hydrologische omstandigheden in het plangebied staat in deze analyse centraal. Om een kwantitatieve interpretatie van hydrologische verschijnselen en van voorgestelde wijzigingen daarvan mogelijk te maken, is een grondwaterstromingsmodel (Stalpers, 1992; zie ook Bijlage III) gebruikt.

De kennis en inzichten die uit de landschapsanalyse volgen kunnen, afhankelijk van het gehanteerde normatieve kader, op verschillende wijze tot 'beperkingen' of 'potenties' van het studiegebied worden geïnterpreteerd. Dit wordt in figuur 6.2 schematisch in beeld gebracht door het eerste divergentiepunt in het boomdiagram. Op basis van de doelen voor deze voorbeeldstudie kunnen bepaalde gebiedseigenschappen als aanknopingspunten voor verdere planvorming worden aangemerkt.

De planvorming op het strategische niveau

Deze fase van het ontwerp is erop gericht de ontwikkelingsmogelijkheden van het plangebied - vanuit het doel met betrekking tot de combinatie van natuurontwikkeling en drinkwaterproductie - systematisch te verkennen. Hiertoe zijn ideeën voor de situering van het natuur- en drinkwaterwingebied op basis van de inzichten uit de landschapsanalyse geïntegreerd tot zogenaamde 'ruimtelijke modellen': planvoorstellen op een schaal 1: 50.000. Aan deze ruimtelijke modellen liggen diverse maatregelen voor de herordening van het grondgebruik, zoals besproken in § 3.3, ten grondslag. Het genereren van de ruimtelijke modellen komt overeen met het tweede divergentiepunt in het boomdiagram van figuur 6.2.

Het ontwerp van de ruimtelijke modellen is afgewisseld met een - zij het globale -



Figuur 6.2
Een schematische voorstelling van de werkwijze (links) en het daaraan verbonden keuzeproces (rechts) van de NADORST-studie. De werkwijze omvat een landschapsanalyse en twee ontwerp fasen op twee schaalniveaus.

Figure 6.2
A schematic representation of the planning procedure (left) and the related choices (right) of the NADORST-study. The procedure includes a landscape analysis and two design stages at different scales.

hydrologische evaluatie met het door Stalpers (1992) ontwikkelde computer model. Op deze wijze is - per ruimtelijk model - de nieuwe hydrologische situatie gekarakteriseerd. Vervolgens is nagegaan welke consequenties hieruit voortvloeien voor de voornaamste vormen van grondgebruik: drinkwaterproductie, natuur en landbouw. Deze evaluatie ligt vervolgens ten grondslag aan de keuze voor een nader uit te werken ruimtelijk model.

De planvorming op het operationele niveau

Het ruimtelijk model dat is gekozen in de eerste planvormingsfase is uitgewerkt tot een inrichtingsplan op schaal 1: 10.000. Bij dit ontwerp zijn keuzen gemaakt over de aard van het bodemgebruik, de wijze waarop water wordt geproduceerd en de inrichting van het oppervlaktewaterstelsel. In een cyclische afwisseling met de hydrologische evaluatie is een definitief inrichtingsvoorstel ontworpen. Vervolgens zijn hiervan de te verwachten hydrologische condities gesimuleerd en de voornaamste implicaties voor waterwinning, natuur en landbouw aangegeven.

De operationele planvorming wordt besloten met een schets van het toekomstige landschap bij uitvoering van het inrichtingsplan. Daar meerdere opties denkbaar zijn omtrent de wijze waarop de planvoorstellen in concrete ruimtelijke elementen worden uitgewerkt, is hier wederom een duidelijke keuze noodzakelijk. In § 6.4 komt deze keuze aan de orde.

De hydrologische evaluatie

Bij de hydrologische evaluaties is gebruik gemaakt van een op het pakket MODFLOWTM (MacDonald en Harbaugh, 1988) gebaseerd grondwaterstromingsmodel (Stalpers, 1992)³. Bij de planvorming op het strategische niveau is een relatief eenvoudige variant van het simulatie model toegepast. Het betreft een zogenaamde stationaire modellering van een gemiddelde winter- en een gemiddelde zomersituatie⁴. Hiermee kon binnen de beschikbare tijd een relatief groot aantal alternatieven hydrologisch worden geëvalueerd. De betreffende berekeningen, waarvan de resultaten zijn samengevat in § 6.3, zijn toegespitst op het bepalen van de orde van grootte van de hoeveelheid te winnen water per ruimtelijk model, waarbij de nieuwe ordening van het grondgebruik slechts op hoofdlijnen in het rekenmodel is ingebracht. Deze hoeveelheid is een van de belangrijkste criteria bij de keuze die in dit stadium van het onderzoek moet worden gemaakt.

In de operationele planvorming is de gekozen inrichting van het gebied gedetailleerd in termen van de stationaire modellen voor zomer en winter vertaald en op grond van de rekenresultaten in een cyclisch proces nader uitgewerkt. Daarbij zijn de invoervariabelen van de stationaire modellen herhaaldelijk gewijzigd en is gerekend, totdat de gewenste uitkomsten zijn bereikt (§ 6.4). Ten slotte zijn ook berekeningen uitgevoerd met de niet-stationaire variant van het grondwaterstromingsmodel⁵, met de definitieve inrichting als basis. De uitkomsten van die berekeningen zijn onder meer noodzakelijk voor de verkenning van de vegetatiekundige ontwikkelingsmogelijkheden van het plan.

Voor een uitgebreide beschrijving van de opzet en het gebruik van het MODFLOW rekenmodel in het NADORST project wordt verwezen naar Stalpers (1992), Stalpers en Van Buuren (1993) en Bijlage III.

De vegetatiekundige analyse

Bij de beoordeling van de nieuwe inrichting in de derde onderzoeksfase voor het aspect natuur staat een analyse van de vegetatiekundige potenties centraal. Daarmee wordt bedoeld het vertalen van na de ingrepen te verwachten (berekende en geschatte) standplaatscondities naar mogelijk tot ontwikkeling te brengen vegetatietypen (Jansen en Van Buuren, 1993)⁶. Deze analyse is gericht op grondwaterafhankelijke vegetaties die voorkomen wanneer de gemiddelde grondwaterstanden niet dieper wegzakken dan 1.5 m beneden maaiveld. Voor deze vegetaties zijn de belangrijkste standplaatscondities: het verloop van de grondwaterstand, de pH/basenverzadiging van de bodem en de mate van voedselrijkdom (zie Jansen en Van Buuren, 1993). Gezien de geringe kennis over voorkomen van grondwaterafhankelijke vegetaties in

relatie tot de mate van voedselrijkdom en over de effecten van ingrepen zoals voorgesteld in het NADORST-project is de analyse van de vegetatiekundige potenties gebaseerd op de twee eerstgenoemde standplaatscondities.

In een stapsgewijze methode wordt eerst bepaald welk(e) vegetatietype(n) kan (kunnen) ontstaan op basis van de voor de nieuwe inrichting berekende grondwaterstanden. Als het verloop daarvan potenties biedt voor meerdere vegetatietypen is een verdere analyse uitgevoerd op basis van de pH/baserverzadiging. De interpretatie van de grondwaterstanden verloopt via de door Jansen (1992, 1993) voorgestelde 'duurlijnen methode'. Waar nodig is op grond van kennis van de bodem, de hydrologie, het voorkomen van plantensoorten en literatuurgegevens de zuurgraad geschat en vergeleken met de voor grondwaterafhankelijke vegetatietypen bekende waarden. Tenslotte is bij de analyse een onderscheid gemaakt tussen bos- en kruidachtige vegetaties. Daarmee is een basis gelegd voor onderscheid bij een ontwikkeling met een extensief of juist een intensief beheer van de natuurgebieden.

De resultaten van de vegetatiekundige analyse worden besproken in § 6.4. Voor een uitgebreide behandeling van uitgangspunten, methoden en resultaten wordt verwezen naar Jansen en Van Buuren (1993) en Jansen (1993).

6.2 Het plangebied

6.2.1 De keuze en begrenzing van het plangebied

Het plangebied voor het NADORST-project (figuur 6.1) maakt deel uit van de grondwaterstromingsstelsels in de Sallandse Heuvelrug (figuur 4.15). Aan de west- en zuidzijde wordt het gebied begrensd door de grondwaterscheiding op de heuvelrug en van de stroomtakken van Rijssen (Gieske, 1990). De regionale drainage basis - het riviertje de Regge - vormt de noord-oostelijke gebiedsgrens. Deze begrenzing betekent dat het plangebied een hydrologische eenheid vormt.

De heuvelrug, waar de voornaamste infiltratiegebieden liggen, is grotendeels met bos en natuurterreinen bedekt. De vlakke, open gebieden aan de voet van de stuwwal - de (voormalige) kwelzones - zijn in landbouwkundig gebruik. Op de dekzandruggen langs de Regge waar Gieske (1990) een gesuperponeerd grondwaterstromingsstelsel onderscheidt, bevinden zich restanten van het hoevenlandschap met verspreide bebouwing en kleine landschapselementen. Aan de randen van het plangebied liggen een drietal plaatsen, waarvan met name Rijssen een aanzienlijke oppervlakte beslaat. Een aantal grote wegen en spoorlijnen doorsnijdt het gebied. Nabij Holten bevindt zich een grondwaterpompstation.

De keuze om dit gebied in beschouwing te nemen komt uit een aantal verschillende overwegingen voort. Aan de ene kant zijn dat de specifieke abiotische en grondgebruikskenmerken. De goede doorlatendheid van de gestuwde formaties, het grote hoogteverschil en de door de hoefijzervorm van de stuwwal gunstige oppervlakteverhouding tussen infiltratie- en exfiltratiegebieden, veroorzaken een hoge kweldruk in de lage(re) gebiedsdelen. Er is veel water beschikbaar op een relatief kleine oppervlakte kwelgebied, waardoor het te onttrekken landbouwareaal verhoudingsgewijs gering is. Bovendien leidt het grote aandeel natuur- en bosgebieden in de infiltratiezones (in combinatie met de verblijftijd in de ondergrond) tot een zeer goede kwaliteit van het kwelwater. Hiermee lijkt een basisvoorwaarde vervuld om duurzaam een hoge kwaliteit van het te produceren water te kunnen waarborgen.

De tweede overweging voor de gebieds keuze is beleidsmatig van aard. In het Natuurbeleidsplan (Anonymus, 1989-a) zijn het kwelgebied en het dal van de Regge als natuurontwikkelingsgebieden aangeduid. Deze aanspraken worden gelijktijdig met het landinrichtingsproject 'Rijssen' nader begrensd⁷. Bovendien dreigt in de regio Twente een tekort aan mogelijkheden voor de winning van drinkwater. Een toename van de productie uit de Holterberg - aanvullend op de reeds bestaande capaciteit van 2,5 miljoen m³ per jaar - past niet in het anti-verdrogingsbeleid van de provincie. Naar alternatieve mogelijkheden zonder verdrogende effecten wordt dan ook naarstig gezocht.

6.2.2 De landschapsanalyse

De geologische genese

De processen in de Tertiaire en Kwartaire geologische perioden als beschreven in hoofdstuk 4 zijn bepalend voor de opbouw en (macro) morfologie van het plangebied: gestuwde (deels grofzandige) formaties, doorsneden door een fijnvertakt patroon van (smeltwater) erosiedalen, met aan de voet daarvan een laagte met hier en daar dekzandruggen en koppen tot aan het markante dal van de Regge (figuur 6.3). Het vochtige klimaat van het Holoceen, nog gestimuleerd door het verdwijnen van het oerbos, heeft in de vlakke laagten geleid tot de vorming van (hoogveen)moerassen. Door overstromingen van de Regge is plaatselijk een laag klei op de zandbodems afgezet.

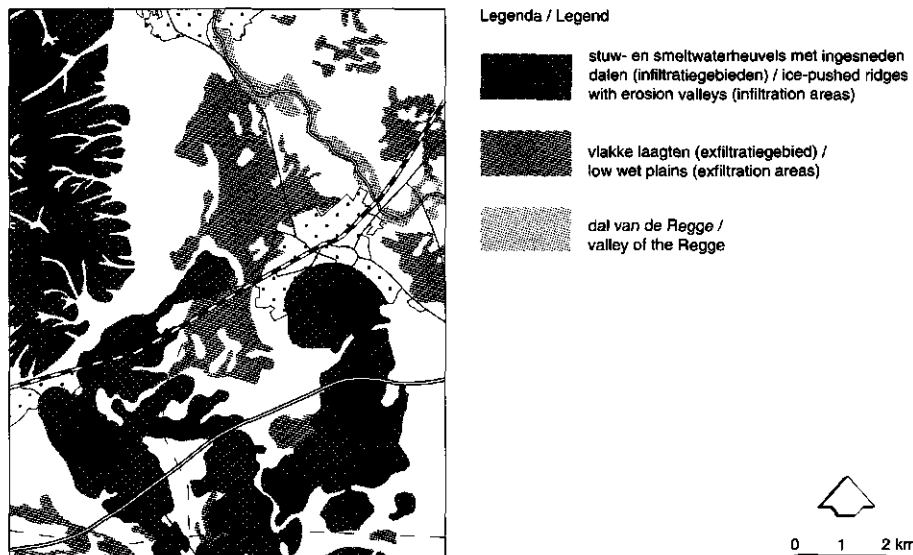
De occupatie

De oudste kaarten van het studiegebied weerspiegelen het landschap zoals dat ten tijde van het essen-landbouwsysteem is gevormd. De eerste nederzettingen en akkers zijn ontstaan op de flanken van de stuwwallen en op de relatief hogere dekzandruggen en -koppen langs de Regge (figuur 6.4-a). Hier zijn de enkeerdgronden gevormd. De beekeerdgronden in het Reggedal boden ruimte voor weide- en hooilanden. Deze cultuurgronden liggen als eilanden temidden van de uitgestrekte, open heidevelden en veengebieden (respectievelijk de podzol- en veenbodems).

De ontwikkelingen in landbouw en industrie aan het einde van de negentiende en in de twintigste eeuw leidden tot grote veranderingen in het gebied (figuur 6.4-b). De natte, woeste gronden zijn ontgonnen voor de landbouw. Het open, onbebouwde karakter van de vlakke laagte bleef daarbij grotendeels gehandhaafd. Op de woeste gronden van de stuwwal werd naaldhout aangeplant of vond spontane bosopslag plaats doordat het traditionele gebruik (begrazing met schapen) verdween. Het niet-agrarisch ruimtebeslag is sterk toegenomen. Het meest opvallend daarbij is de uitbreiding van de bebouwing en van het infrastructurele netwerk.

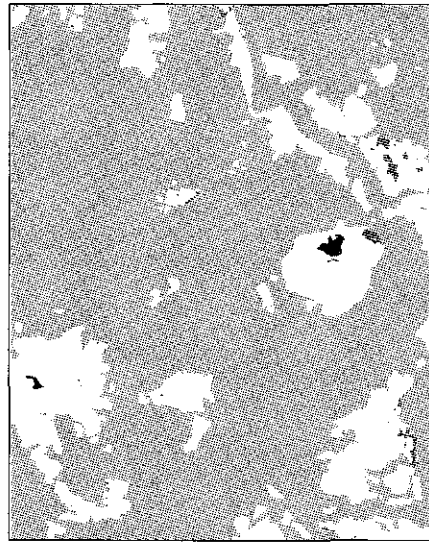
Een ecologische typering van het gebied

Het uitgesproken reliëf, de hydrologische condities en de bodemkundige opbouw leiden tot een grote rijkdom aan gradiënten in het gebied. Deze komen - in verband met het intensieve grondgebruik - evenwel nauwelijks in de flora en fauna tot uitdruk-



Figuur 6.3
De landschapsanalyse van de NADORST-studie: de morfologie van het gebied wordt gedomineerd door de stuwwallen, het dal van de Regge en de daartussen gelegen (natte) laagte.

Figure 6.3
The landscape analysis in the NADORST-study: the morphology of the area is dominated by the ice-pushed ridges, the valley of the Regge and the low, wet plain in between.

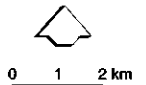
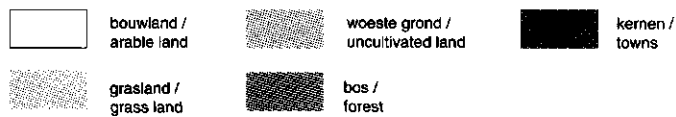


a. grondgebruik in 1783 / land use in 1783



a. grondgebruik in 1984 / land use in 1984

Legenda / Legend



Figuur 6.4

De landschapsanalyse van de NADORST-studie: het grondgebruik in het studiegebied in 1783 (a) en 1984 (b) weerspiegelen ingrijpende ruimtelijke veranderingen.

Figure 6.4

The landscape analysis in the NADORST-study: the land-use in the study area of 1783 (a) and 1984 (b) reflect radical spatial transformations.

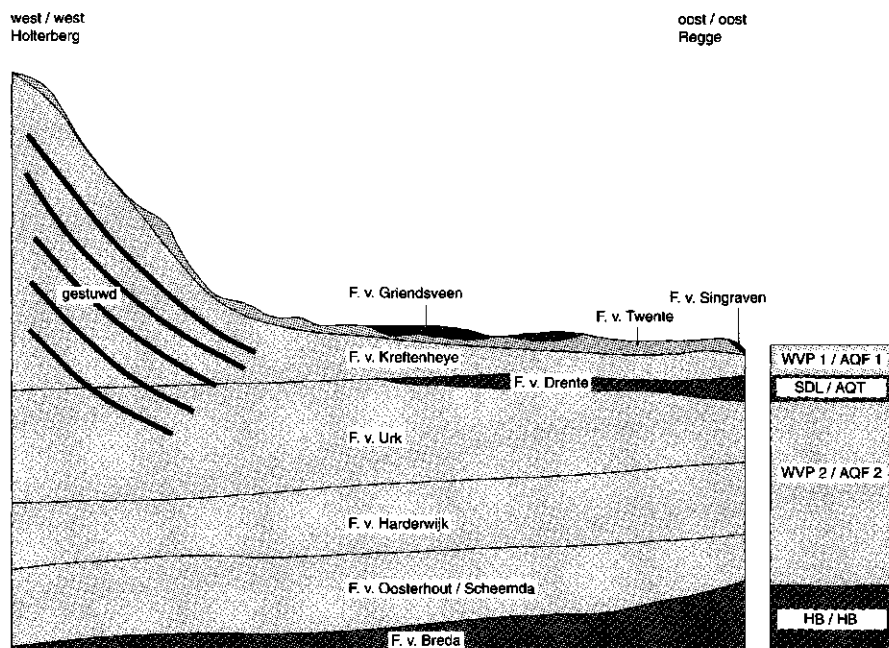
king. Het gaat dan ook om potentiële situaties. De belangrijkste actuele waarde van het plangebied wordt gevormd door het uitgebreide complex van (naald)bossen en deels vergraste heideterreinen op de stuwwallen. Buiten deze droge terreinen bieden de broekbossen en graslanden van de Zunasche Heide ruimte aan bijzondere vegetaties. In het eigenlijke (voormalige) kwelgebied komen alleen langs de slootkanten floristisch interessante begroeiingen voor.

6.2.3 De hydrologische analyse

De historische situatie

De geologische ontstaansgeschiedenis geeft aanleiding tot een geohydrologische schematisatie waarbij in het grootste deel van het plangebied één watervoerend pakket wordt onderscheiden (figuur 6.5). In noord-oostelijke richting geven de slecht doorlatende afzettingen uit het Pleistoceen van ná de landijsbedekking (Formatie van Drenthe) aanleiding tot het onderscheid van twee watervoerende pakketten. Naar het westen toe worden de als hydrologische basis te beschouwen tertiaire kleien op steeds grotere diepte aangetroffen. Samen met de zandige stuwwallen leidt dit in die richting tot een steeds dikker watervoerend pakket.

Vanaf de infiltratiegebieden op de (flanken van de) stuwwallen stroomt het grondwater in overwegend noord-oostelijke richting naar de aangrenzende laagten en naar het dal van de Regge (figuur 6.6). Binnen dit regionale stromingsstelsel zijn diverse onderdelen te onderscheiden op grond van het voorkomen van secundaire grondwaterscheidingen. Zo kan er een onderscheid worden gemaakt tussen de stroomtakken van de Noetselerberg, de Holterberg, de Zuurberg, de Friezenberg en de Rijsserberg (Gieske, 1990). De gunstige condities voor grondwaterstroming - een zandig ontwikkeld, relatief diep watervoerend pakket - leiden ertoe dat het neerslagoverschot hier voornamelijk via grondwaterstroming wordt afgevoerd. De ingesneden beekdalen zijn dan ook voor het grootste gedeelte niet watervoerende, droge dalen⁸. Het gesuperponeerde reliëf



Figuur 6.5
De hydrologische analyse van de NADORST-studie: de geologische formaties en geohydrologische schematisatie van het gebied in watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen boven de hydrologische basis.

Figuur 6.5
The hydrological analysis of the NADORST-study: the geological formations and the geohydrological schematization in aquifers and aquitards on top of the hydrological base.

Bron / Source : Haak, 1985 en Ebbens en Viscbers, 1983.

van dekzandruggen en -koppen leidt tot lagere orde stromingsstelsels, waarvan die bij Zuna (Gieske, 1990) de voornaamste is.

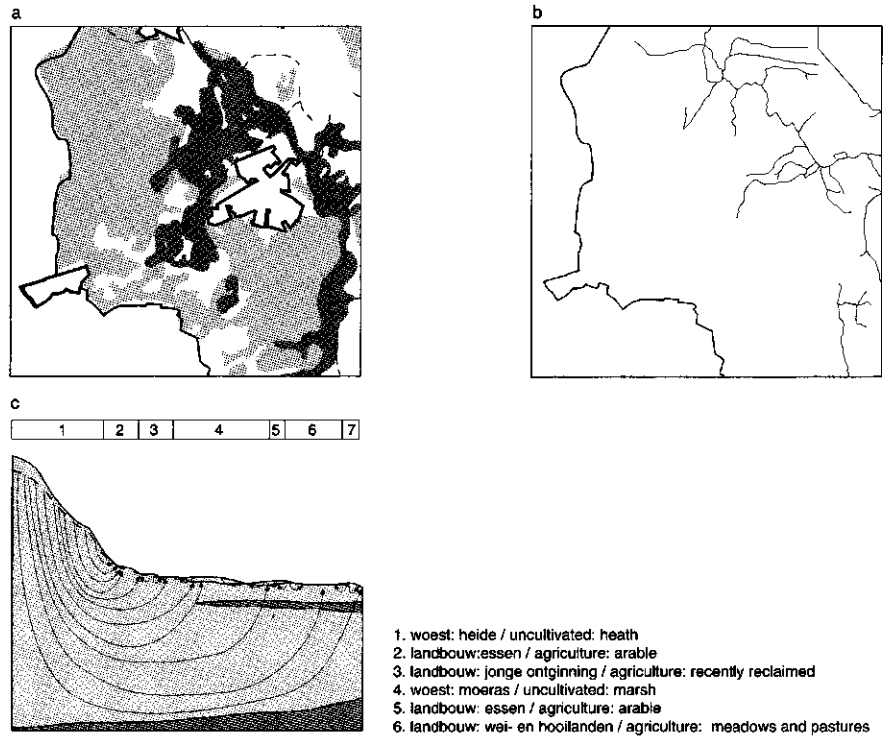
In de kwel- of exfiltratiegebieden komt het grondwater tot in en aan het maaiveld. De permanent natte condities hebben geleid tot het ontstaan van veen- en moerasgebieden. De historische kaarten, maar ook de bodemkaart 1:10.000 doet vermoeden dat hier enige (veen)stroompjes tot ontwikkeling zijn gekomen⁹. Langs de Regge trad veelvuldig inundatie op, getuige de gronden met een kleidek die hier worden aangetroffen. Ook op plekken waar de afvoer van water stagneerde zijn veengebieden ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan in het studiegebied treffen we aan in een komvormige laagte tussen de Zuurberg en de Friezenberg; het Elsenerveen. Een leemlaag in de ondergrond belemmert hier de grondwaterafvoer.

De huidige situatie

De ontwikkelingen in het grondgebruik sinds het begin van de 19e eeuw, met name de ontginning van de veengebieden, de intensivering van het landbouwkundig grondgebruik, de uitbreiding van het urbane gebied, de start van de grondwaterwinning op de Holterberg en de bosontwikkeling op een groot deel van de infiltratiegebieden, hebben een grote invloed uitgeoefend op de kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen van de hydrologische landschapsstructuur. In figuur 6.7 is de huidige situatie getypeerd.

Daling van de grondwaterstanden

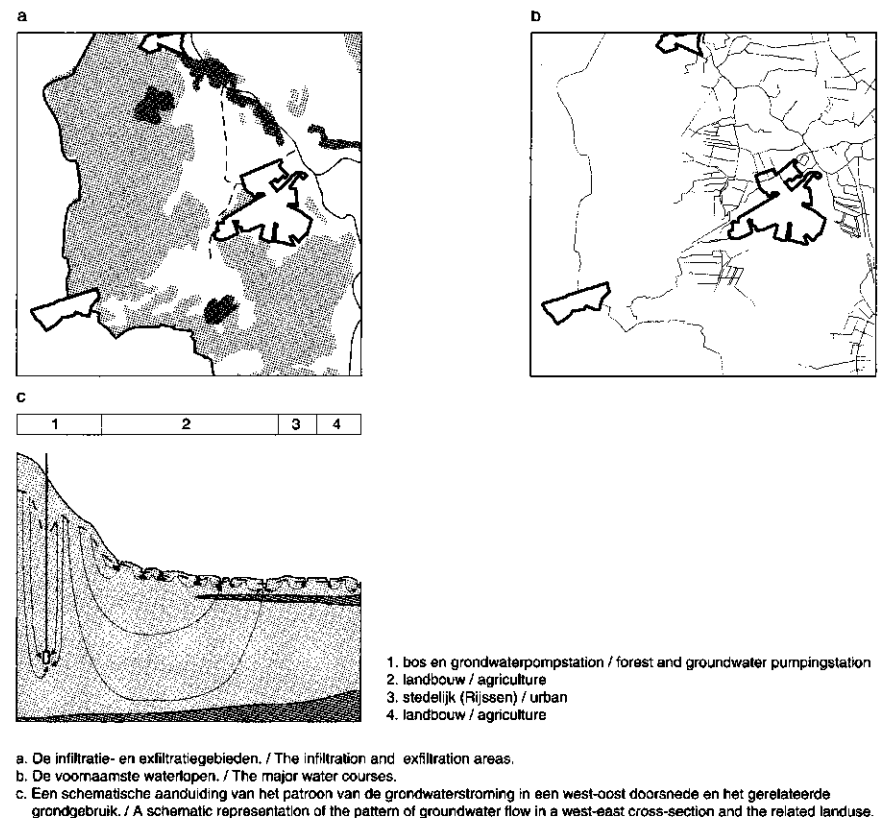
De ontginning van de veengebieden - eerst op kleine schaal ten behoeve van de turfwinning, later meer systematisch voor de uitbreiding van het cultuurland - en de intensivering van het landbouwkundig grondgebruik is gepaard gegaan met de aanleg van een intensief ont- en afwateringsstelsel (figuur 6.7). De uitgangen van de grondwaterstromingsstelsels vallen nu grotendeels samen met de diep ingegraven waterlopen.



a. De infiltratie- en exfiltratiegebieden. / The infiltration and exfiltration areas.
 b. De voornaamste waterlopen. / The major water courses.
 c. Een schematische aanduiding van het patroon van de grondwaterstroming in een west-oost doorsnede en het gerelateerde grondgebruik. / A schematic representation of the pattern of groundwater flow in a west-east cross-section and the related landuse

Figuur 6.6 De hydrologische analyse van de NADORST-studie: een typering van de hydrologische landschapsstructuur in de historische situatie.

Figure 6.6 The hydrological analysis of the NADORST-study: a characterization of the hydrological landscape structure in the historic situation.



a. De infiltratie- en exfiltratiegebieden. / The infiltration and exfiltration areas.
 b. De voornaamste waterlopen. / The major water courses.
 c. Een schematische aanduiding van het patroon van de grondwaterstroming in een west-oost doorsnede en het gerelateerde grondgebruik. / A schematic representation of the pattern of groundwater flow in a west-east cross-section and the related landuse.

Figuur 6.7 De hydrologische analyse van de NADORST-studie: een typering van de hydrologische landschapsstructuur in de huidige situatie.

Figure 6.7 The hydrological analysis of the NADORST-study: a characterization of the hydrological landscape structure in the present situation.

Kwelterschijnselen blijven bijgevolg beperkt tot slootranden en enige plekken in de allerlaagste terreingedeelten. Een tweede belangrijke factor die tot daling van de grondwaterstanden heeft geleid is het pompstation op de Holterberg, waar gemiddeld zo'n 2,5 miljoen m³ per jaar wordt gewonnen. Deze winning heeft ook een aanzienlijk effect op het patroon van grondwaterstroming. Gieske (1990) spreekt in dit verband van een nieuw, kunstmatig grondwaterstromingsstelsel, dat zich deels ook ten westen van de oorspronkelijke grondwaterscheiding manifesteert. De diepe grondwaterstroming naar het dal van de Regge wordt in de directe omgeving van de winputten afgevangen. Elders zijn deze diepe stroomtakken nog wel aanwezig. Op kleinere schaal draagt de winning van grondwater voor industriële en agrarische doelen bij aan het verdrogingsvraagstuk. Tenslotte hebben ook het toegenomen areaal verharde oppervlak en naaldbos aanzienlijke hydrologische effecten.

De kwaliteit van het water

De toegenomen intensiteit van het grondgebruik heeft voorts gevolgen voor de samenstelling of kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Beoordeeld naar de I.M.P.-normen voor zuurstofhuishouding en biologische kwaliteit werd het water in de Regge in 1987 in klasse 3 ("matig") ingedeeld. De Maatgraven scoorde in dat jaar respectievelijk klasse 2 ("goed") voor wat betreft de zuurstofhuishouding in klasse 3 ("matig") voor de biologische kwaliteitsbeoordeling (Anonymus, 1989-b). De relatief goede kwaliteit van het water in de Maatgraven kan - ondanks de hoge gebruiksintensiteit - verklaard worden uit de toestroming van (diep) grondwater van hoge kwaliteit. Dit is immers voor een groot deel afkomstig uit onder bos-en natuurgebied gelegen infiltratiegebieden.

6.3 De planvorming op het strategisch niveau: ruimtelijke modellen

6.3.1 Een uitwerking van de hoofddoelstelling

De planvorming, en met name de evaluatie van planvoorstellen daarbinnen, behoeft een uitwerking van het globale hoofddoel omtrent de combinatie van drinkwaterproductie en de ontwikkeling van natte natuurgebieden¹⁰. Voor zowel de drinkwaterproductie als de natuurontwikkeling zijn hiertoe subdoelstellingen opgesteld. Deze subdoelstellingen worden bij de evaluatie op zowel het strategische als het operationele planvormingsniveau opgevat als voorwaarden die vervuld moeten worden. Voor de drinkwaterproductie luiden de subdoelstellingen:

- het realiseren van een constante winning van tenminste 1 miljoen m³ op jaarbasis. Deze hoeveelheid wordt beschouwd als ondergrens voor een economisch rendabele exploitatie van het wingebed;
- het duurzaam waarborgen van de kwaliteit van het gewonnen water. Hierin wordt voorzien door een zodanige inrichting van het plangebied, dat het gewonnen water afkomstig is uit natuurgebieden;
- het toepassen van waterwintechnieken die perspectief bieden voor het creëren van gunstige voorwaarden voor herstel of ontwikkeling van (natte) natuurgebieden;
- het gebruiken van 'gebiedseigen' water, dat wil zeggen dat er voor de drinkwaterproductie wordt geput uit het neerslagoverschot van het plangebied. De achtergrond hiervan vormt het gegeven dat in het NADORST-project de natuurlijke waterkringloop als uitgangspunt wordt beschouwd.

Overigens wordt bij de planvorming er van uitgegaan dat de bestaande grondwaterwinning nabij Holten gehandhaafd blijft.

Uit het oogpunt van de natuurontwikkeling zijn als subdoelen uitgewerkt:

- het scheppen van gunstige condities voor de ontwikkeling van natte natuurgebieden. Feitelijk impliceert dit het vernatten van een deel van het plangebied, opdat een substantiële uitbreiding, c.q. een herstel, plaats kan vinden van het areaal met permanent hoge grondwaterstanden;
- het veiligstellen en ontwikkelen van gradiënten: ruimtelijk continue zones waarin op

- betrekkelijk korte afstand een grote differentiatie aan milieucondities worden aangetroffen;
- het ontwikkelen van grote, aaneengesloten eenheden natuurgebied. De achtergrond hiervan is dat dergelijke eenheden goed beheersbaar zijn en invloeden van buitenaf relatief goed kunnen opvangen.

6.3.2 Het ontwerp van de ruimtelijke modellen

Het basisidee dat aan het NADORST-project ten grondslag ligt is eenvoudig: ontwikkel het kwelgebied - of een voldoende groot deel daarvan - tot een nat natuurgebied en benut het daaruit afstromende, schone water voor de drinkwaterproductie. Als onderdeel van de planvorming op het strategisch niveau zal in eerste instantie de aandacht zijn gericht op twee cruciale factoren voor de realisering van dit basisidee. Dit zijn respectievelijk de situering en de omvang van het te ontwikkelen natuur- en drinkwaterwingebied. Door systematisch deze twee factoren te variëren zijn de ontwikkelingsmogelijkheden van het plangebied verkend.

De situering van het natuur- annex waterwingebied

Bij de situering van het toekomstige natuur- en waterwingebied is de ligging in de hydrologische landschapsstructuur het voornaamste punt van aandacht. Deze ligging is bepalend voor de mate waarin via de stroming van grond- of oppervlaktewater verontreinigende invloeden uit de omliggende gebieden kunnen worden verwacht. Bij de (her)ordering van het grondgebruik als onderdeel van het ontwerp van de ruimtelijke modellen zijn in dit verband twee verschillende uitgangspunten gehanteerd:

- of er wordt a priori uitgegaan dat het totale bovenstroomse gebied (voor zowel grond- als oppervlaktewater) als natuurgebied wordt bestemd. Hiermee wordt beoogd de waterkwaliteit in het natuur- annex waterwingebied duurzaam te kunnen waarborgen;
- of het bovenstroomse gebied mag deels ook een agrarische of urbane bestemming krijgen. Hierbij moet de beïnvloeding van de waterkwaliteit en de droogteschade in de landbouw via inrichtingsmaatregelen worden voorkomen.

De omvang van het natuur- annex waterwingebied

Voor de omvang van het te begrenzen natuur- en waterwingebied zijn de voornemens in de beleidsmatige discussies omtrent het aan de landbouw voor natuurontwikkeling te onttrekken areaal als grenzen aangenomen. Een bovengrens kan aan de aanspraken uit het Natuurbeleidsplan worden ontleend. Hierin wordt de gehele landbouwkundig gebruikte oppervlakte in het plangebied als natuurgebied aangemerkt. Het areaal zoals voorgesteld in het concept 'Begrenzingsplan voor de landinrichting Rijssen' (Anonymus, 1992) is als ondergrens gehanteerd. In dit begrenzingsplan is een voorstel gedaan voor uitwerking van aanspraken uit het Natuurbeleidsplan in het kader van de voorbereiding van het landinrichtingsproject 'Rijssen'. Het gaat daarbij om een oppervlakte van circa 400 ha. Een definitieve begrenzing heeft nog niet plaatsgevonden.

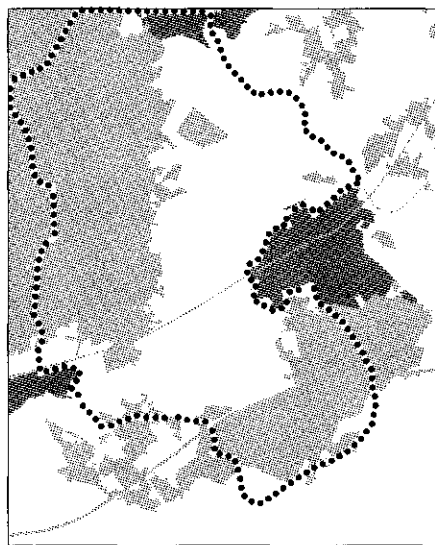
De ruimtelijke modellen

Uiteindelijk zijn door combinatie van bovenstaande overwegingen over situering en omvang een groot aantal ruimtelijke modellen ontworpen. De vier modellen van figuur 6.8 spannen het scala aan mogelijke ontwikkelingsrichtingen van het plangebied op. De eerste twee modellen (figuren 6.8-a en 6.8-b) zijn gebaseerd op het eerste, hierboven besproken uitgangspunt over de situering van het natuur- en waterwingebied in de hydrologische landschapsstructuur. Beide gaan uit van een zodanige ordening van het grondgebruik dat geen problemen met de waterkwaliteit worden verwacht. Het totale herkomstgebied van grond- en oppervlaktewater maakt deel uit van het natuur- en waterwingebied.

In het model Maximaal is het totale plangebied als gecombineerd natuur- en waterwingebied aangewezen. Hierbij heeft een (her)ordering van het grondgebruik plaats gevonden als geschematiseerd in figuur 3.9-a: herordering gebaseerd op gehele regionale en daarop gesuperponeerde grondwaterstromingsstelsels. In het model Zunasche Heide is de noordelijke stroomtak binnen het regionale grondwaterstromingsstelsel als

gecombineerd natuur- en waterwingebied aangeduid. Dit impliceert de toepassing van herordening gebaseerd op de diverse stroomtakken binnen de (regionale) stelsels (figuur 3.9-d).

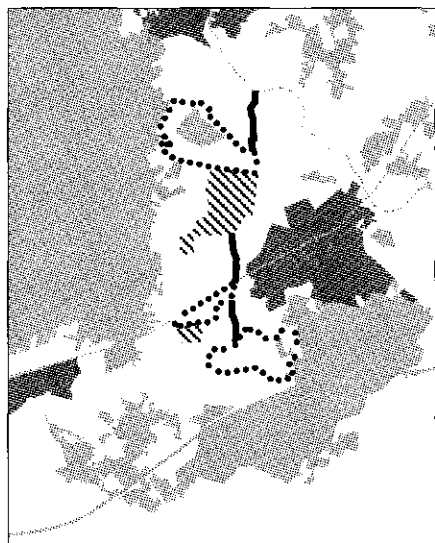
De twee resterende modellen zijn opgesteld binnen het tweede, hierboven besproken uitgangspunt over de situering van het natuur- en waterwingebied, dus zonder de a priori voorwaarde over de bestemming van het herkomstgebied. Het model Begrenzungenplan (figuur 6.8-c) is een interpretatie van de beleidsmatig voorgestelde begrenzing van de relatienota- en natuurontwikkelingsgebieden (Anonymus, 1991). Hierbij is voorgesteld deze gebieden met elkaar te verbinden door een langgerekte zone waarin de feitelijke waterwinning is gedacht. In model Kwelgebied (figuur 6.8-d) is het totale (voormalige) kwelgebied in de vlakte aan de voet van de stuwwal als



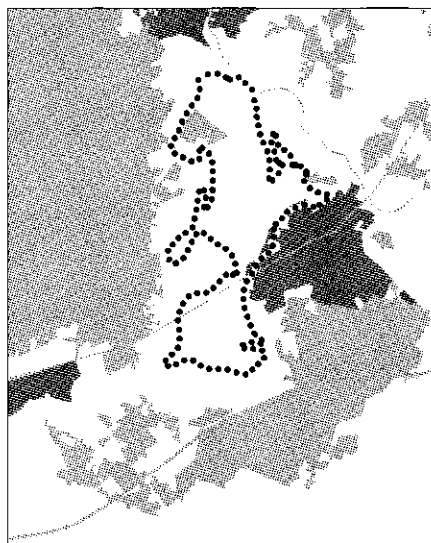
a. Model "Maximaal", gebaseerd op de aanduiding van het regionale grondwaterstromingsstelsel als natuur- en waterwingebied, beslaat het totale studiegebied. / Model "Maximaal" (maximum), is based on the designation of the regional groundwater flow system, it includes the complete study area.



b. Model "Zunasche Heide" gebaseerd op de aanduiding van de noordelijke stroomtak van het regionale stelsel rond het gebied Zunasche Heide als natuur- en waterwingebied. / Model "Zunasche Heide", based on the designation of the northern flow branch of the regional system around the Zunasche Heide area.



c. Model "Begrenzungenplan", gebaseerd op de aanduiding van het gebied dat in het kader van de ruilverkaveling "Rijssen" voor natuurontwikkeling en -bescherming is aangemerkt. / Model "Begrenzungenplan", based on the designation of the areas that have been proposed to become nature reserves in the land consolidation project in the area.



d. Model "Kwelgebied", gebaseerd op de aanduiding van de gehele kwelzone in het centrum van het studiegebied als natuur- en waterwingebied. / Model "Kwelgebied" (exfiltration area), based on the designation of the exfiltration zone in the centre of the study area.

Figuur 6.8
Ontwerpfase I van de NADORST-studie: de ruimtelijke modellen waarin het te ontwikkelen natuur- en waterwingebied is begrensd.

Figure 6.8
Design stage I of the NADORST-study: the so-called 'spatial models' with the designation of the intended nature area and combined drinking-water production site.

gecombineerd natuur- en waterwingebied begrensd. De agrarisch gebruikte zone langs de bosrand - bovenstrooms van het kwelgebied - blijft daarbij gehandhaafd. Van de vier ruimtelijke modellen zijn de hydrologische karakteristieken geëvalueerd en de consequenties voor de belangrijkste vormen van grondgebruik beschreven.

6.3.3 De hydrologische evaluatie van de ruimtelijke modellen

Bij de hydrologische evaluatie zijn - per ruimtelijk model - de belangrijkste veranderingen ten opzichte van de uitgangstoestand in termen van de stationaire versies van het MODFLOW rekenmodel 'vertaald'. Deze veranderingen betreffen de modellering van het oppervlaktewaterstelsel en de verdampingskarakteristieken van de nieuwe natuurgebieden. Een (nieuwe) winning is nog niet in de modellen opgenomen. Overigens zijn geen wijzigingen in het simulatiemodel aangebracht. Vervolgens zijn de te verwachten hydrologische condities gesimuleerd.

Het oppervlaktewaterstelsel

Bij het modelleren van het oppervlaktewaterstelsel is er van uitgegaan dat in de nieuwe - te vernatten - natuurgebieden de bestaande waterlopen komen te vervallen. De afvoer van het oppervlakkige overschot uit deze gebieden wordt in het model gesimuleerd via een 'drainage-functie op maaiveld'. Dit wil zeggen dat er in het computer-model een denkbeeldige drain op maaiveldshoogte wordt gesimuleerd die het water afvoert dat - berekend door het model - boven maaiveld uit zou komen.

De verdamping

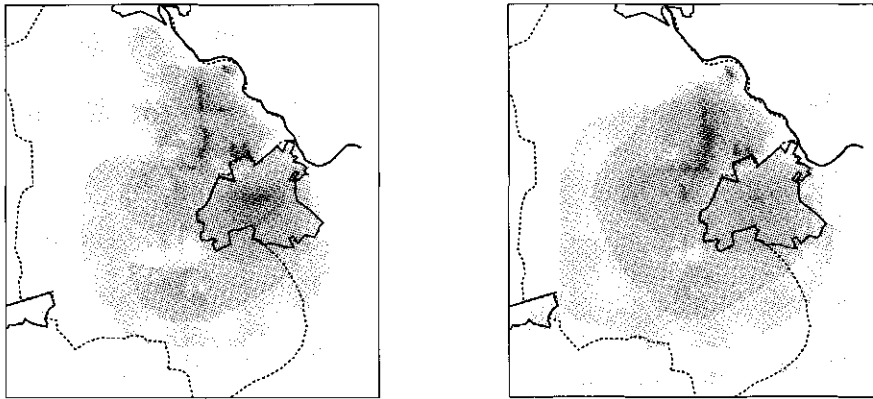
De toename van het areaal natuurgebieden, waarin bovendien een belangrijke vernatting van het milieu verwacht kan worden, heeft belangrijke veranderingen tot gevolg voor de verdamping, c.q. de grondwateraanvulling in de betreffende gebieden. In deze natte gebieden zal een vegetatietype tot ontwikkeling komen met een veel hogere verdamping dan in de huidige situatie met overwegend grasland. Bij de MODFLOW-berekeningen is voor deze gebieden de verdampingsfactor¹¹ dan ook veranderd van 0.6 (voor grasland) in 0.95 (voor natte natuurterreinen; Stalpers en Van Buuren, 1993). Voor het infiltratiegebied is aangenomen dat geen noemenswaardige veranderingen zullen optreden. In deze gebieden zijn verdamping en grondwateraanvulling ten opzichte van de uitgangssituatie dan ook niet gewijzigd. Van belang in dit verband is voorts het aanduiden van de (potentieel) natte gebieden waarop de hogere verdampingsfactor betrekking heeft. In eerste instantie is hiervoor uitgegaan van de (voorheen) natte plekken, waar een grondwatertrap III of natter kon worden aangetroffen. Vervolgens is - na het doorrekenen met MODFLOW - nagegaan in hoeverre er in het betreffende ruimtelijk model op die plekken ook daadwerkelijk natte milieucondities kunnen worden verwacht. De hiervoor aangelegde criteria zijn voor respectievelijk het zomer- en het winterhalfjaar de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) van de grondwatertrap III; dat wil zeggen grondwaterstanden hoger dan 40, respectievelijk 60 cm beneden maaiveld. Werd niet aan deze criteria voldaan, dan heeft een bijstelling van de invoer van de verdampingsfactoren plaats gevonden. Deze iteratie is net zolang doorgevoerd tot dat ingevoerde en berekende 'natte plekken' met elkaar in overeenstemming waren.

De nieuwe hydrologische condities

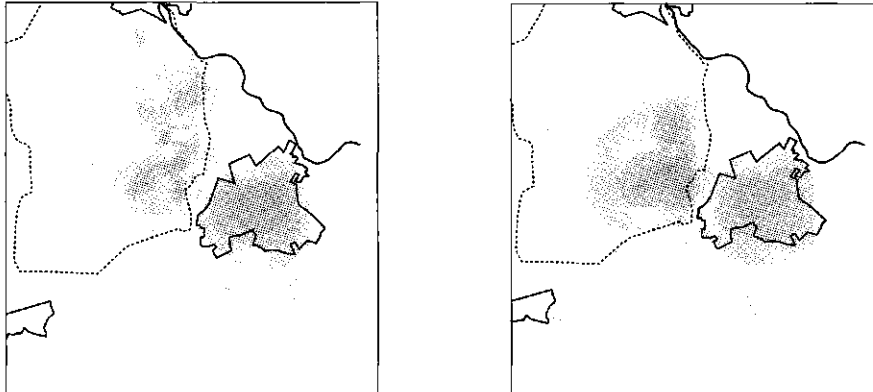
De berekeningen met de stationaire versies van het MODFLOW model duiden - voor alle modellen - op een vernatting ten opzichte van de uitgangssituatie (figuur 6.9). Zowel de absolute waarden daarvan als de betrokken arealen variëren per model. Voor deze factoren kan de volgende oplopende reeks worden afgeleid: Begrenzingsplan, Zunasche Heide, Kwelgebied, Maximaal. In de laatste twee modellen worden verhogingen tot 0.8 m berekend.

6.3.4 De evaluatie van het grondgebruik

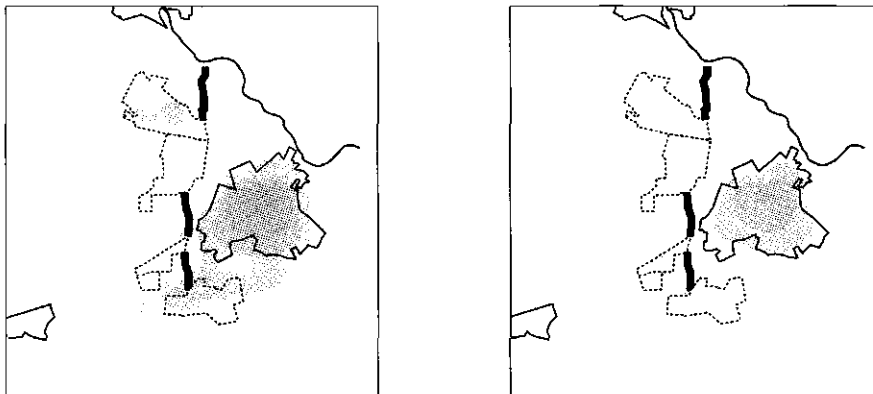
Deze evaluatie betreft een globale beoordeling van de gevolgen van de ruimtelijke



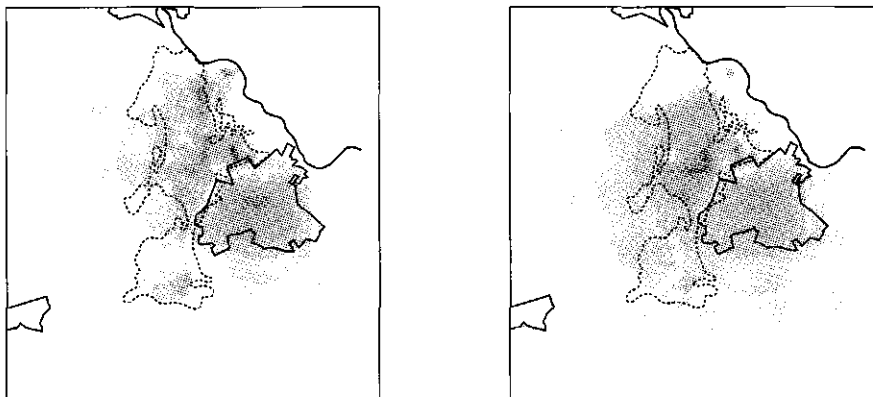
a. Grondwaterstandsverhogingen ten gevolge van Model "Maximaal" voor winter (links) en zomer (rechts). / Raise of groundwater tables caused by Model "Maximaal" for the winter (left) and the summer (right) situations.



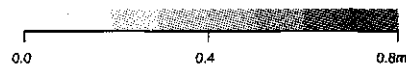
b. Grondwaterstandsverhogingen ten gevolge van Model "Zunusche Heide" voor winter (links) en zomer (rechts). / Raise of groundwater tables caused by Model "Zunusche Heide" for the winter (left) and the summer (right) situations.



c. Grondwaterstandsverhogingen ten gevolge van Model "Begrenzenplan" voor winter (links) en zomer (rechts). / Raise of groundwater tables caused by Model "Begrenzenplan" for the winter (left) and the summer (right) situations.



d. Grondwaterstandsverhogingen ten gevolge van Model "Kwelgebied" voor winter (links) en zomer (rechts). / Raise of groundwater tables caused by Model "Kwelgebied" for the winter (left) and the summer (right) situations.



Figuur 6.9
Ontwerpfase I van de NADORST-studie: de hydrologische evaluatie. De nieuwe hydrologische condities zijn getypeerd per ruimtelijk model via de berekende grondwaterstandsverhogingen in de winter en de zomer.

De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{em} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.9
Design stage I of the NADORST-study: the hydrological evaluation. The new hydrological conditions caused by the spatial models expressed by the computed raise of groundwater tables in winter and summer.

The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{em} package.

modellen voor de meest relevante vormen van grondgebruik: drinkwaterwinning, natuur en landbouw. De basis voor de evaluatie is de te verwachten nieuwe hydrologische situatie.

Drinkwaterwinning

De hoeveelheid water die per ruimtelijk model kan worden gewonnen is in dit verband het cruciale gegeven. Als - ook uit ecologisch perspectief verantwoorde - winbare hoeveelheid water is hier het zogenaamde oppervlakkig overschot uit de natuurgebieden aangemerkt. Dit is het water dat ook onder meer 'natuurlijke' condities deze zwak hellende gebieden - na verdamping, et cetera - als oppervlaktewater zou verlaten. Deze winbare hoeveelheid is via massabalansberekeningen in MODFLOW benaderd door na te gaan hoeveel water er 'overblijft' in de modelementen van het natuurgebied waar waterstanden boven maaiveld worden berekend.

De samenvatting van deze berekeningen in tabel 6.1 brengt aanzienlijke verschillen tussen de ruimtelijke modellen aan het licht. In alle gevallen worden de jaartotalen voornamelijk door de winterhoeveelheid bepaald. Voor het realiseren van een constante winning zonder noemenswaardige verdrogingseffecten moet tweemaal de zomerhoeveelheid als maatgevend worden beschouwd. De modellen Begrenzingsplan en Zunasche Heide voldoen dan niet aan het hiervoor te hanteren criterium voor economische exploitatie (minimaal 1 miljoen m³ constant - dat wil zeggen gelijkelijk verdeeld over het winter- en het zomerhalfjaar - te winnen).

Natuur

Naast de omvang en de ruimtelijke configuratie van de (nieuwe) natuurgebieden zijn de daarbinnen te verwachten hydrologische condities een onderscheidend gegeven bij vergelijking van de modellen. Per model zijn deze condities, op basis van een eenvoudige typering, in kaart gebracht (figuur 6.10). De grootste arealen met natte tot zeer natte gebieden komen voor in de modellen Maximaal en Kwelgebied. Opvallend is hierbij het grote verschil tussen de modellen Kwelgebied en Begrenzingsplan. Hoewel een groot deel van de nieuwe natuurgebieden hier overeenkomt, is het aandeel natte tot zeer natte gebieden in het eerstgenoemde model aanzienlijk groter. De macrogradiënt van stuwwal tot Reggedal zal in model Maximaal volledig tot ontwikkeling kunnen komen. In model Kwelgebied is de koppeling tussen de natuurgebieden op de stuwwal en het nieuwe natte natuurgebied zwak. Microgradiënten op basis van de detailpatronen van ruggen en laagten zijn in alle modellen voorhanden.

Landbouw

Naast de te onttrekken oppervlakte, de relatie daarvan met de ligging van de boerderijen en de versnippering van het landbouwareaal is de ontwateringssituatie van de resterende landbouwgebieden in dit verband belangrijk. In de kaarten van figuur 6.11 zijn hiertoe het totale landbouwareaal en de agrarisch als 'te nat' te interpreteren gronden daarbinnen weergegeven. Hoewel vernatting naast negatieve in specifieke gevallen ook positieve effecten kan hebben - door een vermindering van de droogteschade - wordt in dit kader alleen ingegaan op een aanduiding van de als 'te nat' te beschouwen landbouwgronden. In het landbouwstructuuradvies ten behoeve van de landin-

Seizoen / Season	Winbare hoeveelheid in miljoenen m ³ (percentage van totaal) / Yield in millions of m ³ (percentage of total amount)			
	Maximaal	Kwelgebied	Zunasche Heide	Begrenzingsplan
winter / winter	4.13 (79%)	3.48 (81%)	1.32 (87%)	0.80 (85%)
zomer / summer	1.12 (21%)	0.80 (19%)	0.20 (13%)	0.14 (15%)
totaal / total	5.25 (100%)	4.28 (100%)	1.52 (100%)	0.94 (100%)

Tabel 6.1.

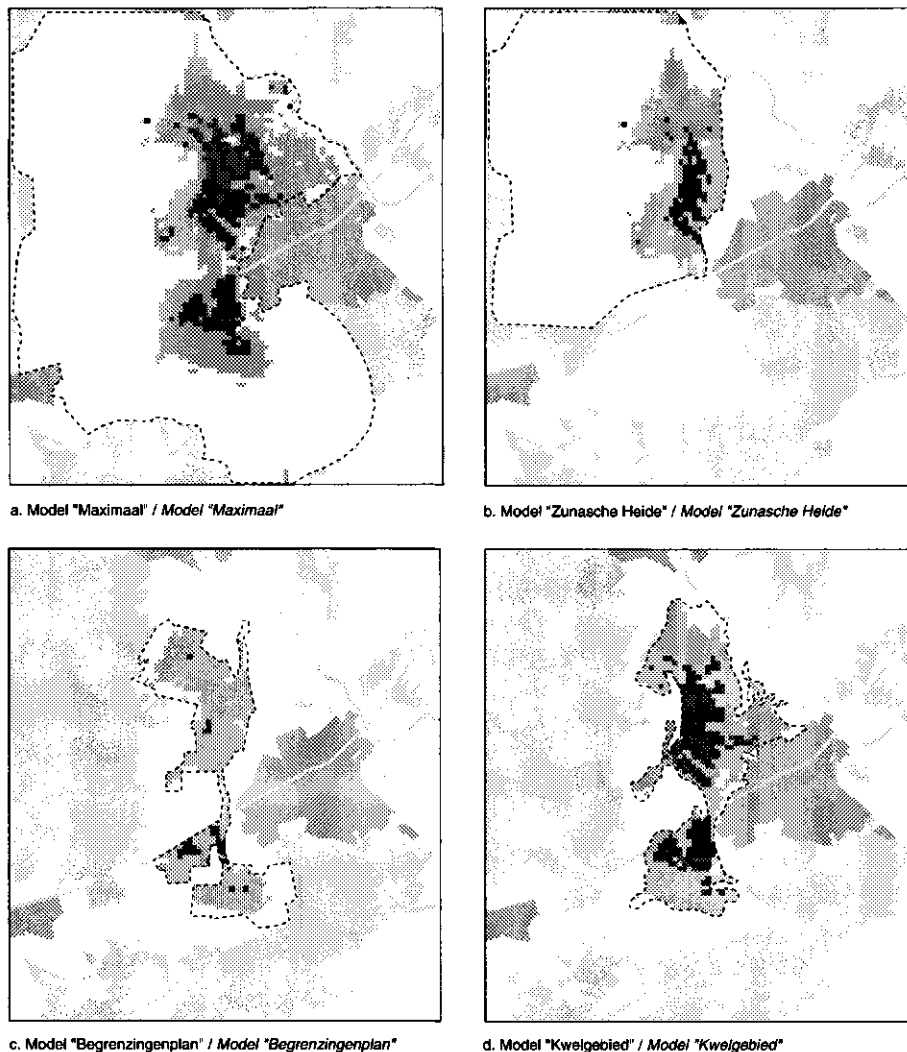
De 'maximaal winbare hoeveelheden' per ruimtelijk model, uitgesplitst naar winter-, zomer- en jaargemiddelden.

Table 6.1







The maximum yields for the 'spatial models' in summer, winter and over the year.

richting 'Rijssen' (Anonymus, 1990-c) worden gronden met een grondwatertrap III of natter als te nat aangemerkt. Deze condities zijn in deze fase van het onderzoek benaderd door na te gaan waar de berekende wintergrondwaterstanden hoger liggen dan 0.2 m beneden maaiveld én de zomergrondwaterstanden hoger zijn dan 0.8 m beneden maaiveld. Deze waarden zijn de (natte) grenswaarden van respectievelijk de GHG en de GLG behorend bij grondwatertrap III.

Het model Maximaal heeft tot gevolg dat de landbouw uit het gebied verdwijnt. Een



Legenda / Legend

-  boven maaiveld / above ground level
-  0 - 20m beneden maaiveld / 0 - 20m below ground level
-  0.2 - 0.8m beneden maaiveld / 0.2 - 0.8m below ground level
-  > 0.8m beneden maaiveld / > 0.8 m below ground level
-  bestaand natuurgebied / existing nature area
-  grens natuur- annex waterwingebied / border nature area and drinking water production site

Figuur 6.10
Ontwerpfase I van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'natuur'. Per ruimtelijke model zijn het totale areaal natuurgebied en de daarbinnen te verwachten hydrologische condities weergegeven.

De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{em} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

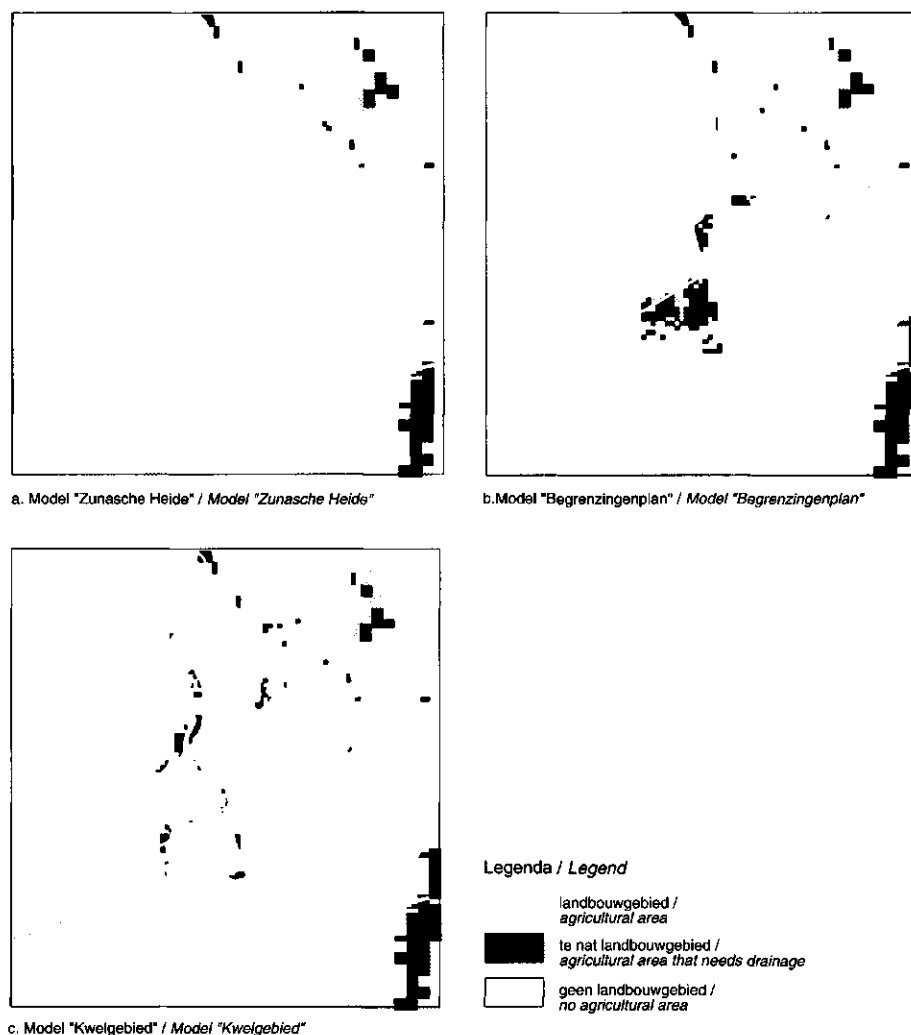
Figure 6.10.
Design stage I of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning the aspect of nature conservation. For each spatial model the total area of nature reserves and the predicted hydrological conditions are reflected. The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{em} package.

kaart die betrekking heeft op dit model ontbreekt dan ook in figuur 6.11. Het aandeel te natte landbouwgronden is in de modellen Begrenzungenplan en Kwelgebied relatief gering. Anderzijds is het resterende agrarische areaal juist in deze modellen sterk versnipperd. Bij model Zunasche Heide wordt in het noordelijk gebiedsdeel een groot deel van de huiskavelgebieden aan het gebruik onttrokken.

6.3.5 De keuze van een ontwikkelingsrichting: het model Kwelgebied

De gunstige uitkomsten voor de twee centrale aspecten in de evaluatie - het winbare oppervlakkige overschot en de vernatting - hebben geleid tot de keuze voor een nadere ontwikkeling van het plangebied op basis van het model Kwelgebied. Verder blijven in dit model de huiskavelgebieden in belangrijke mate voor de landbouw beschikbaar en kan het model worden gezien als een uitbreiding van de beleidsmatig voorgestelde ontwikkelingsrichting van het gebied.

Een aantal zwakke punten van het ruimtelijk model Kwelgebied zijn tegelijkertijd



Figuur 6.11

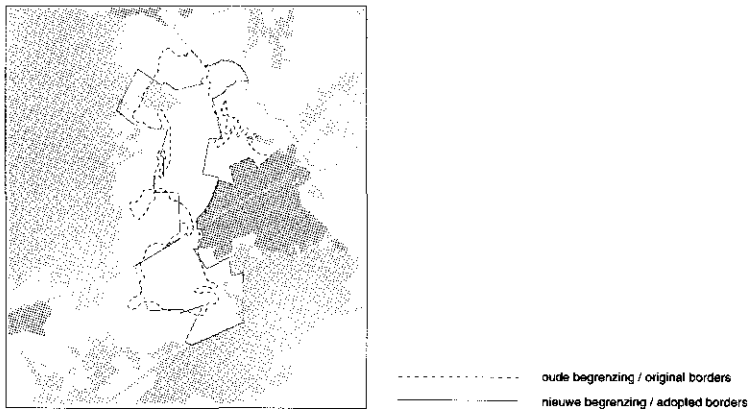
Ontwerpfase I van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'landbouw'. Per ruimtelijk model zijn het totale areaal landbouwgebied en de berekende, als "te nat" gekwalificeerde landbouwgebieden weergegeven.

NB: Model 'Maximaal' ontbreekt in deze evaluatie daar het gehele areaal landbouwgebieden in dit model verdwijnt. De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{97M} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.11.

Design stage I of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning agriculture. For each spatial model the total area of agricultural lands and the agricultural lands that need drainage (as a consequence of higher groundwater tables) are reflected.

NB: The model 'Maximaal' is missing in this evaluation while in this model all agricultural lands will disappear. The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{97M} package.



Figuur 6.12
Ontwerpfase I van de NADORST-studie: keuze van een ontwikkelingsrichting voor de tweede ontwerp-stap. Het model 'Kwelgebied' met aangepaste begrenzingen.

Figure 6.12
Design stage I of the NADORST-study: the choice of a spatial model that will be elaborated in the second design stage. The model 'Kwelgebied' with adapted borders.

ondervangen door de begrenzing bij te stellen (figuur 6.12). Op een aantal plaatsen is het gebied uitgebreid tot aan de bestaande bos- en natuurgebieden. Hiermee ontstaan betere perspectieven voor ontwikkeling van de macrogradiënten in het gebied, zoals die van stuwwal tot Reggedal. Voorts is er naar gestreefd het resterende landbouwgebied in grotere eenheden te concentreren: op de stuwwalflank en rondom Zuna. Tenslotte is de begrenzing aangepast aan bestaande topografische en grondgebruiksgrenzen.

Een probleem van een ontwikkeling op basis van model Kwelgebied is de situering van het natuur- en waterwingebied benedenstrooms van een landbouwzone, waardoor de beïnvloeding van de waterkwaliteit niet uitgesloten is. In deze studie is dit probleem als een uitdaging voor verdere studie opgevat. De planvorming in de operationele fase is dan ook mede gericht op de oplossing van dit vraagstuk, gebruikmakend van de planningsmaatregelen voor manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur (zie § 3.3.3).

6.4 De planvorming op het operationele niveau: het inrichtingsplan

6.4.1 Inleiding

Het model Kwelgebied is tot een inrichtingsplan op schaal 1:10.000 uitgewerkt door een cyclische afwisseling van ontwerp en hydrologische evaluatie. Daarbij zijn afwisselend de volgende activiteiten uitgevoerd:

- het bedenken van planvoorstellen;
- het vertalen daarvan in termen van het MODFLOW-rekenmodel;
- het bepalen van de hydrologische gevolgen van de ingrepen;
- het bijstellen van de voorstellen.

Deze 'trial-and-error' methode is voortgezet totdat een hydrologische inrichting is verkregen, waarmee de doelstellingen over waterproductie en natuurontwikkeling konden worden gerealiseerd (zie: Stalpers en Van Buuren, 1993).

6.4.2. Het inrichtingsplan

De nieuwe hydrologische inrichting van het plangebied omvat de volgende ingrepen: - een verandering van het bodemgebruik;
- de introductie van een nieuwe winlocatie;
- een wijziging van het oppervlaktewaterstelsel.

Het bodemgebruik

Voor het infiltratiegebied op de stuwwal is voorgesteld het naaldbos deels te vervangen door korte begroeiingen met een geringere verdamping, opdat een half-open vegetatiestructuur ontstaat. Dit vergroot de grondwatervoeding en daarmee de hoeveelheid water die in het kwelgebied voor de combinatie van drinkwaterproductie en natuurontwikkeling ter beschikking komt. In de natte natuurgebieden is rekening gehouden met het ontstaan van moerasvegetaties die aanzienlijk meer verdampen dan het grasland in de uitgangstoestand¹².

De waterwinning

Voor de methode van drinkwaterwinning zijn verschillende mogelijkheden denkbaar. In figuur 6.13 zijn hiervan een aantal aangegeven. Ter oriëntatie is in 6.13-a de conventioneel in de zandgebieden van Nederland gebruikte methode geschematiseerd. Het gaat hier om het oppompen van grondwater op grote diepte door een veld van winputten in gebieden met dikke watervoerende pakketten (veelal infiltratiezones op stuwwallen en andere terreinverheffingen). Deze wintechniek kan tot de ontregeling van gehele (regionale) grondwaterstromingsstelsels leiden.

De figuren 6.13-b tot en met 6.13-f schetsen een aantal alternatieve wintechnieken, waarbij de gevolgen voor de betreffende stromingsstelsels minder ingrijpend zijn. Zo is het denkbaar om - in de onmiddellijke nabijheid van een bestaand diep puttenveld - diepinfiltratie toe te passen van water dat van elders afkomstig is (figuur 6.13-b). Deze techniek wordt nu in de duinen van West-Nederland beproefd. Een ander mogelijkheid is het plaatsen van een uitgebreid netwerk van kleine, ondiepe pompputten aan de uitstroomkant van een grondwaterstromingsstelsel (figuur 6.13-c). Door een uitgekiend winbeleid kan op deze wijze de beïnvloeding van de oorspronkelijke stromingsstelsels lokaal van karakter blijven.

Een volgende variant is weergegeven in figuur 6.13-d. Hierbij wordt oppervlakkig afstromend water verzameld in een leidingensysteem, waarheen ondiepe winputten gelegen zijn. Deze methode, waarbij onder invloed van de ondiepe pompputten oppervlaktewater geforceerd via oevers en bodem van de leidingen infiltreert, wordt 'oeverinfiltratie' genoemd. Wanneer bij deze techniek de omvang van de winning wordt aangepast aan de oppervlakkig aangevoerde hoeveelheid water, dan is sprake van een minimale beïnvloeding van de betrokken stromingsstelsels. Behalve een stelsel van verzamelleidingen is het ook denkbaar deze oeverinfiltratie toe te passen in combinatie met een open waterreservoir waarin het oppervlakkig afstromend water wordt verzameld (figuur 6.13-e).

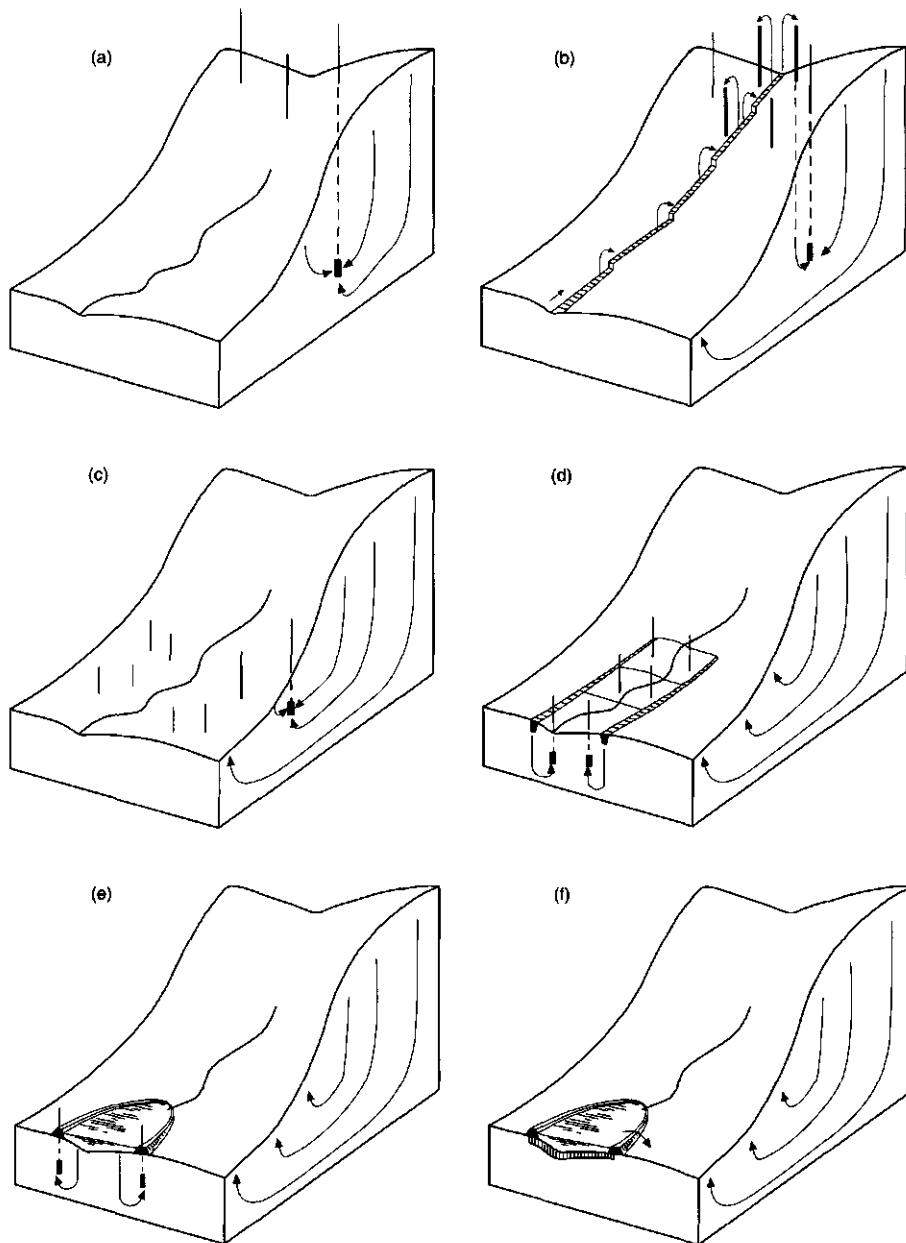
In het laatste diagram is een rechtstreekse winning uit het oppervlaktewater geschematiseerd (figuur 6.13-f). Deze wintechniek leidt - mits weer het hiervoor gememoreerde evenwicht wordt ingesteld - tot de geringst denkbare beïnvloeding van de oorspronkelijke hydrologisch condities.

Bij alle besproken winningsmethoden zou een bestemming als natuurerrein van het herkomstgebied, een goede waarborg betekenen voor de kwaliteit van het gewonnen water.

Voor het NADORST-project is uiteindelijk gekozen voor een combinatie van de methoden als weergegeven in de figuren 6.13-d en e. In het plangebied leidt de toepassing hiervan tot het waterwinningssysteem als geschematiseerd in figuur 6.14. Een aantal van de planningsmaatregelen uit 3.3 zijn in dit winsysteem toegepast.

Het verzamel- en infiltratieveld is gesitueerd in een gedeelte van het laag gelegen kwelgebied. Het overschot aan water uit de omringende natuurgebieden - dat deze zwak hellende gebieden onder natuurlijke omstandigheden als oppervlaktewater zou verlaten - stroomt via de aanvoerleidingen naar het wingebied. Hier infiltreert het water en wordt het na een verblijf in de ondergrond via ondiepe pompputten onder de bodem van de sloten gewonnen. Zijn de gewonnen hoeveelheid en de aanvoer met elkaar in evenwicht, dan kan een hoog waterpeil in de infiltratiesloten gehandhaafd blijven. Daardoor blijft - ondanks de winning - de beïnvloeding van het grondwaterpeil tot de directe omgeving van de putten beperkt.

De hoeveelheid water waarbij winning en aanvoer in evenwicht zijn gedurende het jaar, is vergroot door gebruik van een spaarbekken¹³. Het bekken wordt gevoed met



Legenda / Legend



put voor grondwaterwinning /
groundwaterpumping well



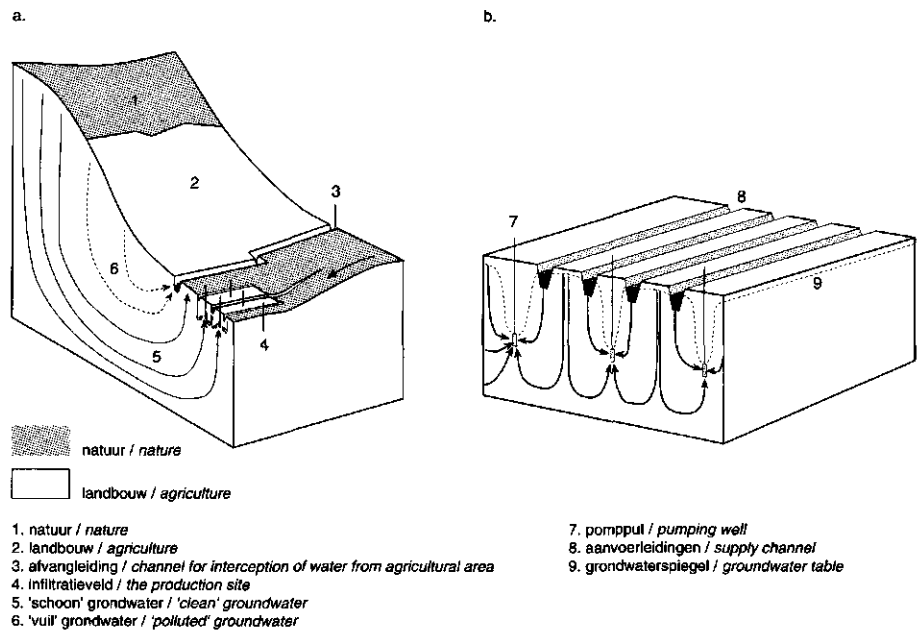
stromingsrichting van het water /
direction of water flows

Figuur 6.13 Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een overzicht van drinkwater-productietechnieken. Er zijn alternatieve technieken denkbaar die de hydrologische systemen minder beïnvloeden dan de conventionele winning van grondwater op grote diepten.

- a. De conventionele techniek: de winning van grondwater via een diep puttenveld.
- b. De productie van drinkwater via grondwaterwinning met gelijktijdige kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater.
- c. De productie van drinkwater via het oppompen van grondwater uit een ondiep puttenveld aan de uitgang van een grondwaterstromingssysteem.
- d. De productie van drinkwater via oeverinfiltratie via een ondiep puttenveld rond een waterloop.
- e. De productie van drinkwater via oeverinfiltratie via een ondiep puttenveld rond een water-reservoir.
- f. De productie van drinkwater via directe winning uit een water-reservoir.

Figure 6.13 Design stage II of the NADORST-study: an overview of drinking water production methods. Alternative methods - that affect hydrological systems less than the conventional method of pumping deep groundwater - may be applied.

- a. The conventional method: the pumping of groundwater at great depths.
- b. The production of drinking water by pumping groundwater and, at the same time, artificial infiltration of surface water.
- c. The production of drinking water by superficial pumping of groundwater in exfiltration areas of groundwater flow systems.
- d. The production of drinking water by pumping water after infiltration through the banks of a series of water courses.
- e. The production of drinking water by pumping water after infiltration through the banks of a water-reservoir.
- f. The production of drinking water by pumping water directly from a water reservoir.



Figuur 6.14

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: het principe van de drinkwater productie in het inrichtingsplan. Er is gekozen voor een systeem met overinfiltratie via een ondiep puttenveld rond een waterloop (figuur 6.13-d).

a. De hydrologische positie van het infiltratieveld. Het infiltratieveld wordt gevoed met het overschot van water uit het nieuwe natuurgebied in de kwelzone en met schoon grondwater dat infiltreert in het natuurgebied op de stuwwal.

b. Het infiltratieveld. Het oppervlaktige overschot wordt via ondiepe pompputten gewonnen. Bij een evenwicht van aangevoerde en afgepompte hoeveelheden blijft de invloed op de grondwaterspiegel beperkt tot de directe omgeving van de pompputten.

Figure 6.14

Design stage II of the NADORST-study: a schematic diagram of the drinking water production as proposed in the landscape plan. It concerns the method of pumping water after infiltration through the banks of a series of water courses (compare to figure 6.13-d).

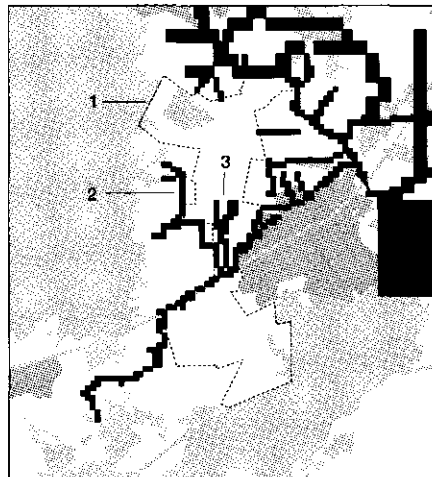
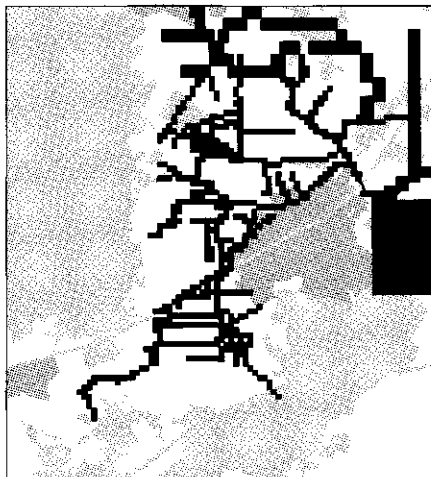
a. The hydrological position of the production site. The production site is with surpluses of water from the new nature areas in the exfiltration zone and with clean groundwater that infiltrates in the nature areas on top of the ice-pushed ridge.

b. The production site. The surpluses from the surrounding nature areas are pumped up using shallow wells. When an equilibrium is maintained between supplied and pumped quantities, the effects on the groundwater tables will be very local.

een deel van het grote overschot aan water uit de natuurgebieden in het winterhalfjaar¹⁴. In de zomer kan het opgeslagen water worden benut om ook bij een grotere winning dan het in die periode beschikbare overschot een voldoende hoog peil in de infiltratiesloten te handhaven.

Bij de keuze voor het winsysteem hebben - naast de te verwachten gunstige effecten op het grondwaterniveau - nog andere redenen meegewogen. Het verblijf in de ondergrond leidt - ten opzichte van rechtstreekse winning van oppervlaktewater - tot een betere kwaliteit van het gewonnen water. De bodempassage zuivert het geïnfiltreerde water van eventuele microbiële verontreinigingen¹⁵. Een overweging is voorts de concentratie van voorzieningen en ingrepen in het gebied die met het gekozen systeem samenhangen, waardoor in het grootste deel van het lage gebied de oorspronkelijke kwelomstandigheden ongestoord tot ontwikkeling kunnen komen. Bovendien brengt de concentratie voordelen tot ontwikkeling van beheer (bereikbaarheid, onderhoud van de installaties) en voor de beheersbaarheid (weren van ongewenst bezoek) met zich mee. Tenslotte maakt het opslagbekken een relatief grote, constante winningshoeveelheid mogelijk.

De meest geschikte lokatie voor het eigenlijke waterwingebied bevindt zich in het midden van het plangebied. Dit gebied wordt gekenmerkt door een relatief grote winbare hoeveelheid water. De ligging ten opzichte van de overige natte natuurgebieden is zodanig dat de oppervlaktige overschotten daaruit onder vrij verval aangevoerd kunnen worden. Bovendien blijven bij deze lokatie de ontwikkelingsperspectieven voor de



Legenda / Legend

 gemodelleerde waterlopen /
simulated watercourses

- 1. grens nieuw natuurgebied / boundary of new nature area
- 2. afvangleiding / interception channel
- 3. infiltratieveld / production site ("infiltration area")

Figuur 6.15
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: het bestaande (links) en het voorgestelde (rechts) stelsel van waterlopen zoals gesimuleerd in het grondwaterstromingsmodel.

Figure 6.15.
Design stage II of the NADORST-study: the existing (left) and the proposed (right) system of water courses as simulated in the groundwater flow computer model.

macrogradiënten tussen stuwwal en Reggedal (in het noordelijk deel van het gebied) en tussen de infiltratie- en kwelgebieden in het zuiden relatief ongestoord. Het spaarbekken is gesitueerd in een droog, laag gebiedsdeel. Het winteroverschot kan dan weer via vrij verval tot aan het bekken worden getransporteerd.

Het oppervlaktewaterstelsel

De simulatie van het bestaande en het voorgestelde stelsel van waterlopen is in figuur 6.15 weergegeven. De nieuwe oppervlaktewater situatie weerspiegelt een aantal van de in § 3.3 behandelde inrichtingsmaatregelen voor de manipulatie van de hydrologische landschapsstructuur.

In het natuur- en waterwingebied zijn de bestaande waterlopen verdwenen. Een aantal - deels nieuwe - waterlopen verzorgen de afwatering van het resterende landbouwareaal. De afwatering van het landbouwgebied nabij Holten vindt nu plaats in westelijke richting - langs Rijssen - via een waterleiding die het nieuwe natuurgebied doorkruist. Deze leiding moet in dit traject als doorvoerleiding fungeren, waarbij infiltratie naar of drainage van het natte natuurgebied wordt voorkomen.

Eén van de nieuwe leidingen - op de grens van het natuurgebied met het landbouwgebied op de stuwwal - functioneert als 'afvangleiding' (vergelijk met figuur 6.14). Deze is zo ontworpen (ligging, slootpeil, afmeting) dat het (mogelijk) verontreinigde water uit het bovenstreams gelegen landbouwgebied wordt afgevangen, zonder dat het schone, diepe grondwater vanuit de hoger gelegen infiltratiegebieden naar de natuurgebieden wordt afgetapt. Bovendien blijft infiltratie vanuit de afvangleiding naar de winputten achterwege.

6.4.3 De hydrologische evaluatie

De hydrologische evaluatie in dit stadium van het onderzoek omvat een aantal verschillende onderdelen. De hiervoor besproken ingrepen uit het inrichtingsplan zijn in termen van de stationaire versies van het MODFLOW rekenmodel 'vertaald'. Het betreft hier de simulatie van:

- het gewijzigde bodemgebruik via de verdampingskarakteristieken van de nieuwe en de bestaande natuur-, landbouw- en urbane gebieden;
- het winsysteem;
- het nieuwe oppervlaktewaterstelsel.

Vervolgens zijn de te verwachten hydrologische condities berekend. Ook hierbij is een

iteratieprocedure doorlopen, waarbij de uitkomsten van de berekening zijn gebruikt voor de bijstelling van de planvoorstellen. De herkomst en - in nauwe relatie daarmee - de hoeveelheid van het gewonnen water zijn bij de iteraties van doorslaggevende invloed geweest. Voor het op deze wijze geoptimaliseerde inrichtingsvoorstel tenslotte, zijn berekeningen uitgevoerd met de niet-stationaire versie van het MODFLOW-model. Zoals in het schema van figuur 6.14 is weergegeven, wordt in het voorgestelde winsysteem ook een zekere hoeveelheid grondwater (direct) aangetrokken. De omvang en de herkomst daarvan zijn te beïnvloeden door inrichtingsmaatregelen zoals het niveau van het waterpeil in de infiltratiesloten, de exacte locatie van de winputten en de hoeveelheid water die per winput wordt opgepompt. Gedurende de iteraties in het hydrologisch ontwerp zijn deze factoren gevarieerd. Het oogmerk daarvan was om het grondwateraandeel in de totale winning zo gering mogelijk te maken, opdat de kwelstromen minimaal worden verstoord. Ook is gedurende de procedure geprobeerd de herkomst van het grondwateraandeel zodanig te beïnvloeden dat landbouwgebieden vermeden worden. Hierbij is met name het waterpeil in de zogenaamde 'afvangleiding' geoptimaliseerd. Met de iteraties is doorgedaan totdat een substantiële winningshoeveelheid kon worden bereikt op basis van water afkomstig uit (nieuwe of reeds aanwezige) natuurgebieden.

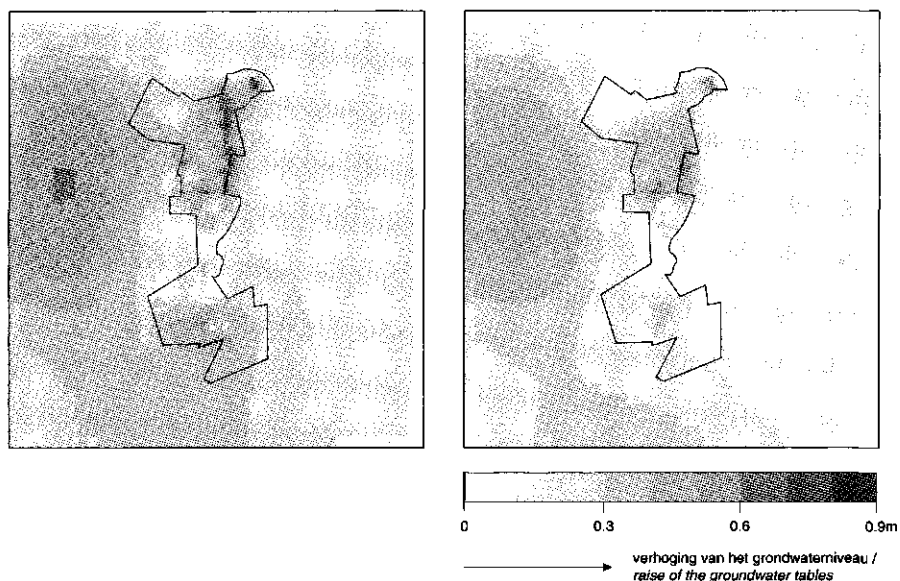
De hydrologische condities ten gevolge van de planingrepen worden gekenmerkt door twee opvallende veranderingen ten opzichte van de uitgangstoestand:

- een verhoging van het grondwaterviveau;
- een verandering van het stromingspatroon.

De verhoging van het grondwaterviveau

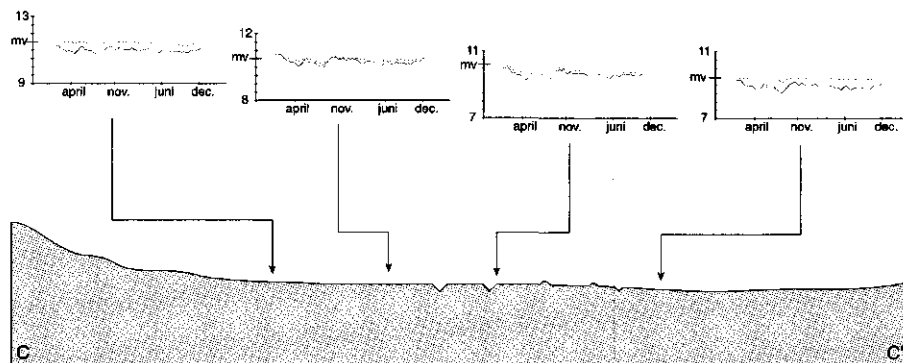
De berekende verhogingen van het grondwaterviveau (figuur 6.16) in de lagere delen van het plangebied variëren tussen de 0.3 m en respectievelijk 0.7 m (zomer) en 0.9 m (winter). Dit brengt een aanzienlijke vernatting van het milieu met zich mee. Op de stuwwal treden vergelijkbare grondwaterstandsverhogingen op. De diepe ligging van het grondwaterviveau betekent evenwel dat de vernatting hier niet tot 'natte' omstandigheden leidt. Op de flanken van de stuwwal blijft de verhoging beperkt tot zo'n 0.1 m à 0.3 m.

Ook de niet-stationaire modelberekeningen laten aanzienlijke grondwaterstandsverho-

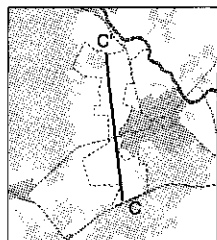


Figuur 6.16
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de hydrologische evaluatie. De verhoging van het grondwaterviveau ten opzichte van de bestaande situatie ten gevolge van het plan voor de winter (links) en de zomer (rechts). De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW[®] gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.16
Design stage II of the NADORST-study: the hydrological evaluation. The raise of groundwater tables related to the present situation caused by the plan. A distinction is made for the winter (left) and the summer (right) periods. The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW[®] package.



Locatie profiel /
location cross-section



Legenda / Legend

- grondwaterstanden in de plansituatie /
groundwater tables in the plan situation
- grondwaterstanden in de bestaande situatie /
groundwater tables in the present situation

Figuur 6.17.

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de hydrologische evaluatie. Het verloop van de grondwaterstanden gedurende een jaar voor vier punten in een zuid-noord doorsnede door het nieuwe natuurgebied. Zowel de bestaande als de plan situatie zijn weergegeven. Naast hogere standen kent de plan situatie ook minder fluctuaties.

De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{em} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.17

Design stage II of the NADORST-study: the hydrological evaluation. The change of groundwater tables during the year at four sites on a south-north cross-section through the new nature area. Reflected are the present and the plan situations. The plan situation is characterised by higher groundwater tables and less fluctuations.

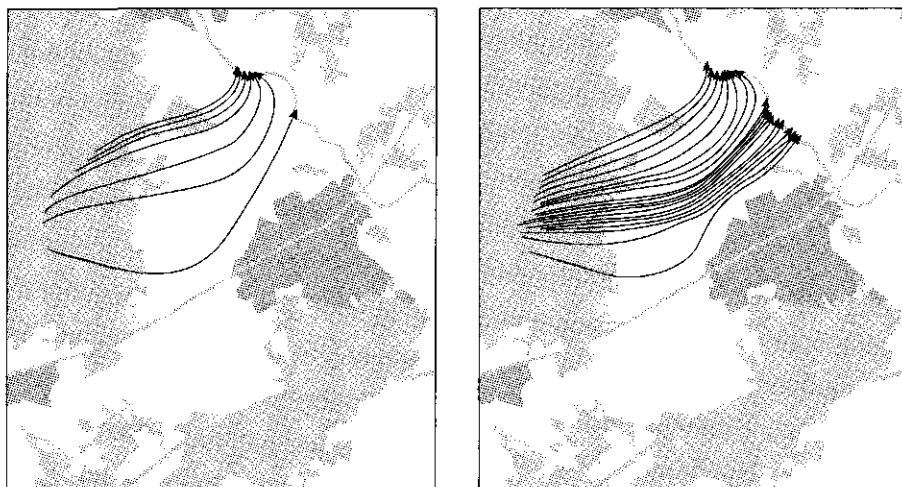
The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{em} package.

gingen zien. In figuur 6.17 is het tijd-stijghoogte verloop weergegeven van een aantal modelementen op een zuid-noord doorsnede door het nieuwe natte natuurgebied. De grafieken van de nieuwe situatie vertonen naast een hoger grondwatervniveau ook een afwijkende vorm: er treden langdurige perioden in winter en voorjaar op waarin de grondwaterstanden nog nauwelijks veranderen. Er is daar sprake van een constante grondwatersituatie met minder 'pieken' dan voorheen.


De verandering van het stromingspatroon

De modelberekeningen wijzen voorts op veranderingen in het patroon van de grondwaterstroming. Hiertoe is een analyse gemaakt van de opwaartse grondwaterstroming over de scheidende laag tussen de twee gemodelleerde watervoerende pakketten¹⁶ (Stalpers en Van Buuren, 1993). Een vergelijking met de uitgangssituatie vertoont soms een toename en elders een afname van deze stromingscomponent. Een geringere opwaartse stroming wordt vooral gevonden in gebieden waar in het plan de waterlopen komen te vervallen. Een toename wordt berekend voor gebieden oostelijk van het geprojecteerde natuurgebied, waaronder het dal van de Regge. Het 'dempen' van de waterlopen in de natte natuurgebieden leidt kennelijk tot een verschuiving van de diepe grondwaterstroming in oostelijke richting.

Ook massabalans- en stroombaanberekeningen wijzen op deze verschuiving in het patroon van de grondwaterstroming. Als illustratie van dit verschijnsel dient figuur 6.18 waarin voor de zomersituatie de op het dal van de Regge gerichte diepe stroombanen zijn berekend. Het aantal stroombanen vanaf de Holterberg neemt door de planingrepen toe. Dit betekent dat een groter deel van het (diepe) grondwater vanaf de stuwwal tot aan het dal van de Regge reikt. Gezien het relatief schone water en de ten opzichte van het water in de Regge afwijkende chemische samenstelling hiervan, vergroot deze verschuiving de perspectieven voor natuurontwikkeling in het Reggedal.



Legenda / Legend


 stroombaan van het grondwater /
 streamlines of the groundwater

Figuur 6.18.
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de hydrologische evaluatie. De stroombanen vanaf de Holterberg naar het dal van de Regge in de zomer voor de bestaande (links) en plan (rechts) situaties. Door het plan wordt een toename van deze diepe grondwaterstroming verwacht.

De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{em} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.18
Design stage II of the NADORST-study: the hydrological evaluation. The streamlines of the deep ground water from the ice-pushed ridge to the Regge-valley in the summer for the present (left) and the plan (right) situations. An increase in this deep groundwater flow is expected as a result of the plan.

The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{em} package.

6.4.4 De evaluatie van het grondgebruik

De consequenties van de nieuwe hydrologische situatie voor de belangrijkste vormen van grondgebruik zijn hieronder aangegeven.

Drinkwaterwinning

De massabalans voor zomer en winter van het winsysteem in tabel 6.2 leidt tot een aantal conclusies. De totale winhoeveelheid bedraagt 2.5 miljoen m³¹⁷. Uitgaande van de continue hoeveelheid van 1.25 miljoen m³ per halfjaar wordt duidelijk dat het oppervlakkige overschot uit de natuurgebieden en de grondwaterhoeveelheid in de zomer niet toereikend zijn. In dat deel van het jaar wordt water uit het spaarbekken benut om het tekort (0.59 miljoen m³) te dekken. Het winteroverschot (1.21 miljoen m³) volstaat daarvoor ruimschoots. De massabalans maakt voorts duidelijk dat het overgrote deel van het gewonnen water afkomstig is uit het oppervlakkige overschot (respectievelijk 85 % en 91 % in zomer en winter). Niettemin bestaat gemiddeld zo'n 12 % uit grondwater. De herkomst hiervan is - uitgaande van de aanname dat het opper-

ZOMER / SUMMER				WINTER / WINTER			
IN / IN		UIT / OUT	SALDO / BALANCE	IN / IN		UIT / OUT	SALDO / BALANCE
opp. afstroming natuur/ nature areas	grondwater / groundwater	drinkwater winning / drinkingwater production		opp. afstroming natuur/ nature areas	grondwater / groundwater	drinkwater winning / drinkingwater production	
(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)	(mil. m ³)
+ 0.47	+ 0.19	- 1.25	- 0.59	+ 2.35	+ 0.11	- 1.25	+ 1.21

Tabel 6.2.
De waterbalans van het wingebied bij uitvoering van het plan voor zomer en winter bij een totale winning van 2.5 miljoen m³.

Table 6.2
The mass-balans of the drinking water production site in summer and winter. The total yield amounts 2.5 million m³.



Legenda / Legend

 herkomstgebied /
infiltration areas

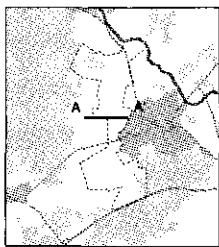
Figuur 6.19.
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'drinkwaterwinning'. De herkomstgebieden van de grondwaterfractie van het in het infiltratieveld gewonnen water in de zomer (links) en de winter (rechts). Het grootste deel van deze fractie - circa 12% van het totaal - infiltreert in natuurgebieden.

De gepresenteerde resultaten zijn tot stand gekomen via berekeningen met een op het pakket MODFLOW^{em} gebaseerd grondwaterstromingsmodel voor het plangebied.

Figure 6.19
Design stage II of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning drinking water production. The infiltration areas of the groundwater that is pumped up in the production site in summer (left) and winter (right). The largest part of this amount - that constitutes about 12% of the total yield - infiltrates in new or existing nature areas.

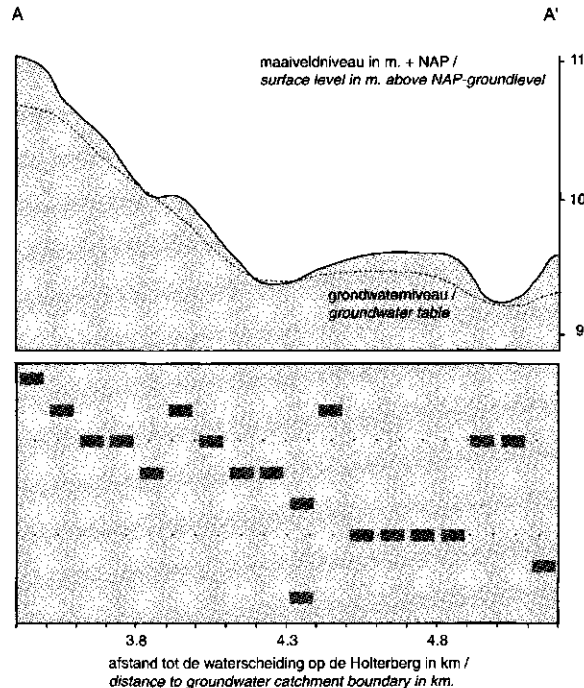
The presented results are calculated with a groundwater flow simulation model for the study area based on the MODFLOW^{em} package.

Locatie profiel /
location cross-section



Vegetatietypen / vegetation types

Ericetum tetralicis sphagnetosum
Caricetum acuto-vesicariae
Caricetum elatae
Caricetum rostratae
Caricetum lasiocarpae
Valeriano-Filipenduletum
Rompgemeenschap Carex nigra
(caricion curto-nigrae)
Littorelleton



Figuur 6.20
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'natuur'. De vegetatiegradiënt in het centrale deel van het nieuwe natuurgebied die volgt uit de vegetatiekundige analyse. Door het plan kan de oorspronkelijke differentiatie in de vegetatie weer tot uiting komen.

Figure 6.20
Design stage II of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning nature conservation. The vegetation gradient in the central part of the new nature area as found in the vegetation analysis. The plan may result in the restoration of original vegetations.

KRUIDACHTIGE VEGETATIES / HERBACEOUS VEGETATION TYPES

Milieu / Environmental conditions	Vegetatietypen / Vegetation types
droog, zuur voedselarm <i>dry, acid, nutrient poor</i>	<i>Genisto-Callunetum typicum</i>
vochtig en nat, zuur voedselarm <i>moist and wet, acid, nutrient poor</i>	<i>Genisto-Callunetum molinietosum</i> <i>Ericetum tetralicis typicum</i> <i>Ericetum tetralicis sphagnetosum</i>
nat en zeer nat, zuur en zwak zuur, voedselarm en matig voedselrijk <i>wet and very wet, acid and moderately acid,</i> <i>nutrient poor and moderately nutrient poor</i>	<i>Caricetum curto-echinatae typicum</i> <i>Caricetum rostratae</i> <i>Cancetum lasiocarpae</i> <i>Littorelleton</i>
nat en zeer nat, zwak zuur tot neutraal, voedselrijk <i>wet and very wet, moderately acid to neutral,</i> <i>nutrient rich</i>	<i>Caricetum acuto-vesicariae</i> <i>Caricetum elatae</i> <i>Senecioni-Brometum racemosi caricetosum nigrae</i>
nat, zwak zuur, matig voedselrijk <i>wet, moderately acid, moderately nutrient rich</i>	<i>Cirsio-Molinietum agroatietosum</i>
vochtig, zwak zuur tot neutraal, voedselrijk <i>moist, moderately acid to neutral, nutrient rich</i>	<i>Valeriano-Filipenduletum</i>
wisselvochtig en wisselnat (degradatietypen) <i>varying from dry to moist or wet (degradation types)</i>	<i>Rompgemeenschap Nardus stricta [Violion caninae]</i> <i>Rompgemeenschap Carex nigra [caricion curto-nigrae]</i>

BOSVEGETATIES / FOREST VEGETATION TYPES

Milieu / Environmental conditions	Vegetatietypen / Vegetation types
droog, zuur en voedselarm <i>dry, acid and nutrient poor</i>	<i>Quercu-Betuletum typicum</i>
vochtig en nat, zuur en voedselarm <i>moist to wet, acid and nutrient poor</i>	<i>Quercu-Betuletum molinietosum</i> <i>Betuletosum pubescentis</i>
nat en zeer nat, zuur tot neutraal, voedselrijk <i>wet and very wet, acid to neutral, nutrient rich</i>	<i>Carici elongatae-Alnetum betuletosum pubescentis</i> <i>Carici elongatae-Alnetum hottonietosum</i> <i>Carici elongatae-Alnetum typicum</i>
wisselvochtig, voedselrijk (degradatietype) <i>varying from dry to moist, nutrient rich (degradation types)</i>	<i>Rompgemeenschap Alnion glutinosae</i>

Tabel 6.3.

De bij de vegetatiekundige analyse onderscheiden vegetatietypen. Deze zijn op basis van milieucondities samengevoegd in een beperkt aantal groepen.

Table 6.3

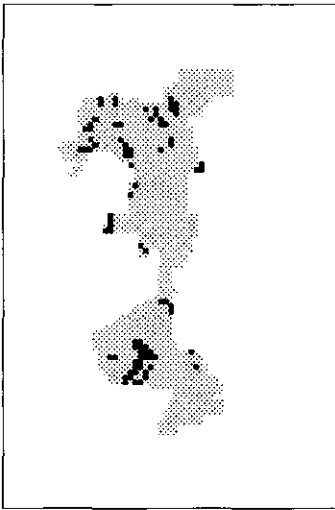
The vegetation types that result from the vegetation analysis. In this analysis an interpretation of hydrological conditions was made to be able to assess vegetational development after implementation of the plan. In this table vegetation types and related environmental conditions are reflected.

vlakkelig uit de natuurgebieden afstromende water geen grote kwaliteitsproblemen zal veroorzaken - bepalend voor de vraag in hoeverre aan de gewenste duurzame waarborg van de waterkwaliteit kan worden voldaan. Stroombaanberekeningen tonen aan dat het herkomstgebied van de grondwaterfractie grotendeels gelegen is in de natuurgebieden op de stuwwal of in die direct rond het winveld (figuur 6.19). Hoewel ze niet volledig 'waterdicht' zijn, hebben de inrichtingsmaatregelen tegen het aantrekken van grondwater uit de landbouwgebieden effect.

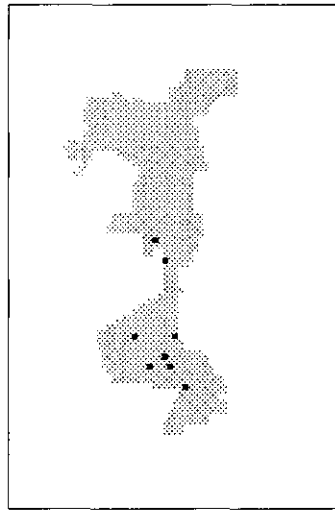
Natuur

De nieuwe hydrologische condities in de natuurgebieden scheppen mogelijkheden voor ontwikkeling en herstel van zeldzame, grondwaterafhankelijke vegetaties. De vegetatietypen die op grond van de planingrepen tot ontwikkeling kunnen komen zijn, gerangschikt naar de bijbehorende standplaatscondities, weergegeven in tabel 6.3. De stijging van het grondwaterniveau en het verloop daarvan in de tijd brengen met zich mee dat de in het gebied in potentie aanwezige milieugradiënten weer in de vegetatie tot uitdrukking kunnen komen¹⁸. Voor een gebied op de overgang van de stuwwalflank naar het centrale kwelgebied is deze vegetatiegradiënt weergegeven in figuur

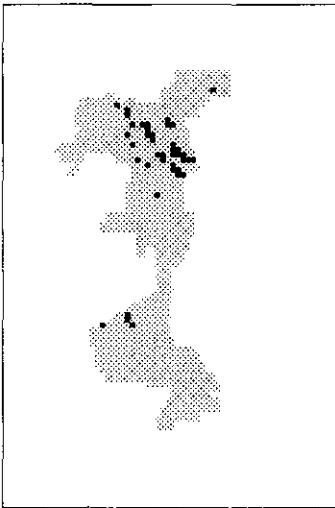
Ericetum tetralicis sphagnetosum



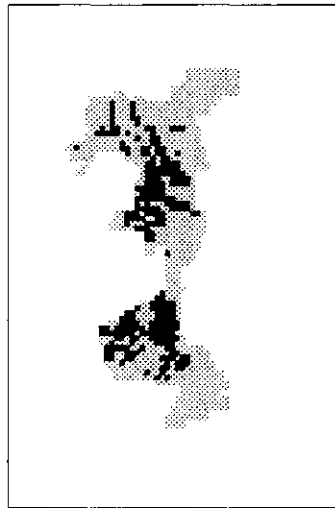
Senecioni-Brometum racemosi caricetosum nigrae



Carici elongatae-Alnetum betuletosum pubescentis

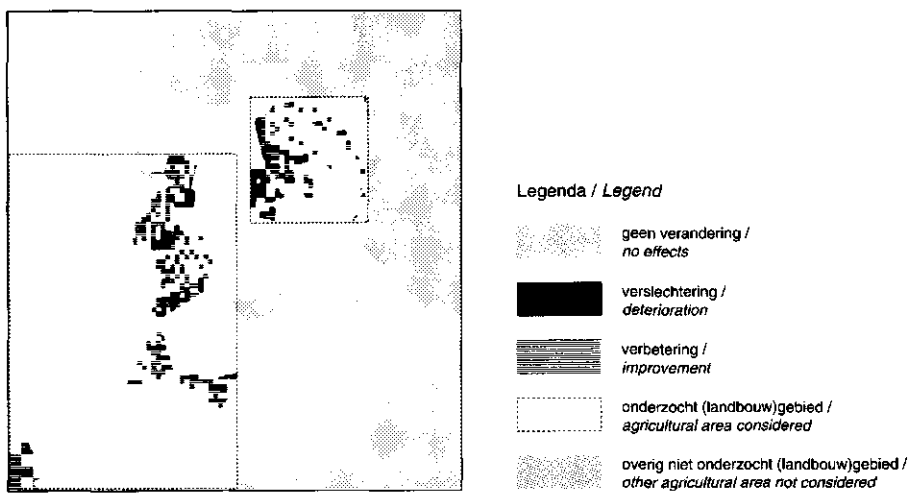


Carici elongatae-Alnetum hottonietosum



Figuur 6.21 Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'natuur'. De spreidingspatronen van een viermaal zeldzame, grondwaterafhankelijke vegetaties in het nieuwe natuurgebied.

Figure 6.21 Design stage II of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning nature conservation. The distribution of four rare groundwater-dependent vegetation types in the new nature area.



Figuur 6.22. Ontwerpfase II van de NADORST-studie: de evaluatie van het grondgebruik voor het aspect 'landbouw'. Een globale beoordeling van de landbouwkundige consequenties van de grondwaterstandsveranderingen in de resterende landbouwgebieden.

Figure 6.22. Design stage II of the NADORST-study: the evaluation of land-use concerning agriculture. A rough estimation of the agricultural effects of the changes of groundwater tables in the remaining agricultural lands.

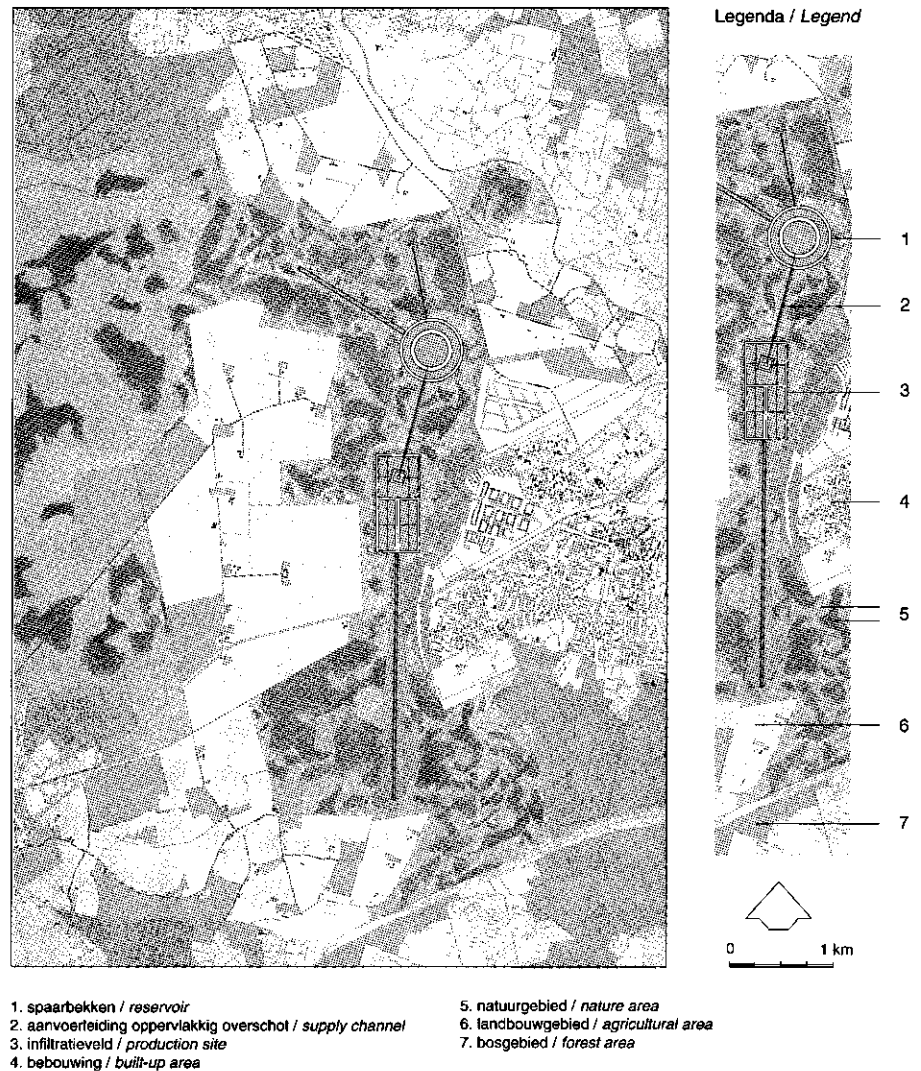
6.20. In het lagere deel van het gebied domineren de zeer natte, zure tot neutrale, relatief voedselrijkere vegetaties.

Voor ieder in tabel 6.3 genoemd vegetatietype is het voorkomen per modelement van het nieuwe natuurgebied geanalyseerd. De gevonden ruimtelijke spreidingspatronen van een aantal zeer bijzondere vegetaties zijn bij wijze van illustratie in figuur 6.21 opgenomen.

Landbouw

De productieomstandigheden in de resterende landbouwgebieden zullen mede worden bepaald door de nieuwe hydrologische condities. In figuur 6.22 is aangegeven welke veranderingen in dit verband worden verwacht. Daarbij is op grond van een analyse van het grondwaterstandsverloop¹⁹ nagegaan in hoeverre de nieuwe hydrologische toestand onveranderd blijft, ofwel verbeterd of verslechtert ten opzichte van de uitgangssituatie²⁰.

In het landbouwgebied op de stuwwalflank wordt voor een relatief grote oppervlakte een verbetering berekend. Rond Zuna houden de arealen met gunstige en ongunstige veranderingen elkaar ongeveer in evenwicht. Hierbij kan nog worden aangetekend dat door een verbetering van de detailontwatering de gevolgen van te natte productieomstandigheden relatief eenvoudig kunnen worden bestreden.



Figuur 6.23.
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: het landschapsplan, een schets van het toekomstige landschap.

Figure 6.23.
Design stage II of the NADORST-study: the landscape plan, an impression of the future landscape.

6.4.5 Een schets van het toekomstige landschap

De ontwikkeling van het plangebied is in grote lijnen vastgelegd door de keuze voor model Kwelgebied en de voorstellen uit het inrichtingsplan. In deze paragraaf wordt ingegaan op de wijze waarop de planvoorstellen ruimtelijk kunnen worden uitgewerkt in een schets van het toekomstige landschap.

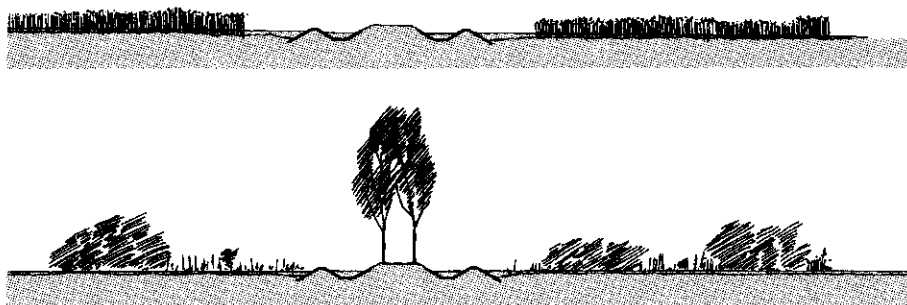
Een uitgangspunt bij het ruimtelijk ontwerp is de keuze om functionele verschillen tot uitdrukking te brengen in de verschijningsvorm van het landschap. Deze keuze komt voort uit de wens om een duidelijke relatie te verkrijgen tussen vorm en functie van het landschap, waarbij de verschillende functies ook waarneembaar zijn²¹. Bij het ontwerp van de voorzieningen voor de drinkwaterproductie heeft dit uitgangspunt ertoe geleid een contrast tot stand te brengen met de vormen in de directe omgeving: het naatte natuurgebied. De geometrische vormkarakteristieken van de 'man-made' objecten - het infiltratieveld, het spaarbekken, de aanvoerleidingen - steken scherp af tegen de grillige, organische vormen van het moerasgebied (figuur 6.23). Ook tussen de natuur- en landbouwgebieden is een verschil in vormkarakteristiek gedacht. De landbouwgebieden onderscheiden zich van het natuurgebied door een rationele verkaveling met overwegend strakke (beplantings)lijnen en moderne bedrijfsgebouwen.

Het waterwingebied

De voorzieningen van het eigenlijke waterwingebied omvatten het infiltratieveld, een spaarbekken en een aantal aanvoerleidingen. De ruimtelijke situering van de voorzieningen is gebaseerd op de uitkomsten van de hydrologische berekeningen en is afgestemd op de hoogteverschillen in het terrein.

Het centrale deel van het waterwingebied is het rechthoekige infiltratieveld. Het bestaat uit een aantal afzonderlijke compartimenten, omgeven door kades met pompputten en ringsloten en een terrein met een gebouw voor technische voorzieningen. Het water wordt via de ringsloten aangevoerd en door regelbare kleppen in de kades over de compartimenten verdeeld. De compartimenten kunnen onafhankelijk van elkaar worden drooggelegd voor onderhoudswerkzaamheden, et cetera. Na infiltratie wordt het water opgepompt en via een leidingstelsel in de kades naar het centrale terrein getransporteerd. Hier vindt controle en zonodig nabehandeling plaats. Alleen de kade rondom het winveld is openbaar toegankelijk.

Het ronde spaarbekken heeft een diameter van circa 325 meter. De ringdijk is zes meter hoog, zodat een bergingscapaciteit ontstaat van zo'n 750.000 m³ water. De bodem - op maaiveldsniveau - is ondoorlatend zodat geen uitwisseling met de omgeving optreedt. Het water uit de aanvoerleidingen wordt in de ringsloot verzameld en in



Figuur 6.24
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: detail van het landschapsplan. Doorsnedes van de hoofdaanvoerleiding in het zuidelijk gebiedsdeel (boven) en van de surplus-leiding tussen infiltratieveld en spaarbekken (onder).

Figure 6.24.
Design stage II of the NADORST-study: detail of the landscape plan. Cross-section of the supply channel in the southern part of the area (above) and of the channel between the reservoir and the production site (below).

het bekken gepompt. De ringsloot fungeert tevens als barière tegen ongewenst bezoek.

De hoofdaanvoerleiding ligt ten zuiden van het infiltratieveld. Deze bestaat uit twee parallelle kanalen, van elkaar gescheiden door een inspectiedijk (figuur 6.24 boven). Het overtollige water dat zich in de laagten rondom de aanvoerleidingen verzamelt, wordt zijdelings via afsluitbare kleppen - met een drempelhoogte op maaiveldsniveau - ingelaten. Tijdens de aanloopperiode van het winsysteem is voorzuivering van het opgevangen water waarschijnlijk geboden vanwege het hoge gehalte aan nutriënten (nitraten) van deze voormalige landbouwgronden. Hiertoe zijn aan weerszijden van de leiding rietmoerassen ('helofytenfilters') geprojecteerd.

De verbinding tussen het infiltratieveld en het spaarbekken bestaat uit twee waterlopen met daartussen een dijk (figuur 6.24 onder). Deze waterlopen hebben vooral een doorvoerfunctie voor het transport van overschotten naar het spaarbekken of voor het aanvullen van het oppervlakkig overschot met water uit het bekken. De dijk van deze leiding is beplant om daarmee de functionele relatie tussen infiltratieveld en spaarbekken ruimtelijk tot uitdrukking te brengen.

Uit de vormgeving van deze voorzieningen blijkt het beoogde contrast tussen 'drinkwartertechniek' en 'natuur'. De aanvoerleidingen lopen als strakke lijnen door het moerasgebied. Het spaarbekken heeft een optimale vorm voor het zo compact mogelijk opslaan van water: een cirkel. De compartimenten van het infiltratieveld worden omzoomd door rechthoekige kades met op regelmatige afstand geplaatste pompen. De contrasterende vormen bieden de mogelijkheid om de verschillende functies uit het landschap af te lezen.

De natuurgebieden

De nieuwe natuurgebieden verbinden de stuwwallen van de Holterberg/Haarlerberg en de Friezenberg/Rijsserberg met het dal van de Regge via het laaggelegen kwelgebied. Aansluitend op de keuze betreffende het toekomstige bodemgebruik (§ 6.4.2) is bij het ruimtelijk ontwerp een half-open vegetatiestructuur voor alle natuurgebieden als streefbeeld gehanteerd. In het plan is dit tot uitdrukking gebracht door het grillige mozaïek van bos, struweel en open ruimtes in de natuurgebieden²². In figuur 6.25 is weergegeven welke beelden, in afhankelijkheid van het uiteindelijk gevoerde beheer, in de natuurgebieden kunnen worden verwacht. Ter orientatie is steeds een foto van de bestaande situatie op de betreffende plek aangegeven. In de hoogste, droge delen van het plangebied (figuur 6.25-a) zal een deel van het bestaande naaldbos worden verwijderd. Hier is een gericht (begrazings)beheer noodzakelijk om open plekken - zoals heideterreinen - duurzaam in stand te kunnen houden²³. Waar begrazing of maaien achterwege blijft, kan uiteindelijk een - ten opzichte van de uitgangssituatie - 'ijl' Eiken-Berkenbos tot ontwikkeling komen. Op de flank van de stuwwal (figuur 6.25-b) kunnen begrazing en de grote milieudifferentiatie een uitgesproken mozaïek van vegetatietypen opleveren. De uitgangssituatie van de nieuwe, natte natuurgebieden (voornamelijk grasland) lijkt gunstig om via begrazing een half-open vegetatiestructuur te ontwikkelen en te handhaven. Op plekken waar begrazing of beheer achterwege blijft, kunnen dichte bossen en struwelen worden verwacht.

Het hogere deel van het kwelgebied (bijvoorbeeld rond de Zunasche Heide; figuur 6.25-c) kent een uitgesproken variatie van milieucondities op korte afstanden. Bij een gericht beheer kan hier een uit botanisch opzicht zeer rijke situatie tot ontwikkeling worden gebracht. Blijft dit beheer uit, dan zullen hier natte bossen ontstaan. In het eigenlijke kwelgebied (figuur 6.25-d) zijn open plekken (open water, korte vegetaties) te verwachten op plekken met permanent zeer natte omstandigheden. Ook wanneer het gebied niet wordt begraasd of gemaaid. Dit zijn de plekken van de Zegge-moerassen. Daaromheen zal in die situatie op de wat minder (permanent) natte gebieden een Elzenbroekbos opslaan. Wordt een dergelijke ontwikkeling via beheersmaatregelen tegen gegaan, dan kunnen bijzondere kruidachtige vegetaties worden verwacht. Ook in het dal van de Regge (figuur 6.25-e) zullen altijd open plekken blijven bestaan, vooral onder invloed van het stromende water. Buiten het bereik daarvan zal 'niets



huidige situatie / present situation

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- open / open

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area



toekomstige situatie 1 /
future situation 1

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- begrazing / grazing



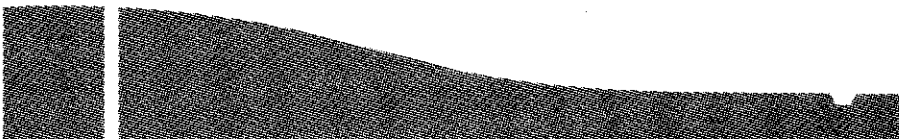
toekomstige situatie 2 /
future situation 2

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- besloten / enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- 'niets doen' / no management



Figuur 6.25

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een impressie van de ontwikkeling van het landschap in een doorsnede vanaf de stuwwal tot aan de Regge. De foto's geven een typering van het huidige landschap (boven), terwijl per locatie een impressie is gegeven van het toekomstige landschap 'met' (midden) en 'zonder' (beneden) actief natuurbeheer.

a. De situatie bovenop de stuwwal

Figure 6.25

Design stage II of the NADORST-study: a representation of the landscape development in a characteristic cross-section from the ice-pushed ridge to the Regge. The photographs represent the present landscape (above) and two impressions of the future landscape: one with (middle) and one without (below) intensive nature management.

a. The situation on top of the ice-pushed ridge.



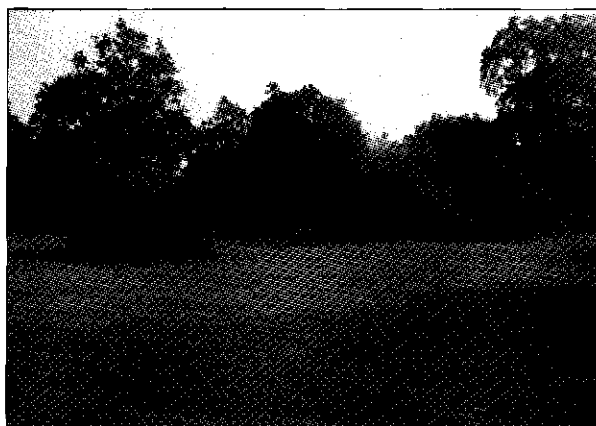
huidige situatie / present situation

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- landbouw / agriculture



toekomstige situatie 1 /
future situation 1

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied* / nature area*
- begrazing / grazing

* tevens 'vanggebied' oppervlakkig over-
schot t.b.v. waterproductie

* area that produces surpluses of water
for drinking-water production



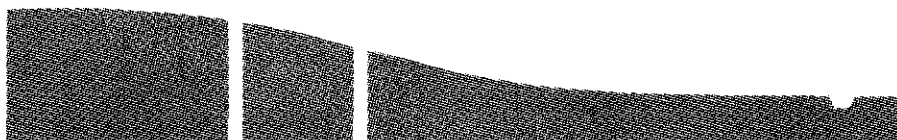
toekomstige situatie 2 /
future situation 2

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- besloten / enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- 'niets doen' / no management



Figuur 6.25

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een impressie van de ontwikkeling van het landschap in een doorsnede vanaf de stuwwal tot aan de Regge. De foto's geven een typering van het huidige landschap (boven), terwijl per locatie een impressie is gegeven van het toekomstige landschap 'met' (midden) en 'zonder' (beneden) actief natuurbeheer.

b. De situatie op de flank van de stuwwal.

Figure 6.25

Design stage II of the NADORST-study: a representation of the landscape development in a characteristic cross-section from the ice-pushed ridge to the Regge. The photographs represent the present landscape (above) and two impressions of the future landscape: one with (middle) and one without (below) intensive nature management.

b. The situation of the flank of the ice-pushed ridge.



huidige situatie / present situation

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- landbouw / agriculture



toekomstige situatie 1 /
future situation 1

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- begrazing / grazing



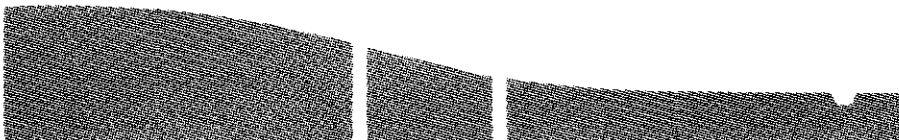
toekomstige situatie 2 /
future situation 2

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- besloten / enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- 'niets doen' / no management



Figuur 6.25

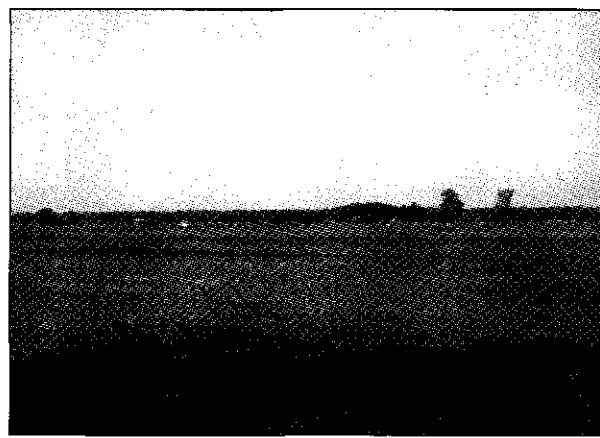
Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een impressie van de ontwikkeling van het landschap in een doorsnede vanaf de stuwwal tot aan de Regge. De foto's geven een typering van het huidige landschap (boven), terwijl per locatie een impressie is gegeven van het toekomstige landschap 'met' (midden) en 'zonder' (beneden) actief natuurbeheer.

c. De situatie in het hogere deel van het kwelgebied aan de rand van de centrale laagte.

Figure 6.25

Design stage II of the NADORST-study: a representation of the landscape development in a characteristic cross-section from the ice-pushed ridge to the Regge. The photographs represent the present landscape (above) and two impressions of the future landscape: one with (middle) and one without (below) intensive nature management.

c. The situation of the exfiltration area on the edge of the central plain.



huidige situatie / present situation

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- landbouw / agriculture



toekomstige situatie 1 /
future situation 1

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- begrazing / grazing



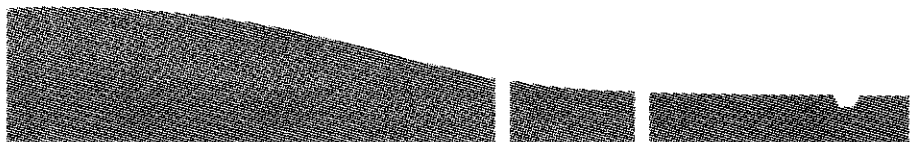
toekomstige situatie 2 /
future situation 2

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- besloten / enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- 'niets doen' / no management



Figuur 6.25

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een impressie van de ontwikkeling van het landschap in een doorsnede vanaf de stuwwal tot aan de Regge. De foto's geven een typering van het huidige landschap (boven), terwijl per locatie een impressie is gegeven van het toekomstige landschap 'met' (midden) en 'zonder' (beneden) actief natuurbeheer.

d. De situatie in het centrale kwelgebied.

Figure 6.25

Design stage II of the NADORST-study: a representation of the landscape development in a characteristic cross-section from the ice-pushed ridge to the Regge. The photographs represent the present landscape (above) and two impressions of the future landscape: one with (middle) and one without (below) intensive nature management.

d. The situation of the central exfiltration area.



huidige situatie / present situation

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- open / open

gebruik en beheer / land-use and
management

- landbouw / agriculture



toekomstige situatie 1 /
future situation 1

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- half open / half-enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- begrazing / grazing



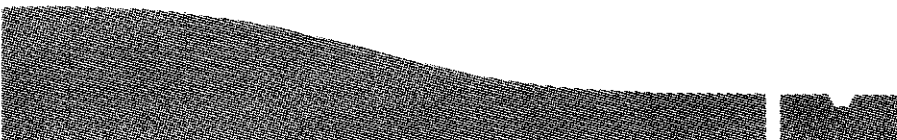
toekomstige situatie 2 /
future situation 2

ruimtelijke opbouw: /
visual characteristics

- gesloten / enclosed

gebruik en beheer / land-use and
management

- natuurgebied / nature area
- 'niets doen' / no management



Figuur 6.25

Ontwerpfase II van de NADORST-studie: een impressie van de ontwikkeling van het landschap in een doorsnede vanaf de stuwwal tot aan de Regge. De foto's geven een typering van het huidige landschap (boven), terwijl per locatie een impressie is gegeven van het toekomstige landschap 'met' (midden) en 'zonder' (beneden) actief natuurbeheer.

e. De situatie in het dal van de Regge.

Figure 6.25

Design stage II of the NADORST-study: a representation of the landscape development in a characteristic cross-section from the ice-pushed ridge to the Regge. The photographs represent the present landscape (above) and two impressions of the future landscape: one with (middle) and one without (below) intensive nature management.

e. The situation of the Regge-valley.

doen' tot bosontwikkeling leiden ('ooibossen'). Een intensiever vorm van beheer kan tot een grote variatie van kruidachtige vegetatietypen leiden.

De landbouwgebieden

Bij het ruimtelijk ontwerp van de landbouwgebieden is een tweedeling gehanteerd. In de oude ontginningen rond de buurtschappen Noetsele, Zuna, Look en Borkeld is het kronkelige wegenpatroon met wegbeplantingen benadrukt. Samen met de erfbeplantingen en de kleinere, verspreide bosjes geven deze het landschap een relatief besloten karakter. Er is daarbij uitgegaan van groeimogelijkheden voor een beperkt aantal bedrijven tot een oppervlakte van maximaal 25 ha. Het landbouwgebied op de flank en aan de voet van de Holterberg is als een modern landbouwgebied ontworpen. Het is regelmatig verkaveld op basis van een minimale bedrijfsoppervlakte van 25 ha. De toegangswegen naar de boerderijen en de oude verbindingsweg van Holten naar Lichtenberg zijn beplant.

6.5 Tot slot

De Voorbeeldstudie Nadorst toont aan dat er mogelijkheden bestaan om de productie van drinkwater te combineren met de ontwikkeling van natte natuurgebieden. Cruciale aandachtspunten blijken de techniek, lokatie en omvang van de waterwinning. Door deze inrichtingsfactoren af te stemmen op de kenmerken van de hydrologische kringloop ter plekke kan de beïnvloeding van de stromingsstelsels door waterwinning beperkt blijven of kan herstel naar een meer 'natuurlijke' toestand optreden. In dit opzicht levert de studie interessante inzichten die ook in andere gebieden kunnen worden benut voor het vinden van alternatieven voor de gangbare praktijk van de waterproductie, voor het realiseren van nieuwe, natte natuurgebieden of bij de bestrijding van het verdrogingsvraagstuk.

Vanuit beleidsmatig en financieel perspectief zijn een aantal kritische kanttekeningen bij de resultaten van de Nadorst-studie geplaatst. Drinkwaterbedrijven (Vaessen, 1993; mondelinge mededelingen Smit, 1993 en Rotermundt, 1994) schatten de realisatiekansen van het planvoorstel vooral laag in door de te verwachten hoge productiekosten van het drinkwater²⁴. Het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij beoordeelde - bij monde van de toenmalige consultant Natuur, Bos, Landschap en Faunabeheer in de provincie Overijssel - het plan vooral negatief op grond van een onvoldoende ecologische uitwerking²⁵.

Op beide kanttekeningen valt evenwel af te dingen²⁶. De reacties lijken dan ook vooral een expressie van de sectoraal georganiseerde, formele beleidspraktijk. Deze staat de gecombineerde financiering en realisering van doelstellingen op verschillende beleidsvelden kennelijk in de weg. De uitvoeringspraktijk biedt daarentegen soms wel perspectieven voor het tot stand brengen van dergelijke 'win-win' situaties. Illustratief hiervoor zijn een aantal projecten van bijvoorbeeld de Waterleiding Maatschappij Overijssel, waarin naast drinkwaterwinning ook andere doelen zijn gerealiseerd²⁷. Ook op de inhoudelijke aspecten van het Nadorst-onderzoek zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. De gepresenteerde computerberekeningen zijn mede tot stand gekomen op basis van aanname's waaromtrent kritische discussie mogelijk is²⁸. Een zelfde redenering geldt de vegetatiekundige analyse en de ruimtelijke vormgeving van de planvoorstellen. De aannames en onzekerheden hebben gedurende het planproces gedwongen tot het maken van keuzen. Op dergelijke keuzemomenten zouden - bijvoorbeeld onder invloed van verbeterde inzichten of gewijzigde doelstellingen - andere beslissingen denkbaar zijn geweest, met alternatieven voor of varianten op het gepresenteerde plan als resultaat²⁹.

1 Deze combinatie van grondgebruiksvormen kan worden opgevat als een invulling van de gedachte uit het cascoconcept om binnen het 'raamwerk' nieuwe vormen van verweving tot stand te brengen.

2 NADORST staat voor NAtuurontwikkeling en Drinkwaterproductie via Oeverinfiltratie in het Regge Stelsel. Het onderzoek NADORST is één van de ideeën die in 1991 werden geselecteerd voor uitwerking binnen het thema 'Kringlopen ruimtelijk vormgeven' van het project 'Voorbeeldplannen Vierde Nota'. Met dit project beoogde de Rijksplanologische Dienst ideeën te leveren hoe in concrete situaties op regionale schaal een duurzame inrichting kan worden bereikt (Anonymus, 1991-d). De achtergrond van het genoemde thema wordt in de Vierde Nota Extra als volgt geschetst:

"In stad en land leidt een toenemend gescheiden gebruik van ruimte voor verschillende functies niet alleen tot overmatig ruimtebeslag en toename van verkeer, maar ook tot ondoelmatig beheer van stof- en energiestromen. De neerwaartse spiraal van ruimteconsumptie en milieubelasting moet worden doorbroken. Het zorgvuldig omgaan met energie, grondstoffen, water en afval, gecombineerd met een doordachte, multifunctionele ruimtelijke inrichting maakt een betere vormgeving en doelmatiger gebruik van de ruimte mogelijk." Het plan NADORST is tot stand gekomen in nauwe samenwerking met: Loek Stalpers (hydroloog), Peter van Bolhuis, Peter Vrijlandt en Wim Wassink (landschapsarchitecten), André Jansen (vegetatiekundige) en A. Dommering (milieukundige).

3 Het rekenmodel MODFLOW^{em} vraagt om een indeling van het plangebied in de horizontale richting in rechthoekige elementen ('cellen') en in de verticale richting in lagen met verschillende doorlatendheid. Uiteindelijk is het gebied opgedeeld in drie lagen: twee watervoerende pakketten met daartussen een slecht doorlatende laag. Elke laag bevat 6068 cellen, verdeeld over 74 kolommen en 82 rijen. In het centrale aandachtgebied - waar de voornaamste veranderingen worden verwacht - meten deze cellen 100 bij 100 meter. Zie Bijlage III.

4 In zo'n stationaire modellering van zomer en winter worden de temporele fluctuaties van hydrologische variabelen tot een waarde voor elke periode uitgemiddeld. Daarbij is bovendien gebruik gemaakt van een gemiddelde voor zomer en winter uit een langjarige reeks.

5 In het niet-stationaire rekenmodel is niet uitgegaan van (langjarige) gemiddelden voor zomer en winter, maar is één jaar opgedeeld in 36 tiendaagse perioden. Voor elke periode zijn vervolgens de variabelen van het model ingevoerd. De meteorologische fluctuaties (neerslag, verdamping) komen hierdoor in de berekende uitkomsten tot uiting. Het niet-stationaire model is opgesteld op basis van de periode 1984-1985. Het jaar 1985 mag voor het gebied als een meteorologisch representatief jaar worden beschouwd (Stalpers, 1992).

6 Er is hier met opzet niet gesproken van een voorspelling. Het gebruik van die term suggereert een hoge mate van betrouwbaarheid die momenteel niet kan worden bereikt. Debet daaraan zijn de beperkte beschikbare kennis over de effecten van vernatting op de vegetatie (zie o.a. Steenvoorden et al., 1991; Jansen, 1992) en omdat ook andere mechanismen een rol spelen die hier buiten beschouwing zijn gelaten. Bovendien spelen hierbij de beperkingen van het hydrologisch model een rol (schaal, aannamen, etc.). Daarom wordt gesproken van een analyse van de potenties in plaats van een voorspelling.

7 Bij de voorbereiding van deze landinrichting is ook het idee geopperd om natuurontwikkeling en drinkwaterproductie met elkaar te combineren (Van der Wiel et al., 1990; Haartsen et al., 1990). De definitieve uitwerking daarvan moet nog plaatsvinden. Wel is duidelijk dat in het kader van deze landinrichting beslissingen kunnen worden genomen die in de toekomst de ontwikkeling van natte natuurgebieden - al dan niet in combinatie met de productie van drinkwater - voorgoed kunnen doorkruisen. Het op uitgebreide schaal verplaatsen van boerderijen naar de open (voormalige) kwelgebieden is daarvan een voorbeeld. Een dergelijke ingreep impliceert investeringen in infrastructuur, bebouwing, et cetera die welhaast onomkeerbaar zijn.

8 Deze schematisatie gaat op voor het regionale beeld. Lokaal komen verstoringen voor in de vorm van leem- of keileem-voorkomens. Dit verklaart het voorkomen van bronnen, met name aan de westzijde van de stuwwallen. Zie bijvoorbeeld het landgoed 'Sprengeberg'.

9 Op deze bodemkaart vinden we een meanderend patroon van moerige beekbedronden. De toponiemen hier ter plekke, 'Maatgraven' en 'Vloedgraven', duiden niettemin op antropogene invloed.

10 Deze doelstelling geeft aan dat de nadruk van het onderzoek ligt op de drinkwaterproductie en de natuurontwikkeling. Bij de evaluatie van de inrichtingsvoorstellen spelen evenwel ook agrarische aspecten een rol. Hiermee zijn de voornaamste vormen van grondgebruik die de ruimtelijke ontwikkeling van het studiegebied bepalen in het onderzoek betrokken. De overige vormen van grondgebruik, met name de stedelijke ontwikkeling en de recreatie, zullen meer terloops aan de orde worden gesteld.

11 De verdamping van gronden met een specifiek bodemgebruik wordt doorgaans uitgedrukt met behulp van de 'f-factor'. Deze factor is een maat voor het aandeel van de totale neerslag die via het bodemgebruik, c.q. de vegetatie, verdamppt. Hoe groter de verdamping, hoger het getal 'f'. Zie voorts de opmerkingen hieromtrent in Stalpers en Van Buuren (1993).

12 In het hydrologisch model is deze verandering van het grondgebruik tot uiting gebracht via de verdampingsfactoren. Voor de infiltratiegebieden op de stuwwal is in dit verband uitgegaan van het rekenkundig gemiddelde van de verdampingsfactoren van (droog) loofbos ($f = 0.9$) en heide ($f = 0.6$), namelijk een waarde $f = 0.75$. Zie Stalpers en Van Buuren (1993).

13 Er is uitgegaan van een 'opgezet' bekken, met een ondoorlatende bodem. Zo'n bekken heeft een geringe interactie met de omgeving en is eenvoudig in het MODFLOW-model te simuleren.

14 De berekeningen met het MODFLOW-model voor de vier ruimtelijke modellen vertonen een veel grotere 'winbare hoeveelheid water' voor de winter dan voor de zomer. Zie hiervoor de uitkomsten in tabel 6.1. Gezien de definitie van deze winbare hoeveelheid, duidt dit op een groot verschil in de hoeveelheden water die de natte natuurgebieden overblijven en deze als oppervlaktewater zullen verlaten.

15 Voor een effectieve zuivering in dit opzicht wordt in de praktijk een verblijf in de ondergrond van zestig dagen gehanteerd (zie Vaessen, 1993). Bij de MODFLOW-berekeningen kon niet worden nagegaan in hoeverre de gemodelleerde situatie aan dit criterium voldoet.

16 Deze stroming kan worden berekend met behulp van de grondwaterstanden die het model in respectievelijk het bovenste (ondiepe) en het onderste (diepe) watervoerende pakket berekent. Het optreden van een opwaartse grondwaterstroming over de scheidende laag is een randvoorwaarde voor het optreden van kwel.

17 Hierbij dient te worden bedacht dat de reeds bestaande winning nabij Holten met een capaciteit van 2.5 miljoen m³ is gehandhaafd, zodat de totale onttrekking uit het plangebied 5 miljoen m³ bedraagt.

18 Bij de situering van de nieuwe natuurgebieden is met de ligging van deze gradiënten rekening gehouden. Het uiteindelijk te voeren (natuur)beheer zal uiteindelijk medebepalend zijn voor de feitelijke floristische

ontwikkeling van de natuurgebieden.

19 Voor deze analyse is op grond van de stationaire rekenresultaten van zomer en winter een zogenaamde 'berekende grondwatertrappenkaart' vervaardigd. Daarbij is de gemiddelde zomergrondwaterstand als GLG en de gemiddelde wintergrondwaterstand als GHG opgevat. Vervolgens zijn voor uitgangs- en plansituatie deze berekende grondwatertrappen met elkaar vergeleken. Een gelijke grondwatertrap in beide situaties leidt tot de klassificatie 'geen verandering'. Een verslechtering treedt op bij een verschuiving naar een grondwatertrap waarbij de gewasopbrengst zal dalen ten opzichte van de uitgangssituatie door grotere wateroverlast. Een verbetering kan het gevolg zijn van een (lichte) verdroging die in een afname van de wateroverlast resulteert of bij een (lichte) vernatting die minder droogteschade veroorzaakt. Bij deze analyse is gebruik gemaakt van de HELP-tabellen (Anonymus, 1988-d). Voor een bespreking van de hier toegepaste methode voor de benadering van de grondwatertrappenkaarten wordt verwezen naar Stalpers en Van Buuren (1993).

20 De veranderingen van de productieomstandigheden zijn hier in relatieve en niet in absolute termen gewaardeerd. Daaraan liggen een aantal overwegingen ten grondslag. Ten eerste de benadering van de grondwatertrappen (zie de voorafgaande noot). Het omzetten van de op deze wijze verkregen grondwatertrappen zou een schijn-nauwkeurigheid oproepen. Ten tweede leek een relatieve aanduiding van de richting van het effect voldoende gezien de toch ondergeschikte rol van het landbouwkundig gebruik in het

NADORST project. Ten derde is in de resterende landbouwgebieden de detailontwatering niet geoptimaliseerd. Daarvoor ontbrak de tijd. Tenslotte dient nog te worden opgemerkt dat een gunstige verandering of een gelijke beoordeling toch nog kan betekenen dat er - absoluut gesproken - 'te natte' condities heersen. Ook wordt niet duidelijk in hoeverre een verandering ten slechte op een gering areaal per saldo niet een groter negatief geldelijk effect sorteert dan een gunstige verandering op een grotere oppervlakte.

21 De relatie tussen vorm en functie is in de (landschaps)architectuur een van de meest besproken thema's (zie bijvoorbeeld Lang, 1987). In de landschapsarchitectuur speelt dit probleem altijd mee bij de wijze waarop bij de vormgeving van nieuwe elementen - infrastructurele voorzieningen, woongebieden, technische constructies, etc. - op het bestaande landschap wordt 'gereageerd' (zie bijvoorbeeld Farjon et al., 1990-b; Bijlsma, 1995). In principe is hiervoor een scala aan opties denkbaar, dat door middel van twee extremen kan worden opgespannen. Aan de ene kant kan worden nagestreefd de nieuwe elementen zoveel mogelijk in het bestaande landschap in te passen door gebruik te maken van vormen, kleuren en texturen uit de omgeving, of zelfs van camouflagetechnieken. Aan de andere kant kan juist ook het nieuwe, eigen karakter van de aan te brengen elementen worden benadrukt door een vormgeving die tot sterke contrasten met het bestaande leidt. Het is afhankelijk van de eigenschappen van de plek, de keuzes door de ontwerper of van de aard van de nieuwe elementen welk van de genoemde vormgevingsopties - of mengvorm van beide - op een gegeven moment wordt toegepast.

De eerstgenoemde optie is gebruikt bij de herordering van het waterwingebied in de duinen bij Castricum. Voor de infiltratiebekkens heeft men gekozen voor een - verzonnen - natuurlijk aandoende vorm, met een breed scala aan 'natuurlijke' oevers. Voorzieningen die zich niet op deze wijze laten vormgeven (pompgebouwen, behandelingsinstallaties, etc.) zijn ondergronds aangelegd, dus onzichtbaar. Een bezoeker van het gebied waant zich in een natuurerrein en ziet hooguit aan de borden 'waterwingebied' wat zich onzichtbaar allemaal afspeelt. Bij het oorspronkelijke ontwerp van de spaarbekken in de Biesbosch is de andere optie toegepast. Er is daarbij door een contrasterende, geometrische vormgeving getracht het (functionele) verschil van de spaarbekken met hun natuurlijke omgeving tot uitdrukking te brengen. Bij de uiteindelijk uitvoering van het spaarbekkenproject is dit strikte standpunt overigens verlaten.

22 De lokaties met een 'open' of 'gesloten' structuur zijn niet exact bepaald. Het beeld van figuur 6.23 geeft feitelijk slechts een ruimtelijke impressie van tot welk beeld dit streven zou kunnen leiden.

23 De recente geschiedenis van een groot deel van het plangebied wijst daarop. Na het beëindigen van de begrazing met schapen zijn de heidevelden ter plekke met (naald)bos begroeid geraakt.

24 De belangrijkste oorzaak hiervan is de omvang van het tot natuurgebied om te vormen areaal landbouwgronden, in het plan circa 950 ha. Omgeslagen naar de becijferde winningscapaciteit zou alleen al de aankoop van deze oppervlakte een verviervoudiging van de productiekosten van het drinkwater impliceren.

25 Op een bijeenkomst ter gelegenheid van de presentatie van het Voorbeeldplan NADORST beoordeelde de toenmalige consulente Natuur, Bos, Landschap en Fauna-beheer van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij in Overijssel het plan primair als een drinkwateraangelegenheid. De ecologische onderbouwing en uitwerking zou tekortschieten, mede door het ontbreken van een expliciete verwijzing naar de door dit ministerie gehanteerde 'natuurdoeltypen'.

26 Het hoge prijspeil van het water dient te worden afgezet tegen eveneens kostbare alternatieven waarbij - in verband met het anti-verdrogingsbeleid - oppervlaktewater wordt ingezet voor de drinkwaterbereiding. Een deel van de extra kosten kan ook worden gemotiveerd vanuit de mogelijkheid daarmee oorspronkelijke hydrologische condities te herstellen. Het is bovendien onjuist de aankoop van het gehele areaal nieuwe natuurerreinen in de productiekosten van het drinkwater te verdisconteren. Er ligt immers een aanzienlijke claim vanuit het Natuurbeleidsplan en de daarop volgende uitwerkingen die langs een andere weg gefinancierd zal worden? Dat is een realiteit waaraan ook het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij niet voorbij kan gaan. De opmerking over het ontbreken van de natuurdoeltypen - hoewel formeel juist - verandert daaraan niets. Een betere beschouwing van de in het NADORST-project gebruikte vegetatieanalyse zal overigens duidelijk maken dat - zij het op een andere wijze geformuleerd - deze natuurdoeltypen daarin besloten liggen.

27 In het waterwingebied Espeloesche Broek is een combinatie tot stand gebracht tussen de winning van water met de verzorging van de landbouwkundige waterhuishouding via o.a. de aanvoer van water. Nabij Zwolle is - aanvullend op de pompstations nabij het Engelse Werk - een uiterwaard van de IJssel ingericht om enerzijds bij hoge IJsselstanden de grondwaterhoeveelheid aan te vullen en anderzijds om natuurontwikkeling mogelijk te maken. Vergelijk ook met de voorbeelden uit Vissers et al., 1995.

28 Een gevoeligheidsanalyse (Stalpers en Van Buuren, 1993; Bijlage III) wijst uit dat met name voor het uitwerken van het oeverinfiltratiesysteem nader onderzoek nodig is naar de doorlatendheid van de ondergrond

en naar de intree- en uitteeweerstand van de waterlopen. Het vervolg veldonderzoek van Stalpers (1995-a en 1995-b) heeft nieuw licht geworpen op de aannames omtrent de doorlatendheid van het gebied ter hoogte van het geplande infiltratieveld. Een ander element uit het plan dat nadere hydrologisch onderzoek verdient is de technische uitwerking van het voorgestelde oppervlaktewaterstelsel. Dit geldt voor de oppervlaktige afvoer uit de natuurgebieden, maar ook voor de detail-ontwatering van de resterende landbouwgebieden.

29 Zo kan de door Stalpers (1995-a) gevonden afwijkende doorlatendheid tot ingrijpende planwijzigingen leiden. Er moet wellicht naar een andere lokatie voor het winveld, met gunstigere bodemopbouw, worden gezocht. Anderzijds kan een andere wintechiek, bijvoorbeeld een oppervlaktewater winning, infiltratie in het bedoelde pakket overbodig maken. Het is daarbij ook denkbaar het overschot uit de natuurterreinen te verpompen naar de Holterberg, alwaar het na (diep)infiltratie kan worden gewonnen. De omvang van de onverzadigde zone in dat gebiedsdeel zou bovendien de aanleg van een spaarbekken overbodig maken. In het plan is deze mogelijkheid niet gekozen omdat het een kortsluiting van de hydrologische kringloop zou betekenen.

7 EPILOOG

7.1 De resultaten van het onderzoek

In dit proefschrift heeft de ecologisch-functionele betekenis van water voor de landschapsplanning centraal gestaan. Twee hoofdonderzoeksvragen - beide in twee subvragen onderverdeeld - hebben richting gegeven aan de studie.

De eerste onderzoeksvraag betreft het substantiële aspect van het onderzoek: de functie van water als landschapsvormende factor. De stromingsprocessen van grond- en oppervlaktewater zijn daarvoor van fundamentele betekenis. Aangedreven door een combinatie van natuurlijke (klimaat, geologie, topografie) en antropogene (grondwaterwinning, drainage, grondgebruik) sturingsmechanismen leiden deze processen tot een stelsel van ruimtelijke samenhangen in het landschap. Het door Tóth (1963) gepostuleerde grondwaterstromingsconcept is een mijlpaal geweest in begrip en beschrijving van dit ruimtelijke relatiestelsel. Op grond van dit stromingsconcept wordt duidelijk dat ten gevolge van de stromingsprocessen in grond- en oppervlaktewater een hiërarchische ordening van al dan niet met elkaar samenhangende ruimtelijke eenheden met een kenmerkende variatie in milieucondities in het landschap kan worden aangetroffen. Deze ordening is hier aangeduid als de hydrologische landschapsstructuur. De hydrologische systeemanalyse (Engelen en Jones, 1986; Engelen et al., 1989; Engelen en Kloosterman, 1996) is een voor ruimtelijke planvorming in het algemeen en voor landschapsplanning in het bijzonder geschikte methode om de hydrologische landschapsstructuur te kunnen beschrijven en toepassen. De hydrologische landschapsstructuur en de daarmee samenhangende ruimtelijke patronen vormen wat Spirn (1988) noemt "the deep structure" van het landschap en die zij van fundamentele betekenis acht voor planning en ontwerp van onze (toekomstige) leefomgeving.

De tweede onderzoeksvraag betreft de procedurele aspecten van het onderzoek en verwijst naar de wijze waarop hydrologische kennis bij planning en ontwerp kunnen worden gebruikt. Hiervoor zijn een serie ontwerpstudies uitgevoerd, waarvan een aantal is beschreven in deel 2 van dit proefschrift. Uit deze studies kan worden geconcludeerd dat hydrologische inzichten in de drie centrale onderdelen van het ontwerpproces - analyse, synthese en evaluatie - van belang zijn. In de landschapsanalyse ontstaat - naast een typering van de hydrologische landschapsstructuur in het betreffende gebied - een beter inzicht in de problematiek, de lokatie daarvan en van de daarvoor verantwoordelijke mechanismen. Hydrologische kennis kan via een scala aan planingsmaatregelen richtingen aangeven voor de aanpak van de problematiek. Via een systematische (hydrologische) evaluatie kan worden nagegaan in hoeverre de verkregen oplossingen daadwerkelijk tot realisering van de gestelde doelen leiden. Zo niet, dan kunnen nieuwe voorstellen worden geformuleerd en geëvalueerd, waarmee het cyclische karakter van het ontwerpproces gestalte krijgt.

De verzameling van min of meer vastomlijnde, in algemene termen beschreven procedurele stappen voor de toepassing van hydrologische inzichten in het ontwerpproces is hier gepresenteerd als een watersysteembenadering voor landschapsplanning. Deze benadering kan worden gezien als het procedurele resultaat van de voorbeeldstudies die zijn uitgevoerd binnen het onderzoek dat aan de basis ligt van onderhavig proefschrift. Op het substantiële vlak maken de voorbeeldstudies duidelijk dat hydrologische kennis voor de aanpak van de problematiek in de zandgebieden van Nederland van essentieel belang is. In de slot paragraaf van dit hoofdstuk wordt daarop nader ingegaan. Daaraan voorafgaande worden in § 7.2 een aantal kanttekeningen geplaatst bij de resultaten van het onderzoek.

7.2 Kanttekeningen bij de onderzoeksresultaten

7.2.1 *Het integreren van informatie in de landschapsanalyse*

Het landschap kan worden opgevat als een systeem: er is sprake van een verzameling elementen, met daartussen een complex geheel van relaties, die tezamen een geïntegreerd geheel - het landschap - vormen. De systeemanalyse - een methode afkomstig uit de systeemleer (Churchman, 1968; Bertalanffy, 1969; Hanken en Reuver, 1973) - biedt een kader om de complexiteit van systemen te beschrijven en hanteerbaar te maken. De methodiek van de systeemleer heeft in de vakgebieden van de landschapsarchitectuur en de hydrologie zijn intrede gedaan binnen de landschapsanalyse, respectievelijk in de vorm van de hydrologische systeemanalyse. De kracht van deze analyses is dat hiermee zeer diverse informatie uit een groot aantal verschillende bronnen aan elkaar gerelateerd kan worden. Karteringen van bodem, geomorfologie, topografie, geologie, vegetatie, et cetera; allen bevatten zij informatie over het landschap en over de hydrologische processen die daarin werkzaam zijn.

Dergelijke gegevens verschillen evenwel niet alleen qua inhoud, maar ook de methoden waarmee die informatie wordt verkregen, geïnterpreteerd, opgeslagen en weergegeven alsmede de datering kunnen aanzienlijk variëren. Het zonder meer integreren van de informatie uit al deze bronnen leidt dan ook tot problemen.

Een van de belangrijkste van die problemen betreft het ontstaan en de voortplanting van 'fouten' gedurende de verwerking van de gegevens. Burrough (1986) onderscheidt in dit verband een veertiental verschillende foutenbronnen¹, uiteenlopend van relatief eenvoudig te traceren onzuiverheden in het basismateriaal, tot de veel meer impliciete fouten die samenhangen met de weergave van de natuurlijke variatie of die voortkomen uit het verwerkingsproces zelf.

Door de toepassing van geografische informatiesystemen (GIS) is de discussie over deze problematiek geactualiseerd. De formalisering en explicitering van het verwerkingsproces, noodzakelijk om de analyses via computer-algoritmen uit te kunnen voeren, heeft het bestaan en het belang van bovenbedoelde fouten nog eens ondubbelzinnig aangetoond (Burrough, 1986).

Een voordeel van een geografisch informatiesysteem in dit verband is de mogelijkheid om relatief snel en eenvoudig een andere interpretatie of een verbetering van een bepaald gegeven, door te voeren. Anderzijds kleven aan het gebruik van geografische informatiesystemen ook een aantal bezwaren. Het gemak waarmee 'overlays' en andere combinaties van gegevens zijn te genereren, maakt de verleiding groot deze ook te maken, zonder veel aandacht voor de inherente beperkingen. De professionele presentatie en het predicaat van wetenschappelijkheid, dat met computerberekeningen in verband wordt gebracht, kunnen deze beperkingen versluieren. Tenslotte dient nog te worden opgemerkt dat het verwerkingsproces binnen de geografische systemen zelf ook een bron van het ontstaan van fouten kan vormen.

Het optreden van dit type fouten draagt nog eens bij tot de voorzichtigheid en zorgvuldigheid die bij de uitvoering en bij de interpretatie van de resultaten van de landschapsanalyses in acht genomen dienen te worden. Anderzijds pleit de hierboven beschreven problematiek voor het opzetten en uitbouwen van eenduidige databases waarin - in overleg met deskundigen uit verschillende relevante disciplines - (bestaande) informatie wordt verzameld en waarbij bedoelde 'foutenbronnen' expliciet aan de orde komen. Het bestand van de landschapsecologische kartering Nederland (zie bijvoorbeeld Harms en Klijn, 1996) vormt daartoe een goede aanzet voor gegevensbestanden op het nationale schaalniveau.

7.2.2 *De hydrologische systeemanalyse*

De hydrologische systeemanalyse is naar voren geschoven als een geschikte methode om in het kader van een landschapsanalyse de hydrologische structuur van het landschap te identificeren. Een belangrijke overweging daarbij is het gegeven dat

deze methode een integratiekader biedt voor een veelheid aan hydrologische en hydrologisch relevante informatie, die doorgaans ook in landschapsanalyses wordt verzameld. Het perspectief van de hydrologische systeemanalyse echter, maakt het mogelijk deze informatie te benutten voor een beter inzicht in cruciale (hydrologische) processen in het landschap. En daarmee tot een beter begrip van de feitelijke problematiek.

Een kwalitatieve interpretatie

De hierboven besproken problemen die samenhangen met het integreren van diverse informatiebronnen dwingen evenwel tot voorzichtigheid bij het gebruik van de resultaten uit hydrologische systeemanalyses. Dit geldt in het bijzonder voor situaties waarin is gekozen voor een voornamelijk kwalitatieve invulling van de analyse-methode, zoals het geval is in de eerste twee voorbeeldstudies.

Niettemin duiden de ervaringen uit de voorbeeldstudies erop dat een voornamelijk kwalitatieve invulling van de hydrologische systeemanalyse bruikbaar is voor toepassing op het strategische planningsniveau. Op deze wijze kan betrekkelijk snel en met relatief eenvoudige middelen een voor dit doel betrouwbaar inzicht worden verschaft in de kenmerken van de hydrologische landschapsstructuur. Een groot deel van de hiervoor gebruikte basisgegevens wordt al 'standaard' voor dergelijke planvormingsprocedures verzameld of is aanwezig in de vorm van landsdekkende karteringen. Een aantal voorbeelden uit de recente planningspraktijk onderschrijft deze stelling. Vergelijkbare hydrologische systeemanalyses liggen bijvoorbeeld ten grondslag aan het Natuurbeleidsplan, aan de Vierde Nota over de ruimtelijke ordening extra, aan het Waterhuishoudingsplan voor de provincie Noord-Brabant en aan het Beleidsplan natuur en landschap van de provincie Overijssel.

Een kwantitatieve interpretatie

Een kwalitatieve invulling van de hydrologische systeemanalyse is bij planvorming op het operationele niveau niet adequaat. Nu zijn immers de definitieve begrenzing en inrichting aan de orde. De relevante (sub)systemen en daarbinnen te onderscheiden eenheden moeten zo nauwkeurig mogelijk worden gelokaliseerd en kwantitatief uitgewerkt. Verschillende, meer of minder complexe, computermodellen staan hiervoor ter beschikking. De keuze voor een specifiek model is ook hier afhankelijk van een afweging van beschikbare middelen en te bereiken doelen. Voor het NADORST-project is mede op grond van pragmatische overwegingen gekozen voor een simulatie met het pakket MODFLOW^{EM}.

Hoewel via computer-modelleringen de kwantitatieve kenmerken van watersystemen kunnen worden verkend, dient niet uit het oog te worden verloren dat het ook hier steeds om benaderingen van de werkelijkheid gaat. De kennis van invoervariabelen, modelparameters en randvoorwaarden varieert sterk van kwaliteit. Zo zijn het reliëf en de neerslag relatief goed in beeld te brengen, terwijl de verdamping en de ophouw van de ondergrond doorgaans slecht bekend zijn. Leemten in en onzekerheden over dergelijke gegevens maken aannames dan onvermijdelijk. In het NADORST-project is als reactie hierop een cyclische werkmethode gevolgd, waarin via terugkoppelingen de geldigheid van de aannames is gecontroleerd. Niettemin geldt dat de kwaliteit van de resultaten van dergelijke berekeningen in sterke mate afhangt van de kwaliteit van de invoergegevens. Een voorbeeld kan dit illustreren.

Stalpers (1995-a en 1995-b) heeft - als vervolg op de NADORST-studie - onderzoek verricht naar de doorlatendheid van de ondergrond in het betreffende gebied. Hieruit blijkt dat ter hoogte van het geprojecteerde infiltratieveld de doorlatendheid van het watervoerende pakket, waarin de pompputten zijn gedacht, minder goed is dan eerder in het gebruikte MODFLOW-model was aangenomen. Onder overigens gelijke condities zou hierdoor de winbare hoeveelheid afnemen van 2.5 tot circa 1.5 miljoen m³. Dergelijke bijstellingen van de rekenresultaten kunnen de richting van de keuzes gedurende het planvormingsproces beïnvloeden. Zo heeft de Waterleiding Maatschappij Overijssel mede op grond van de bijgestelde inzichten in de doorlatendheid besloten plan NADORST niet uit te voeren.

7.2.3 De analyse van het grondgebruik

Na de identificatie van de hydrologische landschapsstructuur kan worden nagegaan op welke wijze de diverse vormen van grondgebruik zich daarin manifesteren als opstap naar een beter begrip van de problematiek in het betreffende gebied. Deze uitwerking is in § 3.2 (figuur 3.5) voorgesteld als een 'overlay'-procedure. Een aantal kanttekeningen bij de toepassing van deze schijnbaar simpele procedure zijn hier van toepassing.

De detaillering van de gebruikte gegevens

De uitvoering van de grondgebruiksanalyse wordt in de eerste plaats bemoeilijkt door een verschil in detail tussen de gegevens betreffende het grondgebruik en die omtrent de hydrologische verschijnselen. Het grondgebruik is in het algemeen zeer nauwkeurig bekend. Topografische kaarten, luchtfoto's of satellietbeelden maken het mogelijk ook op een regionaal niveau (relatief) gedetailleerd en ondubbelzinnig de grondgebruikspatronen te lokaliseren.

Voor de ligging van (vooral) de (grond)waterstromingsstelsels ligt dit anders. De begrenzing van de stelsels is - mede door de samenhang met relatief slecht bekende fenomenen als de opbouw van de ondergrond en het dynamische karakter van relevante processen - immers in belangrijke mate afhankelijk van interpretaties, aannames en voorspellingen, die discussie oproepen. Hierdoor vertonen de kaarten van de hydrologische systemen - ook in gebieden waarvan je op grond van bijvoorbeeld bodemkundige of geologische karakteristieken een grote(re) differentiatie mag verwachten - relatief grofschalige ruimtelijke patronen.

Een evidente illustratie van de hier bedoelde problemen doet zich voor bij de analyse van het grondgebruik versus de drinkwaterwinning. Een goede analyse wordt bemoeilijkt door het gebrek aan eenduidig bepaalde en (voldoende) betrouwbare informatie over de ligging van de intrekgebieden van de drinkwaterwingebieden. In Bijlage I is beschreven dat de diverse bronnen op dit vlak elkaar soms tegenspreken, hetgeen resulteert in (deels) sterk afwijkende ruimtelijke configuraties van de bedoelde intrekgebieden, hetgeen consequenties kan hebben voor de uitkomsten van de bedoelde analyse (bijlage I, figuren I.15a en I.15b).

Het moge duidelijk zijn dat dergelijke discrepanties in de hydrologische basisgegevens een verantwoorde inbreng in (beleidsmatige) toepassingsvelden als de ruimtelijke planvorming bemoeilijken. Gezien het belang dat aan deze inbreng wordt gehecht bij de voorbereiding van de Vierde Nota Waterhuishouding (zie bijvoorbeeld Berends et al., 1995), is het van groot belang te streven naar betrouwbare en eenduidige basisinformatie op nationaal en regionaal niveau. Voor de bepaling van de 'intrekgebieden' rond drinkwaterpompstations kan dit worden bereikt door - in overleg met betrokken instanties - gestandaardiseerde procedures en criteria overeen te komen.

De aanduiding van het grondgebruik

Een tweede probleempunt betreft de ruimtelijke aanduiding van het grondgebruik, het tweede vertrekpunt van de grondgebruiksanalyse. Een voorbeeld uit de studie voor het stroomgebied van de Regge kan dit illustreren. Hoewel in vergelijking tot bepaalde hydrologische verschijnselen relatief goed bekend, is het voor sommige vormen van grondgebruik moeilijk duidelijk en eenduidig de ruimtelijke positie te bepalen.

In de voorbeeldstudie van hoofdstuk 4 is getracht de positie van de natuurgebieden in de hydrologische landschapsstructuur te typeren. Maar daarbij rijst direct de vraag op: wat dient onder 'natuurgebieden' te worden verstaan? Zijn dat gebieden met een bepaalde juridisch(e) (beschermd) status, met bepaalde 'natuurwetenschappelijke betekenis' of gaat het om gronden met een specifieke aard en intensiteit van het grondgebruik? Bovendien is het nog van belang hoe nauwkeurig dergelijke gebieden op kaarten of anderszins zijn aangeduid.

In de voorbeeldstudie is hierbij uitgegaan van het digitale LGN-bestand (zie hoofdstuk 4). Als 'natuurgebieden' zijn aangenomen de categorieën 'heide', 'loofhout', 'naaldhout'

en 'overig natuur'. De beperkingen van dit gegevensbestand - 'echte fouten', vertekeningen die samen hangen met de raster-georiënteerde opslag-techniek, et cetera - zijn bij die keuze voor lief genomen. Evenals het feit dat eventueel zeer extensief landbouwkundig gebruikte gebieden (zoals bijvoorbeeld beheersgebieden) niet tot de natuurgebieden zijn gerekend. Bovendien gaat het om een bestand uit 1986 waarin op het moment wijzigingen zullen zijn opgetreden.

De interpretatie van het grondgebruik

Ook wanneer eenmaal een bevredigende aanduiding van de hydrologische landschapsstructuur en het grondgebruik voorhanden zijn, kan de interpretatie van de overlay's problematisch zijn, zeker wanneer geen veldwaarnemingen of betrouwbare kwantitatieve gegevens ter beschikking staan. Stel je bent geïnteresseerd in het grondgebruik in het infiltratiegebied van een aan kwelprocessen gekoppeld natuurgebied. Wanneer is nu van een reële bedreiging van de grondwaterkwaliteit in de kwelzone sprake ten gevolge van een intensief (landbouwkundig of urbaan) grondgebruik? In een studie van Stuurman en Van der Meij (1993) bijvoorbeeld, wordt gesteld dat dit het geval is bij een overwegend 'niet-natuurlijk' gebruik in infiltratiegebieden, mits de kwelafhankelijke natuurgebieden worden gevoed door ondiep of zeer ondiep grondwater. Maar, wat is 'overwegend'? Meer dan 50%; minstens 75%? Bovendien speelt hier weer het probleem van een kwalitatieve ten opzichte van een kwantitatieve benadering. Een relatief kleine oppervlakte met intensief landbouwkundig gebruik kan - wanneer dit areaal toevallig een groot deel van het betreffende kwelwater levert - een grotere bedreiging impliceren dan een groot areaal met een geringe bijdrage aan het grondwater in het natuurgebied.

Niet-hydrologische samenhangen in het landschap

Een laatste kanttekening in dit verband geldt de eenzijdige nadruk in de gepresenteerde analyse op hydrologische processen als bepalende factoren voor de samenhang tussen vormen van grondgebruik en de daaruit voortvloeiende (milieu)problemen. Ook andere agentia - zoals de lucht, mensen, andere organismen - spelen een rol bij samenhangen in het landschap. Vooral de atmosferische depositie van verzurende stoffen ('zure regen') is een wijd verbreid en belangrijk probleem in de wisselwerking tussen grondgebruiksvormen. Ondanks het gegeven dat de consequenties van deze depositie onder andere afhangen van de ter plekke aanwezige hydrologische condities, is het onwaarschijnlijk dat een benadering op basis van watersystemen hier voldoende soelaas zal bieden. Bij de zure depositie spelen processen een rol die zich in tijd en ruimte anders gedragen dan die binnen de hydrosfeer. Daartegenover kan worden gesteld dat in vergelijking tot hydrologische, atmosferische verschijnselen minder stuurbaar zijn. Dat wil zeggen dat de richting en de intensiteit van de optredende processen minder 'gecontroleerd' en bewust zijn te beïnvloeden om een bepaald gewenst effect te bereiken, waardoor ze vanuit een (ruimtelijke) planningsoptiek minder interessant lijken.

7.2.4 De planvorming

De inzichten in het functioneren van watersystemen kunnen via planningsmaatregelen op strategisch en operationeel niveau worden toegepast in het ontwerpproces. Een normatief vertrekpunt - uitgangspunten en doelstellingen - is evenwel noodzakelijk om het keuzeproces dat aan het ontwerpen eigen is (Lang, 1987), te sturen. Daarmee kan worden bepaald welke interpretatie van de beschikbare kennis en maatregelen voor een bepaalde situatie het meest geschikt wordt geacht. De hydrologische kennis maakt een beter begrip van problemen mogelijk, kan worden gebruikt voor het genereren van oplossingsrichtingen of het evalueren van de effecten van te treffen planningsmaatregelen. Met andere woorden, de kennis ondersteunt het maken van de keuzen tijdens het ontwerpproces, maar zal die keuzen en daarmee de normatieve intenties niet overbodig maken. Een 'plan' volgt nooit rechtstreeks uit kennis².

De planvorming op het strategisch niveau betreft de situering van een 'raamwerk'. Aan deze doelstelling liggen op minstens twee niveaus normatieve denkbeelden ten grond-

slag: één over de interpretatie van de problematiek en één omtrent de wijze waarop die kan worden aangepakt. De problematiek van de zandgebieden is opgevat als een spanningsveld tussen conflicterende vormen van grondgebruik, voortkomende uit diverse maatschappelijke aanspraken op de ruimte. Bij de aanpak daarvan is er niet naar gestreefd deze conflicten 'op te lossen' maar is bij het ontwerp gezocht naar mogelijkheden om beide typen aanspraken tot hun recht te laten komen. In navolging van het 'casco-concept' is een oplossing gezocht in een ruimtelijke ontkoppeling van de grondgebruikscategorieën door het ontwerp van een 'raamwerk'.

Hierbij past evenwel de aantekening dat ook andere interpretaties van de problematiek in de zandgebieden, of voor de aanpak daarvan, bestaan. Vanuit een afwijkend normatief vertrekpunt is het nog maar de vraag of het ontwerp van ruimtelijke netwerken als bepleit in hoofdstuk 1 een zinvolle optie is. Dat lijkt niet het geval binnen een overtuiging waarin bijvoorbeeld 'landbouw' en 'natuur' niet als principieel strijdige grondgebruikscategorieën worden opgevat, maar in elkaars verlengde liggen. Eenzelfde relativering geldt de planningsmaatregelen uit hoofdstuk drie, met name waar het maatregelen betreft die gericht lijken te zijn op een ruimtelijke scheiding van grondgebruiksvormen.

De planvorming op het operationele niveau is gericht op de combinatie van natuurontwikkeling en drinkwaterproductie. Ook hier zijn het normatieve overwegingen die richtinggevend zijn voor de keuzenmomenten gedurende het planningsproces. Andere normatieve vertrekpunten zouden tot andere interpretaties van de problematiek en of andere oplossingsrichtingen hebben geleid.

Het raamwerk

Het raamwerk zoals gepresenteerd voor het stroomgebied van de Regge is tot stand gekomen in een ontwerpproces waarvan de reikwijdte - ten gevolge van de gekozen doelen en uitgangspunten - is beperkt. De vraag hoe het raamwerk te situeren, gebruikmakend van hydrologische inzichten, heeft centraal gestaan. Het resultaat van de planvorming is geen (beleidsmatig) afgewogen, integraal (landschaps)plan op basis van het casco-concept, noch een uitwerking voor de 'ecologische hoofdstructuur' uit het Natuurbeleidsplan of het Natuurbeleidsplan voor Overijssel. In beide gevallen zou een ruimer onderzoeks- en afwegingsproces noodzakelijk zijn, waarbij uitwerking van de ecologische aspecten, de detaillering van het plan en de relatie met de beleidscontext meer aandacht verdienen. Het gepresenteerde plan moet vooral worden opgevat als een basis voor dergelijke plannen.

Uitwerking op ecologisch vlak

In de discussies en de literatuur omtrent de (ruimtelijke) planvorming voor natuur kan een onderscheid worden gemaakt tussen een 'soorten-', een 'ecosystemen- en een 'landschaps-' of 'structuur-gerichte' benadering (Harms, 1986; Harms et al., 1995). De eerste benadering richt zich op de planning en inrichting van habitats voor individuele soorten. De ecosysteem-gerichte benadering stelt niet de soort maar de levensgemeenschap of het ecosysteem centraal. In de laatste benadering staat het functioneren van het geheel van abiotische en biotische patronen en processen centraal. In het ontwerpproces hebben genoemde benaderingen hun eigen plaats en functie. De soorten-benadering leent zich vooral voor de evaluatie van planvoorstellen, terwijl de ecosystemen- en structuur-benaderingen het best aansluiten op de synthese fase van het ontwerpproces (Harms et al., 1995).

Het gepresenteerde raamwerk moet - vanuit dit perspectief - worden gezien als het resultaat van een 'landschaps- of structuur-gerichte' benadering. De hydrologische landschapsstructuur vormt een bruikbare en logische basis voor de toepassing van deze benadering. Het water vormt immers een van de meest fundamentele landschapsvormende factoren en leidt tot een duidelijke ruimtelijke structuur en hiërarchie in het landschap, met een daaraan gekoppelde sequentie van milieucondities.

Toepassing van de 'landschapsbenadering' op basis van de hydrologische landschapsstructuur lijkt vooralsnog voor de synthese-fasen binnen het ontwerpproces de meest

zinnige benadering. De resultaten zijn minder willekeurig dan die uit de beginperiode van de toepassing van het concept van de 'ruimtelijke netwerken' voor de planvorming voor natuur, waarin voorstellen werden gedaan om bestaande natuurgebieden min of meer lukraak met elkaar te verbinden (vergelijk Opdam, 1989). Ook lijkt de genoemde benadering - in de synthese-fase van het ontwerpproces - voornamelijk vruchtbaarder dan een 'soortengerichte' benadering. De toepassing van deze laatste benadering gaat gebukt onder een gebrek aan voldoende kennis omtrent individuele soorten en - in samenhang daarmee - onder de nog geringe duidelijkheid omtrent de te kiezen 'indicator-' of 'doelsoorten'. Zoals Harms et al. (1995) stellen lijkt de soorten-benadering zich dan ook het best te lenen voor de evaluatie van planvoorstellen. Volgens genoemde auteurs gaat het er dan om "zo nauwkeurig mogelijk aan te geven wat de consequenties zijn van een ontwerp. Deze activiteit is van analytische aard en vraagt om een meer reductionistische stellingname van de onderzoeker" (Harms et al., 1995, p. 85). De synthesefase in het planproces daarentegen vergt integratie van kennis. "Om de sprong te kunnen maken naar het ontwerp is een holistische stellingname van de onderzoeker noodzakelijk. Hierbij past een ecosysteemgerichte of landschapsgerichte benadering" (Harms et al., 1995, p. 85).

Deze opmerkingen maken evenwel duidelijk dat voor een nadere uitwerking van het raamwerk uit ecologisch perspectief een evaluatie op grond van een soortenbenadering een logische vervolgstap zou zijn. Naast aandacht voor het voorkomen van belangrijke planten- en diersoorten in de uitgangssituatie zou bij die evaluatie onder andere ook de te verwachten dispersiemogelijkheden en habitatkwaliteit in ogenschouw genomen moeten worden.

Detailering van het planvoorstel op operationeel niveau

Het gepresenteerde raamwerk roept op een aantal terreinen vragen op die door nadere uitwerking op een operationeel planvormingsniveau aan de orde dienen te komen. Eén van de aandachtsvelden in dit verband is de wijze waarop in het raamwerk natuur en drinkwaterproductie met elkaar kunnen worden gecombineerd. Dit aspect komt in hoofdstuk 6 aan de orde. Anderzijds zijn zaken buiten beschouwing gebleven, maar vragen eveneens om nadere aandacht.

Een voorbeeld daarvan is de relatie van het raamwerk met infrastructurele voorzieningen. Waar beken of gehele stroomgebieden door kanalen of grote verkeerswegen worden doorsneden, ontstaan knelpunten die - afhankelijk van de situatie - in mindere of meerdere mate via inrichtingsmaatregelen kunnen worden opgelost.

Een tweede punt van uitwerking betreft het vraagstuk van de urbane gebieden. De beïnvloeding van de (regionale) hydrologische omstandigheden door deze vorm van grondgebruik kan - althans theoretisch - via een gewijzigde inrichting worden vermindert. Het is evenwel de vraag welke maatregelen van plek tot plek nodig en mogelijk zijn en of de voorgestelde wijzigingen realistisch zijn. Een systematische evaluatie op dit vlak kan aanleiding geven tot wijziging van het planvoorstel. Naast de bestaande urbane gebieden kunnen daarbij ook de mogelijkheden voor noodzakelijke uitbreidingen van de stedelijke gebieden in de beschouwing worden betrokken.

Een derde punt van uitwerking betreft de landbouwgebieden buiten het raamwerk. Er blijven punten waar landbouwgebieden afwateren via gebieden die deel uitmaken van het raamwerk, met verontreiniging als mogelijk gevolg. Op dit vlak is nader onderzoek nodig naar de mogelijkheden om dergelijke verontreinigingen te voorkomen. Daarbij kan worden gedacht aan het scheiden van de (oppervlaktewater) stromen uit beide typen gebieden door de aanleg van aparte afvoerstelsels. Een dergelijke oplossing wordt in Twente momenteel nagestreefd voor de afvoer van water uit stedelijke en landelijke gebieden. Voorts kan het ontwerp van helofytenfilters (vergelijk Duel en Saris, 1986; Meuleman, 1987; Duel en During, 1990; Duel et al., 1991-a en 1991-b) op de uitstroompunten van de landbouwgebieden uitkomst bieden (Kerkstra en Vrijlandt, 1988). Het principe van de 'natuurlijke waterzuivering' (of zelf-reinigend vermogen) kan ook op het gehele landbouwkundig gebruikte stroomgebied worden toegepast. Dit impliceert een zodanige vormgeving en inrichting van de waterlopen dat van nature optredende zuiveringsprocessen worden gestimuleerd. Een laatste punt van aandacht in dit verband betreft de conservering van water binnen agrarische stroomgebieden. Door

het inbouwen van mogelijkheden voor de retentie van water, c.q. door het water te laten circuleren, kan de afvoer via de gebieden van het raamwerk wellicht worden verminderd. Dergelijke maatregelen kunnen mogelijk ook een rol spelen bij de bestrijding van verdroging van de betreffende gebieden.

De beperking van de planningsopgave en de relatie met de beleidscontext

Het planvoorstel voor het raamwerk heeft niet tot doel om een rol te spelen binnen het vigerende beleid voor het studiegebied. Er is bewust voor gekozen om beperkingen in het ontwerpproces aan te brengen. Deze zijn opgelegd om een van de centrale doelstellingen van het onderzoek - de toepassing van de ecologisch-functionele betekenis van water voor de landschapsplanning - zo helder mogelijk voor het voetlicht te brengen. Een complexe, veel omvattende planningsopgave is daarvoor niet nodig en zou te veel van het hoofddoel afleiden. Bovendien is niet zozeer het plan, maar veeleer de wijze waarop het tot stand is gekomen van belang.

Binnen een beleidscontext is een veel breder afwegingsproces noodzakelijk. Naast andere vormen van grondgebruik zou daarbij ook een beschrijving en analyse van op diverse schaalniveaus vigerend beleid aan de orde zijn. Daarbij spelen bijvoorbeeld de oppervlakte landbouwgronden die beschikbaar is voor uitbreiding van natuurgebieden, de mate waarin met vormen van grondgebruik kan worden geschoven en de mogelijkheden van het beschikbare instrumentarium een belangrijke rol. Zie in dit verband voorts de kritische kanttekeningen die zijn gemaakt bij het NADORST-project (hoofdstuk 6).

7.3 Water als centraal aandachtspunt in de problematiek van de Nederlandse zandgebieden

Ondanks kanttekeningen als hierboven vermeld, kan worden geconstateerd dat de ecologisch-functionele aspecten van water van grote betekenis voor de landschapsplanning zijn. Aan de basis daarvan ligt uiteraard het fundamentele belang van hydrologische processen voor de werking van het landschap en de daaruit resulterende variatie in milieucondities. Er zijn evenwel nog andere, deels van deze functionele betekenis afgeleide, overwegingen die 'water' interessant maken voor de landschapsplanning. Van de voornaamste in landschapsecologisch opzicht functionele agentia is het water relatief goed bekend. Bovendien is water ook goed 'stuurbaar', dat wil zeggen, dat het bewust en gericht kan worden beïnvloed om bepaalde hydrologische condities te creëren. Deze eigenschappen van de watersystemen vormen daarmee bruikbare instrumenten voor de (ruimtelijke) ordening en inrichting van het landschap en voor het evalueren van de effecten van de daaraan verbonden maatregelen.

Een volgende eigenschap van de watersystemen is de hiërarchisch geordende en dynamische structuur die deze in het landschap tot gevolg hebben. Daarmee wordt het mogelijk niet alleen in ruimtelijk opzicht relaties tussen delen van het landschap naar mate van belang te onderscheiden, maar ook temporele samenhangen te onderkennen. De functionele, hiërarchisch geordende structuur van watersystemen komt tot expressie in de zichtbare patronen van bijvoorbeeld de oppervlaktewaterstelsels of in die van de vegetaties. Juist die patronen vormen dankbare aanknopingspunten voor het ontwerp van een herkenbaar landschap, waarin de onderliggende functionele (ecologische) structuur tot expressie wordt gebracht. Het is ook niet toevallig dat in veel landschaps(structuur) plannen het afwateringspatroon als een 'drager' voor de (nieuwe) landschapsstructuur wordt aangegrepen.

Het planvoorstel uit hoofdstuk 5 maakt vervolgens duidelijk dat ook de planvorming voor natuurgebieden kan profiteren van een 'watersysteembenadering'. Interpretatie van de hydrologische landschapsstructuur maakt het mogelijk om op ecologisch-functi-

onele gronden netwerken van natuurgebieden te ontwerpen, die enerzijds de differentiatie van milieuocondities in het gebied omvatten en anderzijds zo goed mogelijk zijn gevrijwaard van storende relaties via de stroming van water. Zeker vanuit een positie dat een 'soorten-benadering' - mede door de vele kennisleemten - binnen de ontwerp-stappen (de synthesefase van het planningsproces) vooralsnog weinig goede resultaten heeft opgeleverd, is zo'n op de hydrologie gebaseerde, 'structuurgerichte-benadering' voor de planvorming van natuurgebieden waardevol.

Tot slot kan nog de voor landschapsplanning strategische betekenis van de natte fysiotopen worden genoemd. De specifieke ruimtelijke positie en de werking van deze fysiotoptypen brengt met zich mee dat veel van de problemen die in de Nederlandse zandgebieden zijn te vinden, in de betreffende delen van het landschap samenkomen. Bovendien leidt het scheppen van gunstige condities voor dit type gebieden ook tot betere voorwaarden elders. Het zoeken naar oplossingen voor de problemen in de Nederlandse zandgebieden via landschapsplanning krijgt op deze wijze een voor de hand liggend startpunt: de natte tot vochtige fysiotopen. De planningsarbeid kan in eerste instantie worden geconcentreerd op hetgeen één van de zwakste, maar tevens ook één van de meest bepalende, schakels in de keten van het landschap toeschijnt. De richtingsbepaling voor planvorming die hieruit voortvloeit, betekent niet dat de planningsopgave minder omvattend dient te zijn: de natte gebieden vormen een logisch startpunt, maar dat wil niet zeggen dat dit als het enige punt van aandacht is bedoeld.

In dit onderzoek is getracht aan te geven dat kennis van watersystemen in de drie belangrijkste fasen van het planvormingsproces - analyse, synthese, evaluatie - kan worden benut. De kennis draagt bij aan een scherpere definitie van de problematiek en aan betere oplossingen daarvoor. Een procedure zoals de in dit onderzoek gepropageerde watersysteembenadering biedt aanknopingspunten om die inzichten en kennis voor de ruimtelijke planvorming te ontsluiten en te mobiliseren. Tegelijkertijd brengt de toepassing een toetsing van die kennis mee en kan inzicht ontstaan in de leemten die door nader onderzoek kunnen worden vervuld. Het "zoek-en-leer-proces" - vergelijk Kleefmann, 1984 - uit dit onderzoek naar water en haar betekenis voor de landschapsplanning levert, naar ik hoop, een bijdrage aan een verantwoord gebruik van het natuurlijk potentieel dat ons ter beschikking staat.

1 Burrough (1986) stelt hieromtrent: "It is remarkable that there have been so few studies on the whole problem of residual variation and how errors arise, or are created and propagated in geographical information processing, and what the effects of these errors might be on the results of the studies made. ... The word 'error' is used here in its widest sense to include not only 'mistakes' but also to include the statistical concept of error meaning 'variation'." (p. 104).

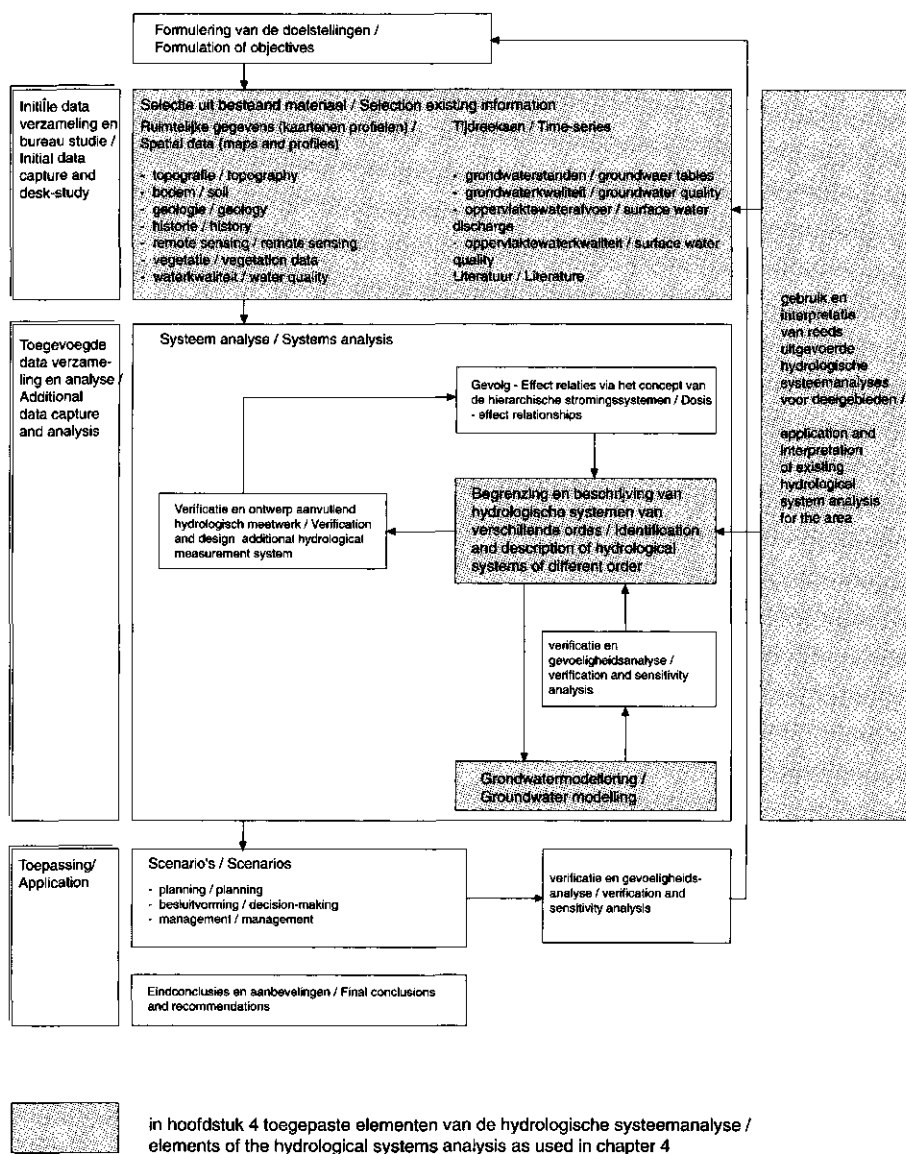
2 Vroom (1981) duidt hier in een uiteenzetting over de toepassing van de resultaten van systeemanalyses op wanneer hij stelt: "Bovendien vloeit uit het herkennen van een stelsel van relaties niet vanzelf een indeling en ruimtelijke vormen voort" (p. 175).

BIJLAGEN

I DE TOEPASSING VAN DE HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE

I.1 Inleiding

De belangrijkste onderdelen uit de hydrologische systeemanalyse ten behoeve van de voorbeeldstudies in hoofdstuk 4 en 5 zijn weergegeven in figuur I.1. Het betreft:



Figuur I.1
Een weergave van de wijze waarop de hydrologische systeemanalyse in hoofdstuk 4 is toegepast. Een kwalitatieve interpretatie van bestaande hydrologische data en eenvoudige computersimulaties staan centraal.

Figure I.1
A representation of the hydrological systems analysis as applied in chapter 4. A qualitative interpretation of existing hydrological data and simple computer simulations are central.

- een selectie en interpretatie van bestaande gegevens;
- het uitvoeren van (eenvoudige) computersimulaties met het model FLOWNET (Van Elburg et al., 1989);
- het integreren van de op deze wijze verzamelde informatie ten behoeve van de begrenzing van de hydrologische stromingsstelsels.

In al deze fasen is, waar mogelijk, gebruik gemaakt van hydrologische systeemanalyses van (delen van) het stroomgebied van de Regge (Engelen et al., 1989; Gieske, 1989; De Ruiter, 1989; Gieske, 1990; Hoogendoorn, 1992). Hierbij is - zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 4 - een onderscheid gemaakt tussen een historische en een huidige hydrologische toestand.

In deze bijlage worden een aantal achterliggende overwegingen betreffende de toepassing van de hydrologische systeemanalyse uiteengezet. De belangrijkste onderdelen die nader worden besproken zijn: de aanduiding van de infiltratie- en exfiltratiegebieden (§ 1.2), de computersimulaties met het model FLOWNET (§ 1.3) en de integratie van op deze wijze verkregen inzichten bij de begrenzing van de stromingsstelsels (§ 1.4).

1.2 De methode voor de aanduiding van de infiltratie- en exfiltratiegebieden

1.2.1 Inleiding

Voor de aanduiding van de gebieden waar infiltratie- dan wel exfiltratieomstandigheden kunnen optreden is - met enige nader te bespreken wijzigingen (§ 1.2.3) - gebruik gemaakt van een door Gieske (1989) beschreven methodiek. In deze methode staat een voornamelijk kwalitatieve interpretatie en integratie van informatie over geologie, bodem, grondwatertrappen, reliëf en topografie voorop. De door Gieske (1989) gebruikte methodiek van de hydrologische systeemanalyse kan representatief worden geacht voor de uitvoering van dergelijke analyses op een regionaal schaalniveau (vergelijk met Engelen, 1984; Stuurman et al. 1987; Bruggink et al., 1990). Bovendien betreft de studie van Gieske (1989) een groot deel van het studiegebied dat in de hoofdstukken 4 en 5 aan de orde is.

In § 1.2.2 worden de criteria besproken op grond waarvan - voor respectievelijk een historische en een huidige toestand - de infiltratie- en exfiltratiegebieden zijn aangeduid. De keuze van de criteria wordt nader toegelicht in § 1.2.3, waarna in § 1.2.4 de resultaten worden gepresenteerd.

Historische condities

Het systeem van bodemclassificatie (De Bakker en Schelling, 1966; Steur en Heijink, 1983) is mede gebaseerd op genetische aspecten. Water speelt in de bodemvorming een belangrijke rol. Met andere woorden, de huidige bodemkaart bevat indicaties over hydrologische condities in voorafgaande perioden. Ook de oude topografische kaarten bevatten indicaties omtrent historische hydrologische condities. Deze indicaties worden benut om, naast een aanduiding van de huidige gebieden met infiltratie- en exfiltratiecondities, een indruk te geven van die kenmerken in een historische toestand.

Indicaties voor historische hydrologische condities kunnen in eerste instantie worden ontleend aan de grondwatertrappenindeling. Zo wordt er in de toelichtingen op de betreffende bodemkaarten (Anonymus, 1979-a; Anonymus, 1979-b; Ebbers en Visschers, 1983; Steur en Heijink, 1989; Ebbers en Van het Loo, 1992) op gewezen dat grondwatertrappen met een *-aanduiding op het optreden van voorheen natte(re) condities duiden. Dit geldt ook voor de grondwatertrappen IV. In de huidige toestand wordt in deze gebieden de waterhuishouding gereguleerd.

Andere indicaties voor de historische hydrologische condities ontstaan wanneer grondwatertrappen worden gerelateerd aan de bijbehorende bodemtypering. Daarbij blijken bodemtypen voor te komen die niet in overeenstemming lijken met de genese van betreffende bodems. Voorbeelden zijn de in genetisch opzicht natte tot vochtige veen-

gronden of beekerdgronden met een droge grondwatertrap (bijvoorbeeld VI of VII). In het studiegebied kunnen dergelijke combinaties onder anderen worden verklaard uit het voorkomen van grondwateronttrekkingen en/of het intensieve oppervlaktewater-beheer.

Bodemkaarten bevatten tenslotte nog toevoegingen ('↑', '↓', '→' en '←') die wijzen op de uitvoering van cultuurtechnische werken (zoals bijvoorbeeld diepploegen, ophogen, ontgraven, et cetera). Dergelijke ingrepen hebben hydrologische consequenties. Voor een belangrijk deel betreft het hier de ontginning van - voorheen - natte gebieden (hoogveen, moeras- en broekgebieden, et cetera), veelal ook tot uiting komend in een grondwatertrap III*, IV, V* of zelfs nog droger. Voor de ten behoeve van dit onderzoek geïnterpreteerde historische hydrologische condities wordt aangenomen dat deze ontginningen nog niet hebben plaats gevonden. Dit geldt ook voor de hoogveengebieden; aan het begin van de 19e eeuw waren deze nog grotendeels in tact (vergelijk figuur 4.10-a).

De resultaten van de op deze wijze tot standgekomen indeling van infiltratie- en exfiltratiegebieden voor een historische situatie zijn tenslotte nog vergeleken met historische topografische kaarten. Hiermee ontstaat een, weliswaar kwalitatieve, toets van de interpretatie.

1.2.2 Criteria voor de indeling van infiltratie- en exfiltratiegebieden

De historische toestand

Bij de aanduiding van de infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden zijn vijf verschillende categorieën onderscheiden (figuur 1.2). Dit zijn:

- 1- de gebieden waar (duidelijke) 'infiltratiecondities' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 1-a tot en met 1-c in figuur 1.2);
- 2- de (overige) gebieden waar 'infiltratiecondities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 2-a tot en met 2-e in figuur 1.2);
- 3- de gebieden waar (duidelijke) 'exfiltratiecondities' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 3-a tot en met 3-e in figuur 1.2);
- 4- de (overige) gebieden waar 'exfiltratiecondities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 4-a tot en met 4-c in figuur 1.2);
- 5- de 'hoogveengebieden' (veelal gebieden waar de afvoer stagneert; de categorieën 5-a tot en met 5-c in figuur 1.2).

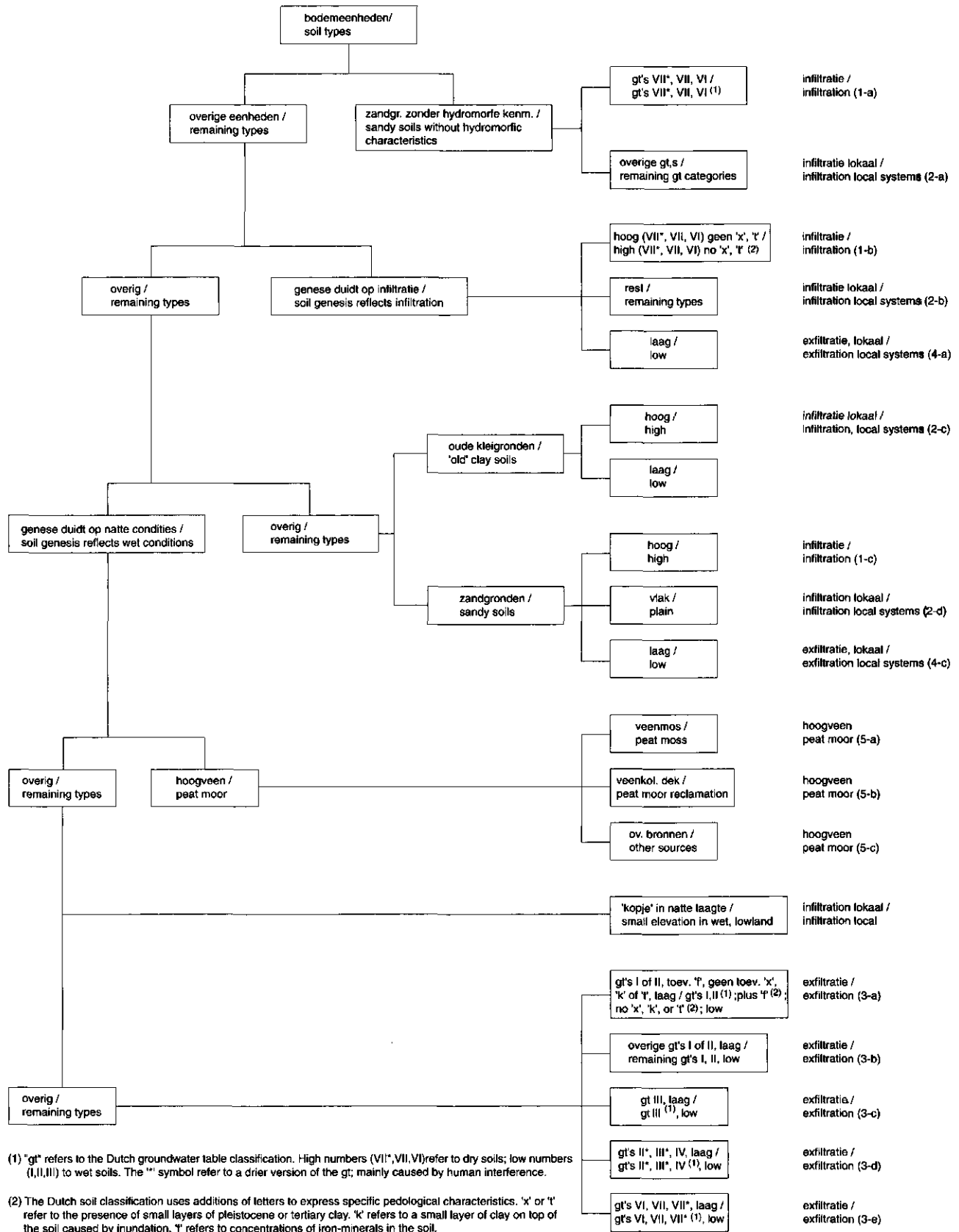
De wijze waarop de in het studiegebied voorkomende bodemeenheden over deze categorieën zijn verdeeld is in het boom-diagram van figuur 1.2-a weergegeven. Daarbij zijn diverse criteria toegepast. Deze worden hieronder kort aangeduid; in § 1.2.3 zijn deze nader toegelicht.

Hydromorfe kenmerken

Allereerst is gekeken naar het voorkomen van hydromorfe kenmerken¹. Zandgronden zonder deze kenmerken zijn gerekend tot gebieden met infiltratiecondities (zie § 1.2.3.1). Is daarbij bovendien sprake van grondwatertrappen VI, VII of VII*, dan zijn de betreffende gronden tot de eerste categorie infiltratiegebieden (hierboven bij 1 aangeduid) gerekend. Dit betreft overigens vrijwel alle in het studiegebied aan te treffen zandgronden zonder hydromorfe kenmerken. Uitzonderingen hierop vormen een serie enkeerdgronden met relatief 'natte' grondwatertrappen (< VI). Deze worden met name aangetroffen op relatief kleine terreinverheffingen in overigens vlakke gebieden (vergelijk met de 'eenmans-essen'). Deze bodemeenheden zijn gerekend tot de infiltratiegebieden, behorend bij stromingsstelsels van lokale orde (hierboven bij 2 aangeduid).

Genese duidt op infiltratie

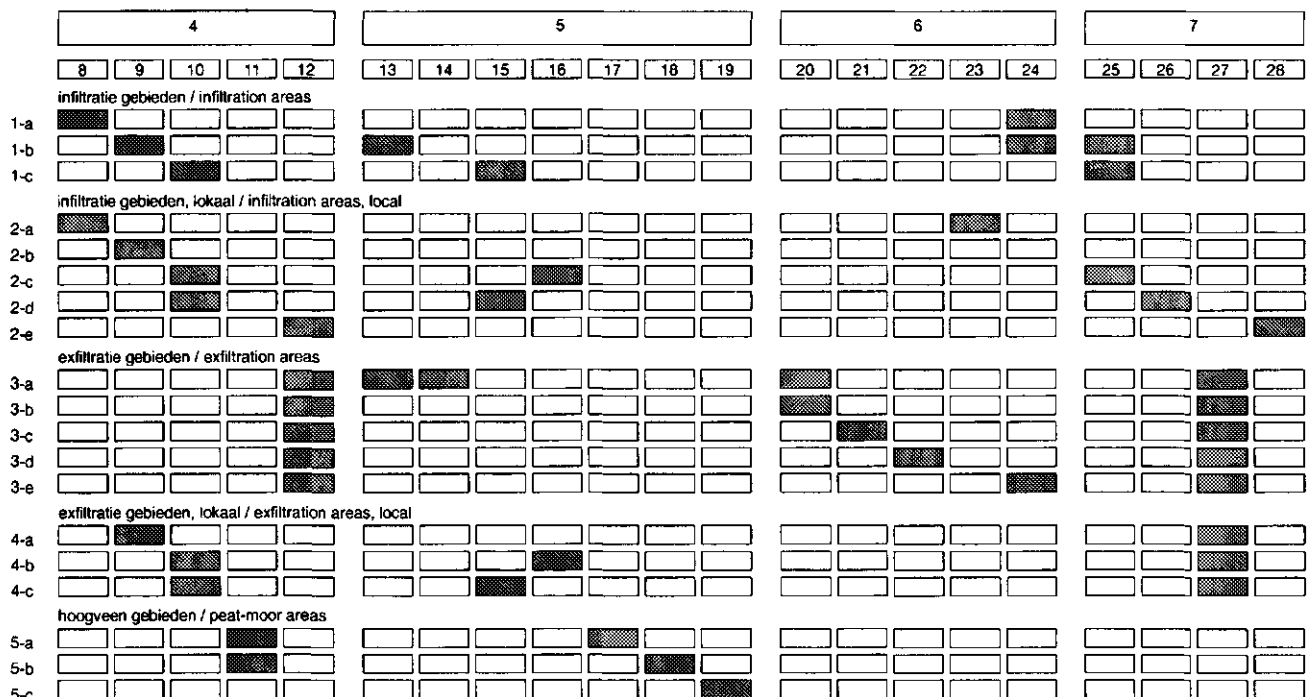
Binnen de bodemeenheden met hydromorfe kenmerken is een onderscheid gemaakt tussen gronden waarvan de genese ondubbelzinnig op infiltratie duidt en de overige typen. Hiertoe behoren in het studiegebied de 'natte podzolgronden' (code 'Hn'; § 1.2.3.4). Verdere indeling van deze gronden heeft plaats gevonden op basis van



(1) "gt" refers to the Dutch groundwater table classification. High numbers (VII*,VII,VI) refer to dry soils; low numbers (I,II,III) to wet soils. The "*" symbol refer to a drier version of the gt; mainly caused by human interference.
 (2) The Dutch soil classification uses additions of letters to express specific pedological characteristics. 'x' or 'r' refer to the presence of small layers of pleistocene or tertiary clay. 'k' refers to a small layer of clay on top of the soil caused by inundation. 'r' refers to concentrations of iron-minerals in the soil.

Figuur 1.2
 Een aanduiding van de wijze waarop in het studiegebied voorkomende bodemeenheden zijn geïnterpreteerd bij de indeling van de infiltratie- en exfiltratiegebieden in de historische toestand.
 a. Het stroomdiagram waarin de toepassing van de criteria voor de aanduiding van infiltratie- en exfiltratiegebieden is weergegeven.

Figure 1.2
 The interpretation of soil-types that was used to determine infiltration and exfiltration areas for the historic situation.
 a. The flow-chart representing the application of criteria for the determination of infiltration and exfiltration areas.



Legenda / Legend

1. categorie in tekst / categorie, used in text
2. bodemkaart / soil map
3. geomorfologische kaart / geomorphological map
4. bodemgenese en profielkenmerken; eerste niveau / soil genesis and soil characteristics; first level
5. bodemgenese en profielkenmerken; tweede niveau / soil genesis and soil characteristics; second level
6. grondwatertrappen / groundwater table classification
7. relatieve hoogteligging / relative elevation
8. geen hydromorfe kenmerken / no hydromorphological characteristics
9. genese duidt op infiltratie / soil genesis reflects infiltration
10. genese duidt niet op natte condities / soil genesis doesn't reflect wet conditions
11. aanwezigheid hoogveen / peat moor present
12. overige bodemeenheden met natte condities / remaining soil types representing wet conditions
13. geen toevoeging 'x', 'k' of 't' / no addition 'x', 'k' or 't' (2)
14. toevoeging 'f' / addition 'f' (2)
15. zandgronden / sandy soils
16. 'oude' kleigronden / 'old' (pleistocene or tertiary) clay-soils
17. aanwezigheid van veenmos / presence of peat moss
18. aanwezigheid van een z.g. 'veenkoloniaal dek' / presence of top soil that represents peat moor reclamation
19. aanwezigheid van hoogveen uit overige bronnen / presence of peat moor areas based on other sources
20. gt's I of II / gt's I or II (1)
21. gt III / gt III
22. gt's II*, III*, IV 'verdroogde' gt's / gt's II*, III*, IV; gt's that refer to drainage (1)
23. gt's kleiner dan VI / gt's smaller than VI
24. gt's VII*, VII of VI / gt's VII*, VII or VI (1)
25. hooggelegen / situated in 'heights'
26. gelegen in vlakte / situated in plain
27. laaggelegen / situated in 'lows'
28. kopje in natte laagte / small elevation situated in wet, lowland

Figuur 1.2

Een aanduiding van de wijze waarop in het studiegebied voorkomende bodemeenheden zijn geïnterpreteerd bij de indeling van de infiltratie- en exfiltratiegebieden in de historische toestand.

b. Het resultaat van de indeling, gerangschikt naar de onderscheiden categorieën ('infiltratiegebieden', 'infiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde', 'exfiltratiegebieden', 'exfiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde' en 'hoogveengebieden').

Figure 1.2

The interpretation of soil-types that was used to determine infiltration and exfiltration areas for the historic situation.

b. The resulting typology. The following categories are determined: infiltration areas, infiltration areas belonging to systems of local order, exfiltration areas, exfiltration areas belonging to systems of local order, peat moor areas.

de hoogteligging, de grondwatertrappen en het al dan niet optreden van storende lagen in het profiel (toevoegingen 'x' en 't' op de bodemkaart). De hoogst gelegen vertegenwoordigers van deze bodemeenheden (dat wil zeggen bij reliëf-subklasse groter dan 3 of groter of gelijk aan 3 bij de vormeenheid 'k' op de geomorfologische kaart), met droge grondwatertrappen en zonder storende laag in het profiel, zijn gerekend tot de (duidelijke) infiltratiegebieden van categorie 1. De overige 'natte podzolgronden' zijn ingedeeld bij de stromingsstelsels van lagere orde (categorie 2; zie § 1.2.3.4). Bij ligging in een beekdal volgens de geomorfologische kaart zijn deze gronden tot de exfiltratiegebieden van deze stromingsstelsels gerekend². De overige gebieden zijn bij de infiltratiegebieden van die stelsels ingedeeld.

De bodemkundige genese duidt niet op natte condities

Bij de bodemeenheden die na de toepassing van de hierboven besproken criteria nog resterend is een onderscheid gemaakt tussen bodems die wel en die niet onder natte milieucondities zijn gevormd. Tot deze laatste categorie behoren de zogenaamde 'oude kleigronden' (code 'K') en andere gronden waarvan de hydrologische condities (mede) door het voorkomen van oude klei worden bepaald (veelal tot uitdrukking komend in het optreden van de grondwatertrap V of V*; vergelijk § I.2.3.4), maar ook de zandgronden die als 'gooreerdgronden (code 'Zn') zijn gekarteerd. Beide bodemeenheden zijn op grond van (relatieve) hoogteligging nader ingedeeld.

De relatief hooggelegen oude kleigronden zijn tot infiltratiegebieden, behorend bij stromingsstelsels van lokale orde gerekend; de relatief laaggelegen oude kleigronden tot de exfiltratiegebieden daarvan. Voor wat betreft de gooreerdgronden is de nadere indeling vergelijkbaar met die van de natte podzolgronden (§ I.2.3.4).

De bodemkundige genese duidt wel op natte condities

De bodemeenheden die hier aan de orde zijn, zijn ontstaan onder natte tot zeer natte condities. Op basis van bodemkundige aanduidingen kunnen binnen deze categorie hoogveengebieden worden onderscheiden (§ I.2.3.3). Er is hier aangenomen dat dit het geval is voor bodems waarin nu nog veenmos wordt aangetroffen (dit betreft de bodemeenheden met de codes 'Vs', 'Vp', 'aVs', 'aVp', 'iVs', 'iVp', 'zVs', 'zVp' en 'AVo'). De gronden met een zogenaamd 'veenkoloniaal dek' (toevoeging 'i' op de bodemkaart) wijzen op het voorkomen van hoogveen in een historische situatie. Tenslotte zijn er ook andere bronnen op grond waarvan (voormalig) natte, venige of moerige gronden tot de hoogveengebieden zijn gerekend. In de toelichtingen bij de betreffende bodemkaarten wordt hierop gewezen, maar ook oude topografische kaarten verschaffen hier omtrent informatie.

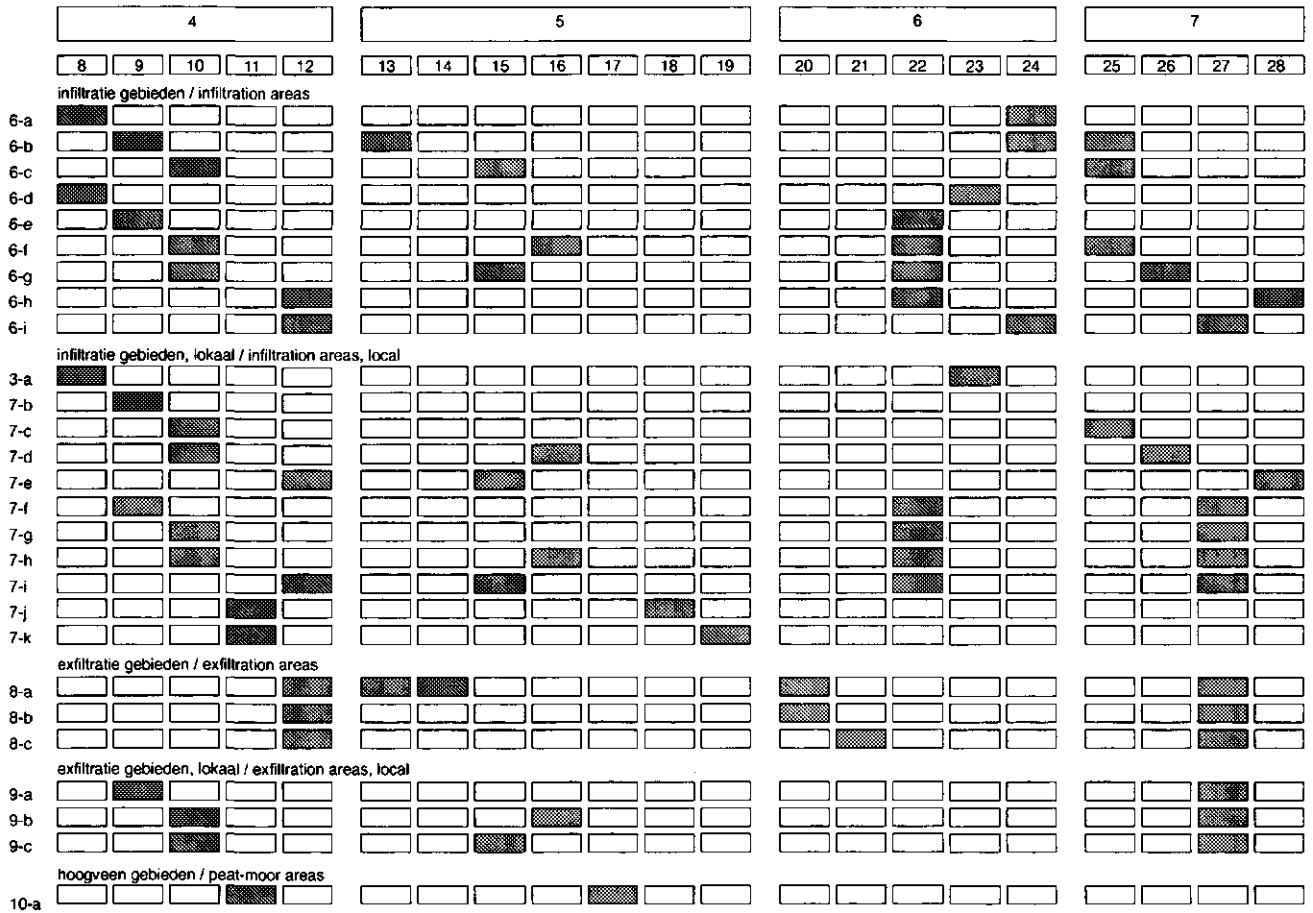
Voor de resterende genetisch natte tot zeer natte gebieden is vervolgens een tweedeling gehanteerd op grond van de (relatieve) hoogteligging. In het algemeen liggen deze gronden in laagten of laaggelegen vlakten. Daarbinnen zijn echter kleine kopjes te onderscheiden die wel op de geomorfologische kaart staan vermeld, maar op de bodem- en grondwatertrappenkaarten niet tot indeling in aparte legenda eenheden hebben geleid. De gronden op deze kopjes zijn ingedeeld bij de gebieden met infiltratie condities, behorend bij stromingsstelsels van lokale orde. De overige laaggelegen gronden, waarvan de genese op natte tot zeer natte condities wijst, zijn op grond van de voorkomende grondwatertrappen en het al dan niet optreden van storende lagen in het profiel tot de verschillende categorieën van de gronden met (duidelijke) exfiltratie condities gerekend.

In figuur I.2-b tenslotte is het resultaat van de toepassing van deze criteria nog eens samengevat. Daarbij is systematisch aangegeven welke (combinaties van) aanduidingen op de bodem-, grondwater- en geomorfologische kaarten tot indeling in een van de genoemde categorieën van infiltratie- exfiltratie- of hoogveengebieden heeft geleid.

De huidige toestand

Voor de aanduiding van de infiltratie- en exfiltratiegebieden in de huidige toestand zijn dezelfde vijf gebiedscategorieën onderscheiden als voor de historische situatie (figuur I.3):

- 6- de gebieden waar (duidelijke) 'infiltratiecondities' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 6-a tot en met 6-i in figuur I.3);
- 7- de (overige) gebieden waar 'infiltratiecondities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 7-a tot en met 7-k in figuur I.3);
- 8- de gebieden waar (duidelijke) 'exfiltratiecondities' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 8-a tot en met 8-c in figuur I.3);
- 9- de (overige) gebieden waar 'exfiltratiecondities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde' kunnen worden aangetroffen (de categorieën 9-a tot en met 9-c in figuur I.3);
- 10- de 'hoogveengebieden' (veelal gebieden waar de afvoer stagneert; de categorie 10-a in figuur I.3).



Legenda / Legend

1. categorie in tekst / categorie, used in text
2. bodemkaart / soil map
3. geomorfologische kaart / geomorphological map
4. bodemgenese en profielkenmerken; eerste niveau / soil genesis and soil characteristics; first level
5. bodemgenese en profielkenmerken; tweede niveau / soil genesis and soil characteristics; second level
6. grondwatertrappen / groundwater table classification
7. relatieve hoogteligging / relative elevation
8. geen hydromorfe kenmerken / no hydromorphological characteristics
9. genese duidt op infiltratie / soil genesis reflects infiltration
10. genese duidt niet op natte condities / soil genesis doesn't reflect wet conditions
11. aanwezigheid hoogveen / peat moor present
12. overige bodemeenheden met natte condities / remaining soil types representing wet conditions
13. geen toevoeging 'x', 'k' of 'f' / no addition 'x', 'k' or 'f' (2)
14. toevoeging 'f' / addition 'f' (2)
15. zandgronden / sandy soils
16. 'oude' kleigronden / 'old'(pleistocene or tertiary) clay-soils
17. aanwezigheid van veenmos / presence of peat moss
18. aanwezigheid van een z.g. 'veenkoloniaal dek' / presence of top soil that represents peat moor reclamation
19. aanwezigheid van hoogveen uit overige bronnen / presence of peat moor areas based on other sources
20. gt's I of II / gt's I or II (1)
21. gt III / gt III
22. gt's II*, III*, IV 'verdroogde' gt's / gt's II*, III*, IV; gt's that refer to drainage (1)
23. gt's kleiner dan VI / gt's smaller than VI
24. gt's VII*, VII of VI / gt's VII*, VII or VI (1)
25. hooggelegen / situated in 'heights'
26. gelegen in vlakke / situated in plain
27. laaggelegen / situated in 'lows'
28. kopje in natte laagte / small elevation situated in wet, lowland

Figuur 1.3

De criteria voor en het resultaat van de indeling in infiltratie- en exfiltratiegebieden voor de huidige toestand.

Figure 1.3

The criteria for and the results of the determination of infiltration and exfiltration areas for the present situation.

De indeling als afgeleid voor de historische situatie is hierbij steeds als uitgangspunt genomen. Is er evenwel in de aanduiding op de bodemkaart of op de grondwatertrappenkaart - of in de specifieke combinatie van beiden - een aanwijzing te vinden voor een 'verdroogde' situatie, dan zijn de desbetreffende gebieden doorgaans in de naast liggende, 'drogere' categorie ingedeeld. Dit betekent bijvoorbeeld dat verdroogde varianten van de gebieden die voor de historische situatie zijn ingedeeld in de categorie

'infiltratiecondities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde', voor de huidige situatie zijn gerangschikt in de categorie gebieden waar (duidelijke) 'infiltratiecondities' kunnen worden aangetroffen, enzovoorts. Een uitzondering geldt hier voor de genetisch natte tot zeer natte gronden met zeer droge grondwatertrappen (categorie 3-e in de indeling voor de historische situatie). In deze situatie is de verdroging zodanig van omvang dat deze gronden voor de huidige situatie zijn gerekend tot de gebieden met (duidelijke) infiltratiecondities (categorie 6-i voor de huidige situatie). De minder ernstig verdroogde varianten van de genetisch natte tot zeer natte gronden (categorie 3-d in de historische situatie) zijn voor de huidige situatie gerekend tot de (overige) gebieden met infiltratie condities, veelal behorend tot stromingsstelsels van lokale orde (categorie 7-i in de huidige situatie). In § 1.2.3.2 wordt hierop nader ingegaan.

Aanduidingen op de bodem- of grondwatertrappenkaarten die als aanwijzingen voor verdroging zijn gebruikt zijn de reeds eerder genoemde "*" toevoeging aan de grondwatertrappen, alsmede het optreden van grondwatertrappen IV, V*, VI, VII of VII* bij genetisch natte gronden, al dan niet in combinatie met de toevoegingen op de bodemkaart die wijzen op de uitvoering van cultuurtechnische werken.

Op grond van deze argumenten is het aantal categorieën dat is onderscheiden bij de infiltratiegebieden sterk uitgebreid. Naast de 'onveranderde' tegenhangers van de gebieden met infiltratie condities uit de historische situatie (respectievelijk de nummers 6-a tot en met 6-c en 7-a tot en met 7-e) verschijnen een groot aantal nieuwe categorieën bij de infiltratiegebieden. Bij de nummers 6-d tot en met 6-h betreft het verschuivingen binnen de als gebieden met infiltratie condities aangeduide gronden. Bij 6-i en bij de situaties 7-f tot en met 7-i betreft het een omslag van exfiltratie naar infiltratie. Bij de situaties van 7-j en 7-k gaat het om de overgang van hoogveengebieden naar infiltratiegebieden.

1.2.3 Toelichting bij de keuze van de criteria

1.2.3.1 De infiltratiegebieden

Gieske (1989) rekent tot de infiltratiegebieden die gronden die aan de volgende criteria voldoen:

- bodems zonder hydromorfe kenmerken met grondwatertrap VII of VII*;
- bodems met hydromorfe kenmerken met grondwatertrap VII of VII* voorzover gelegen op terreinvormen van de geomorfologische kaart met reliëfsubklassen 4 of hoger;
- bodems met grondwatertrappen VI, V of IV voorzover gelegen op terreinvormen met reliëfsubklasse 4 of hoger.

In grote lijnen zijn deze criteria hier overgenomen. Niettemin zijn hier een aantal kanttekeningen op hun plaats, op grond waarvan de criteria - ten opzichte van de van Gieske (1989) zijn aangepast.

Ten eerste het door Gieske (1989) gehanteerde reliëf-criterium. De reliëfsubklasse 4 van de geomorfologische kaart duidt op lokale hoogteverschillen van 1.5 tot 5 meter. Een groot deel van de in het studiegebied te onderscheiden dekzandkoppen en -ruggen zouden hierdoor niet tot de infiltratiegebieden gerekend worden. Het is evenwel aannemelijk dat ook lokale hoogteverschillen van minder dan 1.5 meter lokale stromingsstelsels kunnen initiëren. Gieske (1989) illustreert in haar rapport met behulp van een modellering met FLOWNET immers dat een potentiaalverschil van 10 cm in het vlakke, centrale deel van Twente tot het ontstaan van een afzonderlijk grondwaterstromingsstelsel leidt (pag. 56-57). Andere auteurs (Vissers et al., 1985; Van Beusekom et al., 1990) bepleiten in dit verband dan ook het hanteren van hoogteverschillen van 0.5 meter of meer. In verband hiermee wordt het reliëf-criterium in dit onderzoek gelegd bij reliëfsubklasse 3, voorzover het duidelijke, lokale terreinverheffingen betreft (hiervoor is de vormeenheid "k" op de geomorfologische kaart - geïsoleerde lage heuvels, ruggen en welvingen - aangehouden). Is een dergelijke aanduiding op de geomorfologische kaart van toepassing, dan is de aanduiding 'hoog' met betrekking tot de relatieve hoogteligging gebruikt.

Een tweede opmerking geldt de wijze waarop bodemkundige profielkenmerken - met name de hydromorfe kenmerken - worden betrokken bij de aanduiding van infiltratiegebieden. Alleen bij de grondwatertrappen VII of VII* wordt door Gieske (1989) de

afwezigheid van hydromorfe kenmerken als duidelijk infiltratie-criterium gehanteerd. Vissers et al. (1985) daarentegen betrekken bij bodems met zowel grondwatertrap VI als VII en VII* de afwezigheid van hydromorfe kenmerken ter aanduiding van infiltratiecondities. Dit standpunt is hier overgenomen.

Bezien we de situatie in het studiegebied dan zou de interpretatie van Gieske (1989) ertoe leiden dat de veldpodzolgronden niet als infiltratiegebied worden aangemerkt. Dit lijkt in strijd met uit de bodemkundige literatuur bekende waarneming dat podzolgronden vooral voorkomen in gebieden met een "aanzienlijke inzijging. Voor de hydro-podzolgronden is dit in ons land een bepalende factor. ... Is de inzijging te gering, of komt zelfs kwel voor, dan ontbreken de humuspodzolgronden" (Pape, 1979; pag. 326). In verband hiermee zijn in dit onderzoek de genetische aspecten van de bodemvorming nadrukkelijker in aanmerking genomen. Naast de door Gieske (1989) genoemde categorieën zijn in verband hiermee ook bodems met hydromorfe kenmerken, waarvan de genese ondubbelzinnig op infiltratie duidt (i.c. de natte podzolgronden), tot de infiltratiegebieden gerekend (zie voorts § 1.2.3.4).

1.2.3.2 De exfiltratiegebieden

Gieske (1989) rekt de gronden met grondwatertrappen I, II en III (met inbegrip van eventueel met een ** aangeduide drogere varianten hiervan) tot de "potentiële exfiltratiegebieden"³. Alleen de gronden met grondwatertrap I en II worden - met uitzondering van sommige hoogveengebieden - als "permanente kwelgebieden" beschouwd. Ook hier zijn enige kanttekeningen op zijn plaats.

De grondwatertrappen I, II en III indiceren natte tot vochtige condities. Deze condities kunnen - in het algemeen - het gevolg zijn van het al dan niet gecombineerd optreden van exfiltratie, stagnatie en of inundatie. Deze fenomenen zijn, op grond van alleen bodemkundige indicaties, niet zonder meer van elkaar te onderscheiden. Niettemin zijn er een aantal kenmerken die nader inzicht verschaffen in de aan te treffen hydrologische condities⁴.

Het optreden van de grondwatertrappen I of II, bij de afwezigheid van storende lagen (toevoeging 'x' of 't') en bij afwezigheid van een kleidek (toevoeging 'k') of van kleigronden, bij het optreden van ijzerconcentraties ('f') in de laagste delen van hellende terreinen (dalvormen geomorfologische kaart) wijst op min of meer permanente exfiltratiecondities. In andere gevallen kan stagnatie en/of inundatie niet zonder meer als (mede)oorzaak van de natte condities worden uitgesloten. Op grond van deze overwegingen zijn bij de gebieden waar (duidelijke) exfiltratie condities kunnen worden aangetroffen de categorieën 3-a tot en met 3-c (voor de historische situatie) en 7-a tot en met 7-c (voor de huidige situatie) apart onderscheiden.

Het voorkomen van grondwatertrappen IV en die met de toevoeging ** wijst, volgens de toelichtingen bij de betrokken bodemkaarten, op bodems waar door verbetering van de waterhuishouding de hoogste grondwaterstanden niet meer optreden. Er zijn ten gevolge van de waterhuishoudkundige maatregelen complexen van kleine stromingsstelsels gevormd. De veronderstelling ligt voor de hand dat het hier gaat om gebieden waar door een verbeterde af- en ontwatering (meer waterlopen, lagere peilen) kwelstromen zich nog slechts in waterlopen manifesteren. De uitgangen van de stelsels liggen in de greppels, sloten, waterlopen, en dergelijken; de ingangen in de tussengelegen terreinen. Soms liggen deze lokale stelsels gesuperponeerd op stelsels van een hogere orde, die uitstromen in de ont- en afwateringsmiddelen. Deze omstandigheden komen onder andere voor rondom Rijssen en Enter. De resultaten van een kartering van z.g. 'kwel kenmerken' (zowel vegetatiekundig als 'optisch'; Kok et al., 1988) in dit gebied wijzen er op dat momenteel de 'diepe' kwel beperkt blijft tot (de randen van) het waterlopenstelsel.

In verband hiermee worden de gronden met grondwatertrap met een *-aanduiding of die met grondwatertrap IV (die ook op drainage duidt) in een aparte categorie ingedeeld (3-d voor de historische situatie). Voor de huidige toestand zijn deze ten gevolge van waterhuishoudkundige verbeteringen verdroogde gronden in verband met bovenstaande overwegingen ingedeeld bij de categorie van de (overige) infiltratiegebieden behorend bij stromingstelsels van een lokale orde⁵ (categorie 7-i).

Een laatste opmerking ten aanzien van de aanduiding van "potentiële kwelgebieden" door Gieske (1989) betreft weer de geringe aandacht voor de bodemgenese. De alom in het studiegebied aanwezige natte humuspodzolgronden (vaak gekenmerkt door een grondwatertrap III of III*) worden door Gieske (1989) als exfiltratiegebieden aangeduid. Gezien de sterk op inzijing wijzende genese moet dit als een onjuistheid gezien worden. In dit onderzoek zijn de betreffende gronden dan ook gerekend tot de gebieden waar infiltratie condities voorkomen (zie ook I.2.3.1 en I.2.3.4).

1.2.3.3 De hoogveengebieden

Hoogveengebieden omvatten zeer natte bodems waarvan, gezien het ombrotrofe (of regenwater-afhankelijke) karakter van de vegetatie, moeilijk kan worden gesteld dat er exfiltratie condities heersen. De hoogveengronden worden, gezien hun ingewikkelde hydrologische gesteldheid (vergelijk Schouwenaars, 1990), dan ook in een aparte categorie ondergebracht.

Voor de ontgonnen hoogveengebieden geldt in feite dezelfde situatie als voor de -gedraineerde exfiltratiegebieden. Ook hier worden - via waterhuishoudkundige maatregelen - lokale stromingsstelsels in stand gehouden. De voormalige hoogveengebieden fungeren als ingangen daarvan, terwijl de drainagemiddelen de uitgangen van deze lokale stelsels vormen. Voor de huidige situatie zijn de ontgonnen hoogveengebieden dan ook ingedeeld bij gebieden met infiltratiegebieden (categorieën 7-j en 7-k).

De moerige podzolgronden

De moerige podzolgronden zijn voor een deel ontstaan als resultaat van de ontginning van het (hoog)veen. Voorzover dit is achterhaald in de bij de bodemkaarten behorende toelichtingen, zijn de betreffende kaartvlakken voor de historische situatie bij de hoogveengebieden gerangschikt. Van de overige gronden uit deze categorie wordt de relatief lage ligging in het landschap vermeld. Op grond hiervan worden deze gronden dan ook gerekend tot de gebieden waar exfiltratiecondities kunnen worden verwacht. Dit verklaart bovendien de - nog steeds - natte tot zeer natte condities (grondwatertrap II) die hier veelal worden aangetroffen.

1.2.3.4 De overige infiltratie en exfiltratie gebieden

De gronden met grondwatertrap V of V*; de 'oude kleigronden'

De gronden met grondwatertrap V (V*) - veelvuldig in het studiegebied voorkomend - vertegenwoordigen specifieke en complexe situaties⁶. Deze grondwatertrap, zo vermeldt de toelichtingen van de bodemkaarten (Anonymus, 1979-a; Anonymus, 1979-b; Ebbers en Visschers, 1983; Steur en Heijink, 1989; Ebbers en Van het Loo, 1992), hangt samen met de aanwezigheid van zogenaamde 'oude klei' (Tertiaire klei en/of keileem) aan of relatief dicht onder het maaiveld en worden hier voor het gemak aangeduid als de 'oude kleigronden'. Deze klei heeft een gering poriënvolume, bijgevolg leidt een gering neerslagoverschot al tot hoge grondwaterstanden. Een relatief geringe verdamping leidt tot een sterke daling van het grondwaterniveau. Met andere woorden, de betreffende bodems kunnen slechts een gering deel van het neerslagoverschot bergen en of via grondwaterstroming tot afvoer brengen. In de betreffende gebieden worden aldus wisselend natte (vochtige) tot droge omstandigheden aangetroffen. Deze veronderstelling wordt ondersteund door het droogvallen van beektrajecten in deze gebieden (Heijdeman en Peters, 1979) in de zomerperiode. In situaties waar een dunne zandlaag op de oude klei aanwezig is zijn doorgaans humuspodzolen ontwikkeld. Zoals vermeld hangt de verbreiding van deze grondwatertrappen grotendeels samen met het voorkomen van bodems met 'oude klei' (code KX of KT of de toevoegingen 'x' of 't'). Waar deze 'oude klei' evenwel dieper dan 1.20 m beneden maaiveld begint, wordt deze doorgaans niet op de bodemkaart als zodanig aangegeven, maar kan wel op de waterhuishouding - en dus op de aangetroffen grondwatertrap - van invloed zijn. In dergelijke gronden kan aldus een situatie worden voorgesteld waarin ondiepe stromingsstelsels van een lokaal karakter optreden. De stroming vindt plaats vanaf de hoger gelegen terreingedeelten naar direct aangrenzende laagten. Onder droge condities zullen de stelsels droogvallen. In natte perioden zal sprake zijn van ondiepe grond-

waterstroming en/of oppervlakkige afvoer. Als gevolg hiervan worden de betreffende gronden gerekend tot de gebieden met stromingsstelsels van lokale orde. Op basis van de relatieve hoogteligging (de aanduidingen op de geomorfologische kaart) wordt hierbinnen een onderscheid gemaakt tussen de hogere en lagere gedeelten als indicatie voor respectievelijk infiltratie- en exfiltratiegebieden. Deze zienswijze komt overeen met de bevindingen van Hoogendoorn (1992). Deze stelt (pag. 41): "Mede door de slechte doorlatendheid van de ondergrond, waardoor het grondwater al gauw het maaiveld bereikt, vormt het verloop van de maaiveldhoogte een belangrijke factor in de geometrie van de systemen. Uitgangen van systemen komen voor op plaatsen c.q. zones waar hellingsveranderingen in het maaiveld optreden en uiteraard in terreinlaagten (beekdalen, kommen)".

In vlakke gebieden met oude klei (dicht) aan het maaiveld ontstaan andere condities. Het neerslagoverschot kan nu niet worden afgevoerd, uitmondend in stagnatie van de afvoer. De (oorspronkelijk) natte grondwatertrappen die hieruit resulteren, zijn niet (zonder meer) aan exfiltratie toe te schrijven. Veelal hebben dergelijke omstandigheden tot de ontwikkeling van hoogveen aanleiding gegeven.

De veldpodzol- en gooreerdgronden

Deze gronden nemen in het landschap een uitgesproken intermediaire positie in tussen de hogere gronden op de dekzandruggen en andere terreinverheffingen en de lage gronden in de beekdalen. Bij deze gronden zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

Bij de relatief natte gronden uit deze categorie is doorgaans een koppeling aanwezig met slecht doorlatende formaties: keileem en/of tertiaire klei. Dit kan blijken uit het voorkomen van de toevoegingen 'x' of 't', maar ook bepaalde natte grondwatertrappen (V of III) kunnen in deze richting wijzen (de slecht doorlatende laag zit dan kennelijk te diep om in de bodemkartering tot uiting te komen). In deze gevallen worden de betrokken bodems gerekend tot de hierboven besproken categorie van gronden die samenhangt met de grondwaterstromingsstelsels van een lokale orde met wisselend natte tot vochtige condities. Pape (1979; pag 375) stelt hieromtrent: "In gebieden met slecht doorlatende ondergronden komen veel humuspodzolgronden voor, vooral op natte plaatsen met een opvallende dikke gebleekte laag. Zij zijn gebonden aan die plaatsen, waar men door een geringe helling een zijdelingse waterbeweging kan verwachten".

Voorzover deze gebieden relatief laag gelegen zijn, dat wil zeggen in een beekdal volgens de geomorfologische kaart, dan worden ze tot de inkomst of exfiltratiegebieden van deze lokale stelsels gerekend. Is er bovendien sprake van een grondwatertrap met een "x"-aanduiding of van grondwatertrap IV, dan zijn betrokken gronden als ontwaerd aangemerkt en ingedeeld in de categorieën onder 7 voor wat betreft de huidige situatie.

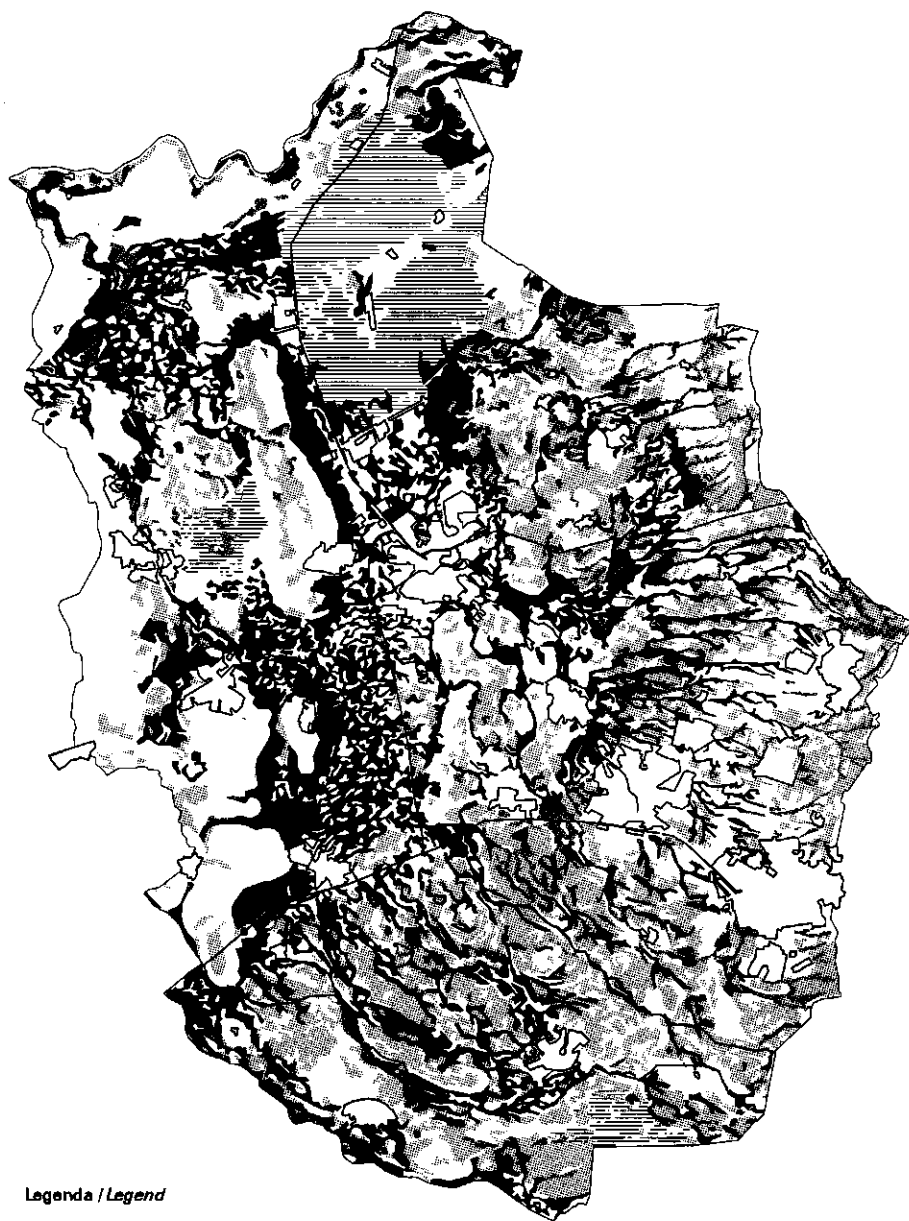
De veldpodzolen of gooreerdgronden die relatief hoog in het landschap liggen, die een droge grondwatertrap hebben en waar geen geen slecht doorlatende lagen in het profiel voorkomen zijn ingedeeld in de categorie van de (duidelijke) infiltratiegebieden (categorie 1-c in de historische en categorie 6-c voor de huidige situatie).

1.2.4 De resultaten



De interpretaties op grond van bovenstaande criteria voor respectievelijk de historische en de huidige toestanden hebben geleid tot de kaarten van de figuren 1.4 en 1.5. Deze kaarten worden - op hoofdlijnen - besproken in hoofdstuk 4 van dit proefschrift, waarin tevens wordt ingegaan op de verschillen tussen beide kaartbeelden.

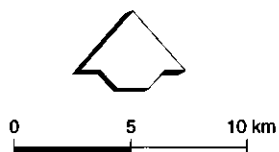
In figuur 1.6 is - op basis van de Topografische en Militaire kaarten - een kaart met 'natte tot vochtige' gebieden van rond 1850 gemaakt. Voor deze 'historisch natte gebieden' zijn de volgende legenda eenheden van genoemde topografische kaarten weergegeven:

- moeras, laagveen met veenputten, lage heide met veenplas of ven, hoogveen met veenputten;
- grasland (lage, respectievelijk hoge weide?).



Legenda / Legend

-  infiltratiegebieden /
infiltration areas
-  infiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde /
infiltration areas of groundwater flow systems of local order
-  exfiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde /
exfiltration areas of groundwater flow systems of local order
-  kwelgebieden /
exfiltration areas
-  hoogveengebieden /
peat moor areas
-  stedelijke gebieden /
urban areas
-  waterlopen en kanalen /
streams and canals

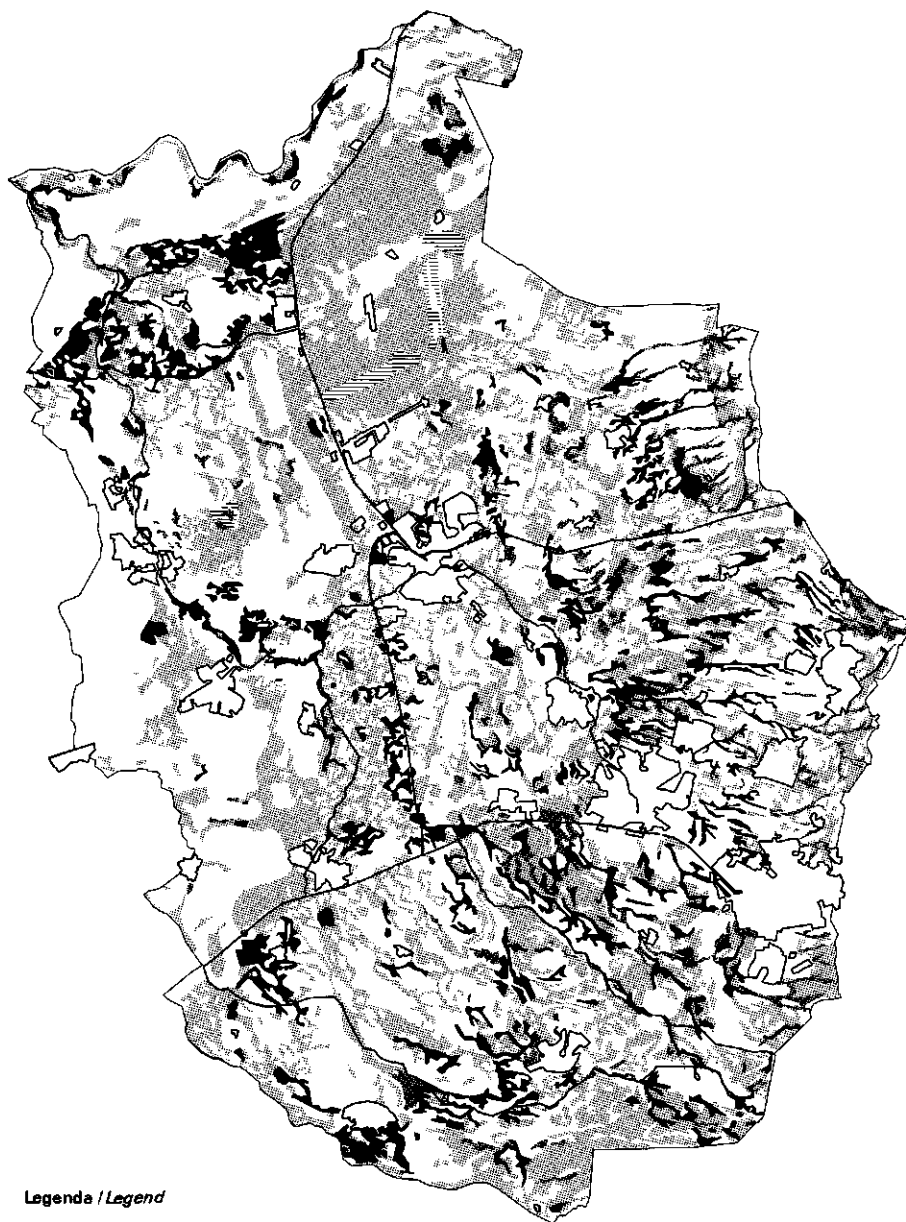


Figuur 1.4


De infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden in het studiegebied, zoals gereconstrueerd voor de historische situatie.

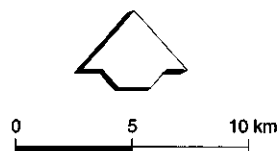
Figure 1.4

The infiltration, exfiltration and peat moor areas as reconstructed for the historic situation.



Legenda / Legend

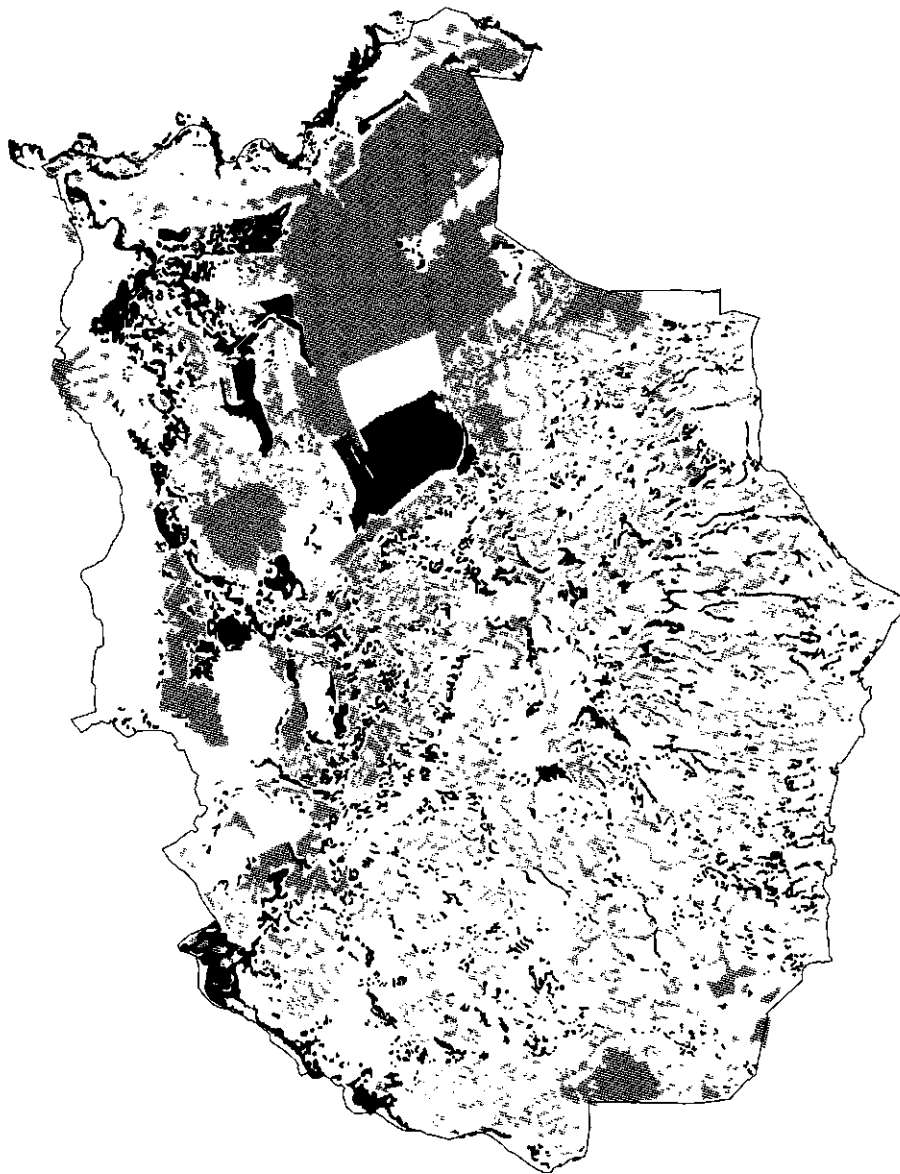
-  infiltratiegebieden /
infiltration areas
-  infiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde /
infiltration areas of groundwater flow systems of local order
-  exfiltratiegebieden behorend bij stromingsstelsels van lokale orde /
exfiltration areas of groundwater flow systems of local order
-  kwelgebieden /
exfiltration areas
-  hoogveengebieden /
peat moor areas
-  stedelijke gebieden /
urban areas
-  waterlopen en kanalen /
streams and canals





*Figuur 1.5
De infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden in het studiegebied, zoals gevonden voor de huidige situatie.*

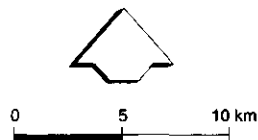
*Figure 1.5
The infiltration, exfiltration and peat moor areas as found for the present situation.*

Een vergelijking van de figuren 1.4 en 1.6 maakt duidelijk dat de ligging van de exfiltratiegebieden voor de historische toestand een aantal nauwe overeenkomsten vertoont met de patronen van 'natte tot vochtige' gebieden op de topografische kaarten van rond 1850. Neem bijvoorbeeld de natte gebieden aan de voet van de Ootmarsumse stuwwal, de eveneens vlakvormige natte laagten aan de voet van de Sallandse stuwwallen, de beekdal en de stuwwallen van Oldenzaal-Enschede, de natte gronden langs de Regge, Bornse Beek en Azeler Beek en de (voormalige) hoogveengebieden bij Vriezenveen, Wierden en Buurse.



Legenda / Legend

-  natte tot vochtige niet-cultuurgronden (moeras, laagveen, lage heide, hoogveen) / wet to moist uncultivated lands (marshes, fenland, wet heathlands, peat moor areas)
-  natte tot vochtige cultuurgronden (lage en hoge weide) / wet to moist cultivated lands (low lying and high meadows and pastures)



Figuur 1.6
De 'natte tot vochtige gebieden' in het studiegebied op de betreffende kaartbladen van de "Topographische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden" van rond 1850. Veel van deze gebieden vallen samen met de exfiltratie- en hoogveengebieden zoals gereconstrueerd voor de historische situatie.

Figure 1.6
The 'wet to moist areas' in the study area as represented on the sheets of the "Topographische en Militaire Kaart van het Koninkrijk der Nederlanden" of around 1850. Many of these areas coincide with the exfiltration and peat moor areas as reconstructed for the historic situation in figure 1.4.

I.3 De simulaties met FLOWNET

I.3.1 Inleiding

De simulaties met FLOWNET (Van Elburg et al., 1989) zijn gebruikt om de inzichten in de ligging en de begrenzing van de grondwaterstromingsstelsels op basis van voornamelijk kaartstudies aan te scherpen. Voor een zestal oost-west doorsneden zijn met FLOWNET simulaties uitgevoerd. De ligging van deze doorsneden is in figuur I.7 weer-gegeven. Het gaat om de volgende profielen:

- Langeveen - Archem;
- Ootmarsum - Archem;
- Oldenzaal - Holterberg;
- Enschede - Het Flier;
- Witteveen - Herikerberg;
- Lünten (D) - Herikerberg.

Naast de ligging van de doorsneden zijn in figuur I.7 ook de isohypsen afgebeeld die als invoer voor het FLOWNET model zijn gebruikt.

Het FLOWNET-model heeft een aantal beperkingen die bij de interpretatie van de simulatie resultaten in het oog gehouden moeten worden. Radiale stroming, zoals rond grondwaterwinputten, kan in verband met het twee-dimensionale karakter van FLOWNET niet in beeld worden gebracht. De uitwisseling met de onverzadigde zone, c.q. het oppervlaktewater kan niet worden gemodelleerd. De simulaties met FLOWNET worden in verband hiermee dan ook beschouwd als indicaties voor het grondwaterstromingspatroon in een historische situatie. Van grondwaterwinning op grote schaal was toen immers geen sprake, terwijl de invloed van het drainagestelsel - met de daaraan gekoppelde processen in de onverzadigde zone - relatief gering was. Juist in die historische toestand zal het stromingspatroon in grote mate afhankelijk zijn geweest van de invoervariabelen voor het FLOWNET-model, te weten: de opbouw van de ondergrond en de grondwaterstanden⁸. In verband hiermee is gezocht naar betrouwbare, onderling vergelijkbare en gebiedsdekkende stijghoogtegegevens van een zo groot mogelijke ouderdom. Uiteindelijk is hiervoor de in het kader van de COLN-studie vervaardigde isohypsenkaart met gegevens van 14 oktober 1954 gekozen (Anonymus, 1968). Oudere data zijn slechts zeer fragmentarisch aanwezig, weinig betrouwbaar of niet onderling te vergelijken. Overigens is het jaar 1954 te beschouwen als een in hydrologisch opzicht 'nat jaar'; uit tabel I.1 blijkt dat de neerslag in dit jaar de lang-jarlijkse gemiddelden ruim overstijgt, terwijl de verdamping nauwelijks daarvan verschilt.

In de tabellen I.2-a tot en met I.2-h is een overzicht gegeven van de voor de FLOWNET-simulaties gebruikte waarden ten aanzien van de doorlatenheid van de ondergrond. Daarbij is steeds een onderscheid gemaakt tussen een doorlatendheid in verticale en in horizontale richting. De gebruikte symbolen komen overeen met die in de figuren van de betreffende FLOWNET-profielen.

In de navolgende paragrafen (I.3.2 tot en met I.3.7) worden de profielen en simulaties besproken. In hoofdstuk 4 zijn - in de figuren 4.15 tot en met 4.23 - de voornaamste kenmerken van de FLOWNET-modellerings in blokdiagrammen getypeerd als aanduiding voor de grondwaterstromingscondities in het stroomgebied van de Regge. Daarbij

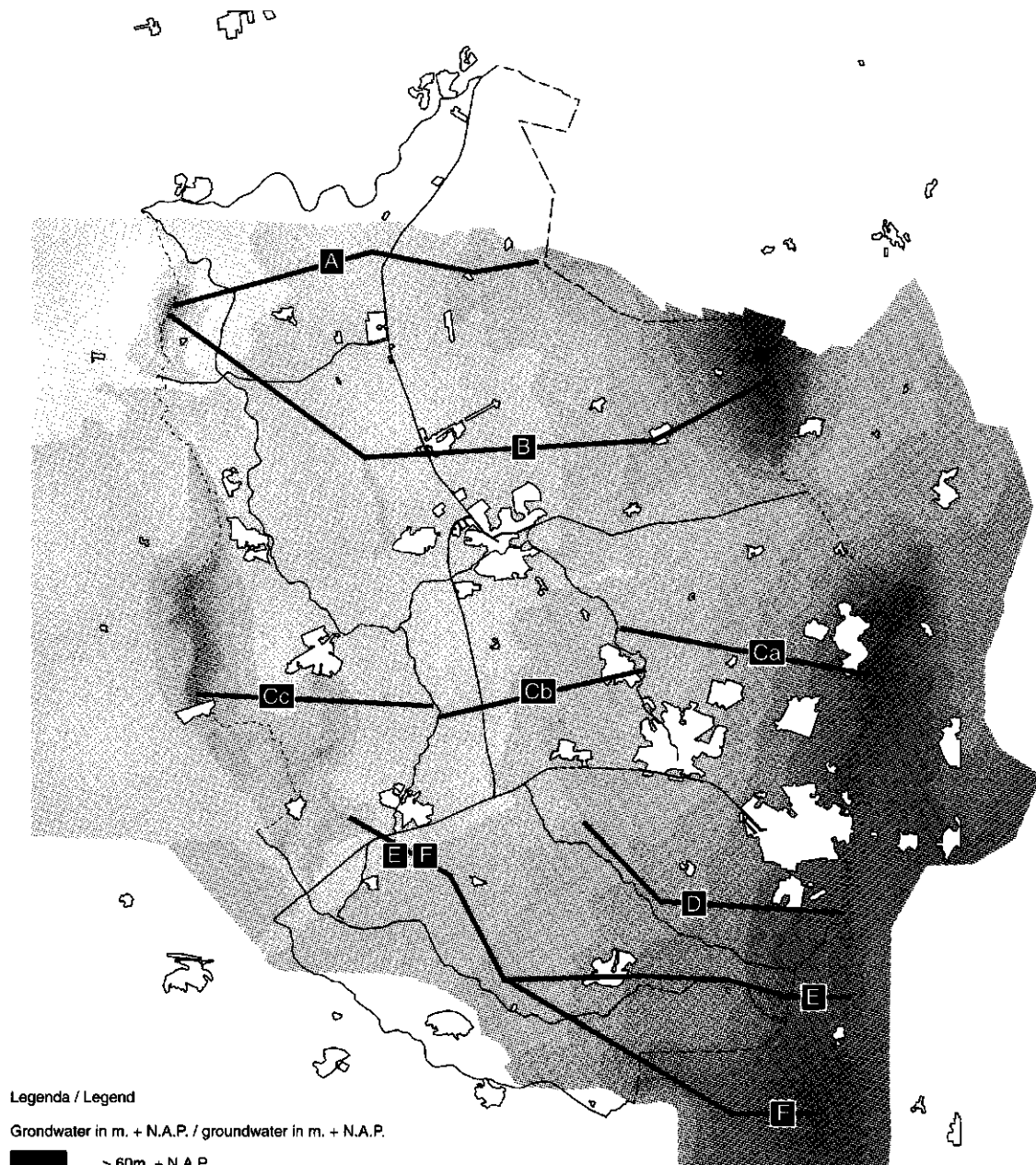
	Avereest		Winterswijk	
	neerslag / precipitation (in mm)	verdamping / evaporation (in mm)	neerslag / precipitation (in mm)	verdamping / evaporation (in mm)
1954	936	637	914	655
1911 - 1988	774	646	767	652

Tabel I.1

Een overzicht van de neerslag- en verdamping van de waarnemingsstations Avereest en Winterswijk in 1954, afgezet tegen het langjarig gemiddelde uit de periode 1911 - 1988. Hieruit kan worden opgemaakt dat het jaar 1954 een 'nat jaar' was.

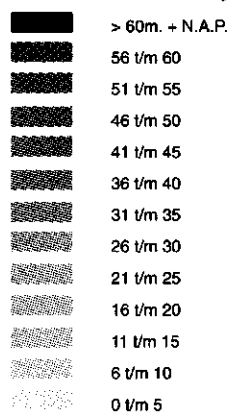
Table I.1

An overview of precipitation and evaporation of the meteorological stations at Avereest and Winterswijk in 1954, related to the long-term mean values of these phenomena over the period 1911 - 1988. From these figures it may be concluded that 1954 was a 'wet' year.



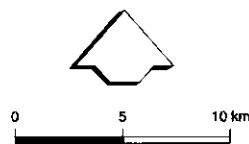
Legenda / Legend

Grondwater in m. + N.A.P. / groundwater in m. + N.A.P.



Ligging profiel / location cross-section

- A** Langeveen - Archem (fig. I-8)
- B** Ootmarsum - Archem (fig. I-9)
- C** Oldenzaal - Holterberg (in drie afzonderlijke delen ;fig. I-10 / in three separate parts; fig. I-10)
- E** Enschede - Delden (fig. I-11)
- D** Witteveen - Herikerberg (fig. I-12)
- F** Lünter - Herikerberg (fig. I-13)



Figuur I.7

De kaart van het grondwaterniveau ten opzichte van NAP - en de daarop gebaseerde isobypsen - zoals bepaald voor de situatie op 14 oktober 1954. De stijghoogten uit deze kaart zijn gebruikt bij de simulaties met FLOWNET. De ligging van de gemodelleerde profielen is weergegeven.

Figure I.7

The map with the level of the groundwater tables related to the national ground level NAP - and the resulting groundwater contour lines - as assessed for the situation on October 14-th 1954. The hydraulic heads as presented on this map are used for the simulation with the FLOWNET computer model. The location of the simulated cross-sections is reflected.

is er van uitgegaan dat de hier gepresenteerde FLOWNET-simulaties model kunnen staan voor de hydrologische condities elders, mits er sprake is van in belangrijke mate overeenkomende geologische, geomorfologische en bodemkundige condities (vergelijk figuur 4.14-b).

1.3.2 Doorsnede Langeveen - Archem

De schematisatie van de ondergrond voor dit profiel is ontleend aan Van Brussel (1987) en Haak (1985), aangevuld met de door Hoogendoorn (1992) gehanteerde doorlatendheidswaarden. De oostgrens van het modelgebied valt niet samen met een waterscheiding; deze ligt enige kilometers naar het oosten op Duits grondgebied. In verband hiermee is een open zijkant in het model opgenomen, waarover een constante stijghoogte is aangenomen ter grootte van die aan de bovenzijde van het model ter plekke. Rond het gebied van de Engbertsdijksvenen vertonen de isohypsenpatronen uit 1954 en die van een recentere datum (1983; zie Haak, 1985) grote verschillen. Een en ander duidt op grondwaterstands dalingen in het gebied. In de recentere data komen het (resterende) hoogveenengebied en de stuwwal van Sibculo veel minder tot expressie dan op het isohypsenpatroon uit 1954. Met zowel de oude als de meer recentere grondwaterstandsgegevens zijn FLOWNET-simulaties uitgevoerd (figuur 1.8-a en figuur 1.8-b)

De stromingspatronen van de figuren 1.8-a en -b vertonen overeenkomsten, maar ook duidelijke verschillen. In beide gevallen zijn de ingangen van de stromingsstelsels te vinden op de stuwwallen van Langeveen, Sibculo en Archem, in (delen van) de Engbertsdijksvenen en langs de rand van het veenkoloniale gebied. De voornaamste kwelgebieden liggen langs de randen van de bedoelde infiltratiegebieden.

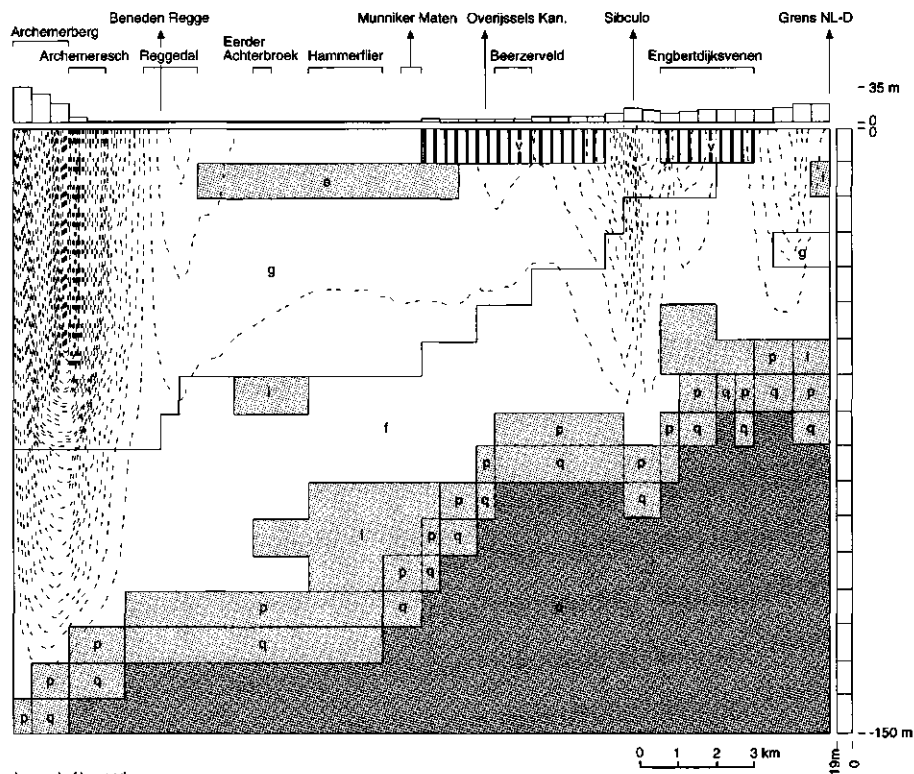
Een opmerkelijk verschil tussen beide stromingspatronen is het al dan niet optreden van een aantal diepe stroomtakken. Het betreft een stroomtak van buiten het modelgebied (stuwwal bij Uelsen) waarschijnlijk van relatief geringe kwantitatieve betekenis en een omvangrijker stroming vanuit de Engbertsdijksvenen. Beide stroomtakken komen in het Hammervliet - aan de voet van de Archemerberg - aan het oppervlak. In fig 1.8-a (1954) komen deze takken niet voor; in figuur 1.8-b (1983) wel. Van Brussel (1987) beschrijft een situatie die valt te vergelijken met die van figuur 1.8-b. Hij baseert zich daarbij mede op chemische bepalingen.

Een verklaring voor deze verschillen is wellicht te vinden in het feit dat de grondwaterstands daling in de meest recente situatie zodanig ver is voortgeschreden dat potentiaalverschillen tussen rug en hoogveenrestanten enerzijds en de omliggende (lagere) gebieden anderzijds grotendeels zijn verdwenen. Het gehele complex van gebieden vanaf de Engbertsdijksvenen tot en met de stuwwal van Sibculo functioneert nu als infiltratiegebied (gesuperponeerd op de diepe stroomtak vanuit de stuwwal van Uelsen). Een andere factor die een rol kan spelen in de geconstateerde verschillen tussen de simulaties van figuur 1.8-a en -b is het lagere peil in de Regge en in een deel van het Hammervliet - ten gevolge van een verbeterde ont- en afwatering - in de huidige situatie. Als gevolg hiervan worden door FLOWNET op deze gebieden gerichte stroomlijnen gesimuleerd.

Geen van beide situaties weerspiegelt de historische situatie van vóór de hoogveenontginning. Wellicht kan evenwel het stromingspatroon zoals dat wordt gesimuleerd in de situatie van 1983 dat van de historische toestand in het oostelijk deel van dit profiel het best benaderen. Immers, toen lag er nog in het gehele gebied tussen Langeveen en Sibculo een dik veenpakket en ontbraken de locale laagten die in het stromingspatroon van 1954 zo duidelijk zijn terug te vinden.

1.3.3 Doorsnede Ootmarsum - Archem

De geohydrologische schematisatie voor deze doorsnede is ontleend aan Haak (1985). Voor de doorlatendheden geven de diverse auteurs verschillende waarden (vergelijk Engelen et al., 1989; Gieske, 1989; Hoogendoorn, 1992). Deze waarden verschillen evenwel niet zodanig dat er aanmerkelijke differentiaties ontstaan in het patroon van grondwaterstroming. Uiteindelijk zijn de gegevens van Hoogendoorn (1992) gebruikt.



Legenda / Legend

- veen (slecht doorlatend) / peat (low transmissivity)
- slecht doorlatende formaties / formations with a low transmissivity
- goed doorlatende formaties / formations with a high transmissivity
- hydrologische basis / hydrological base

Figuur 1.8-a

De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Langeveen - Archem (A in figuur 1.7) met stijghoogte gegevens uit 1954.

Figure 1.8-a

The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Langeveen - Archem (A in figure 1.7) with hydraulic heads from 1954.

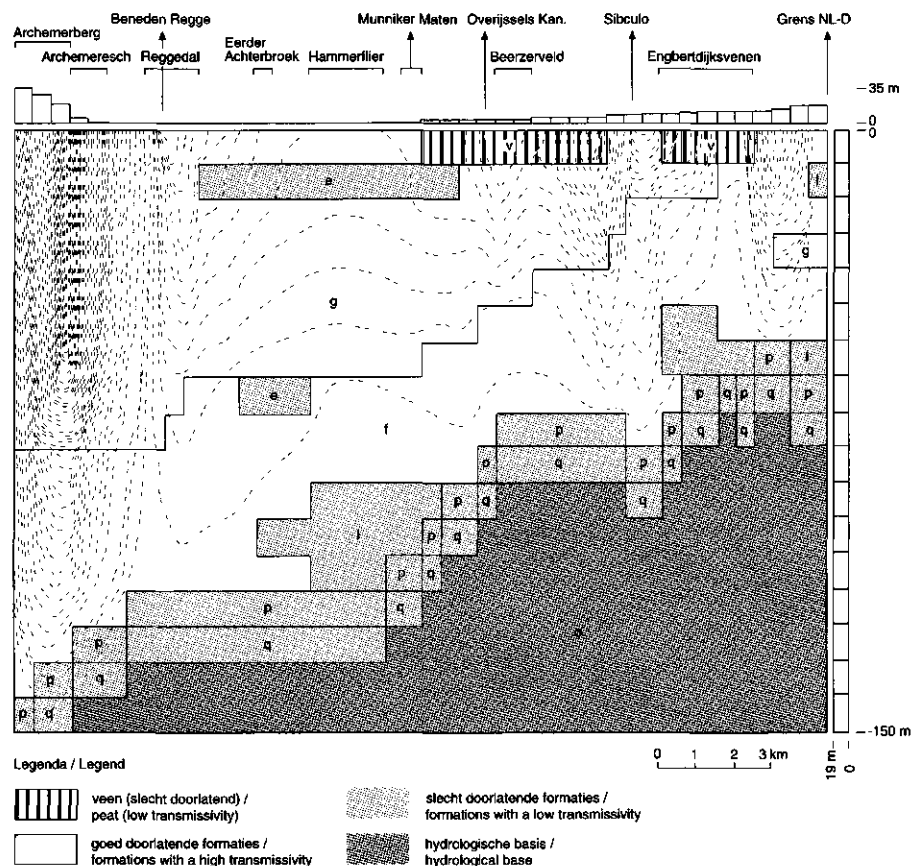
Gebruikt symbool / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² /d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
g	4.00E+000	4.00E+001	0.3000
o	1.00E-003	1.00E-001	0.3000
e	1.00E-002	1.00E-002	0.3000
f	5.00E+000	1.00E+001	0.3000
l	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
v	1.00E-001	1.00E+000	0.3000

Tabel 1.2-a

De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur 1.8.

Table 1.2-a

The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure 1.8.



Figuur 1.8-b

De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Langeveen - Archem (A in figuur 1.7) met stijgboogte gegevens uit 1983.

Figure 1.8-b

The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Langeveen - Archem (A in figure 1.7) with hydraulic heads from 1983.

De FLOWNET-simulatie (figuur 1.9) geeft aanleiding tot het onderscheiden van een aantal grondwaterstromingsstelsels. Van west naar oost zijn dit de stelsels van:

- de Sallandse Heuvelrug met de Regge als oostgrens;
- de stuwwal Daarle - Hoge Hexel, begrensd door de Regge in het westen en door de aangrenzende laagte aan de oostzijde;
- Vriezenveen oostelijk van het stelsel van Daarle - Hoge Hexel;
- de stuwwallen van Albergen en Tubbergen waarvan de grenzen in de aanliggende laagten liggen;
- de stuwwal van Uelsen - Ootmarsum aan de westzijde begrensd door het stelsel van Tubbergen (zie ook doorsnede Langeveen - Archem).

Om het inzicht in de ligging van de stromingsstelsels op de stuwwal van Ootmarsum nader aan te scherpen, is voor een deel van de doorsnede een aantal varianten nader met FLOWNET onderzocht. Het betreft het traject tussen de grondwaterscheidingen bij Tubbergen en ten noorden van Ootmarsum. In dit gebied speelt de voornaamste grondwaterstroming zich af in de zandig opgevulde 'glaciale geulstructuur', waar het watervoerend pakket relatief dik is.

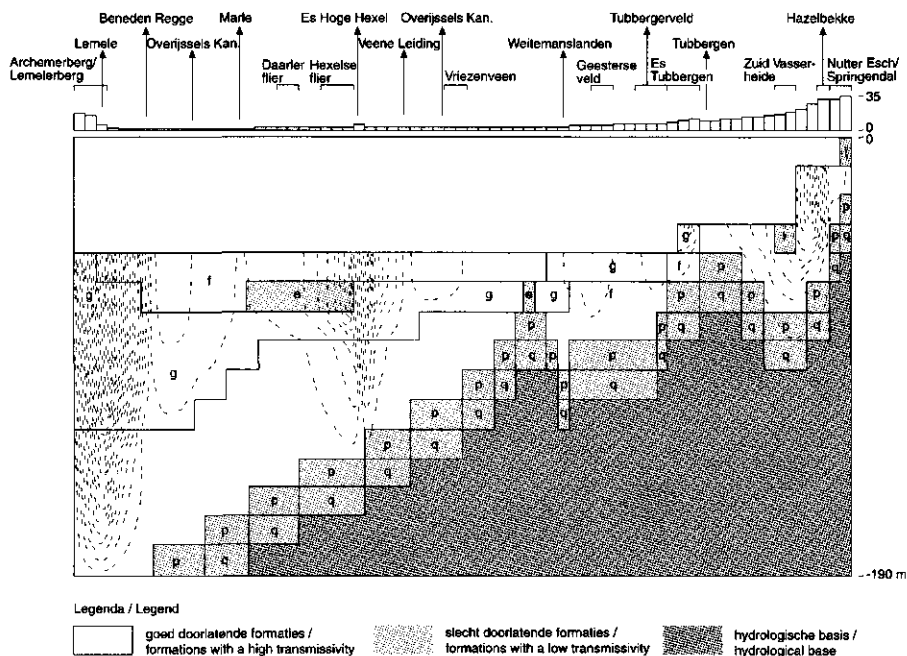
Gaan we uit van een situatie waarin op de stuwwal het slecht doorlatende materiaal direct aan het maaiveld ligt, dan wordt hier geen grondwaterstroming door het model gesimuleerd. Dit komt overeen met de locaties waar de keileem-bodems worden aangetroffen met oppervlakkige afvoer of zeer kleine, lokale stromingsstelsels die op het in de simulatie gebruikte schaalniveau niet tot uiting komen.

Wordt er daarentegen een situatie gemodelleerd met een meer zandig ontwikkelde laag onder een slecht doorlatend toppakket op de stuwwal, dan simuleert FLOWNET een diepe stroomtak tot aan de voet van de stuwwal bij Tubbergen. Ook dergelijke, situaties kunnen op de stuwwal van Ootmarsum worden aangetroffen.

In beide situaties vindt evenwel de voornaamste infiltratie plaats op de flank van de stuwwal. Een concentratie van stroombanen boven de westzijde van de glaciële geul markeert een exfiltratie niveau. De lokatie hiervan correspondeert met een uitgestrekte natte zone aan de voet van de stuwwal (zie bijvoorbeeld de figuren I.4 en I.6). Door het 'opduiken' van de tertiaire basis, maar ook in verband met een knik in het reliëf (een overgang naar een vlakker gebied), is de transmissiviteit van het watervoerende pakket hier kennelijk niet meer voldoende om het van bovenaf aangevoerde water te transporteren.

1.3.4 Doorsnede Oldenzaal - Holterberg

Dit profiel is in drie stukken verdeeld die afzonderlijk met FLOWNET zijn gesimuleerd. De hydro-geologische schematisatie en de doorlatendheden zijn ontleend aan Haak (1985), Gieske (1989; 1990) en Hoogendoorn (1992).



Figuur 1.9
De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Ootmarsum - Archem (B in figuur 1.7).

Figure 1.9
The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Ootmarsum - Archem (B in figure 1.7).

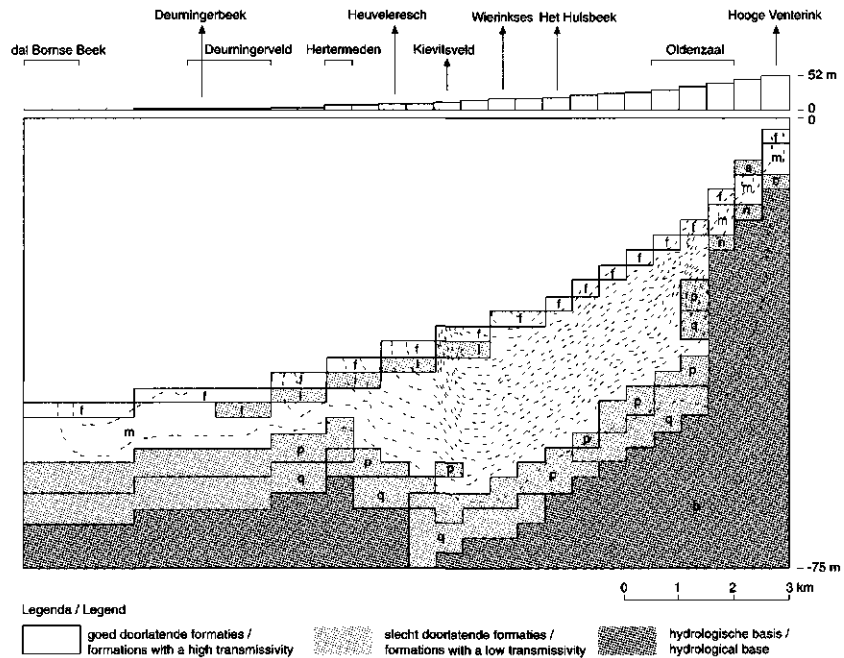
Gebruikt symbool / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² /d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
g	8.00E+000	4.00E+001	0.3000
o	1.00E-003	1.00E-001	0.3000
e	1.00E-002	1.00E-002	0.3000
f	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
i	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000

Tabel 1.2-b
De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur 1.9.

Table 1.2-b
The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure 1.9.

Traject Oldenzaal - Bornse Beek

Het deeltraject Oldenzaal - Bornse Beek (figuur I.10-a) maakt duidelijk dat in dit gebied één stromingsstelsel van regionale betekenis kan worden onderscheiden. Alleen in het vlakkere meest westelijke deel worden door FLOWNET nog gesuperponeerde stelsels gesimuleerd. Het stromingspatroon is voorts te vergelijken met hetgeen in de vorige doorsnede tussen Ootmarsum en Tubbergen is gevonden. De voornaamste infiltratiegebieden liggen op de flank van de stuwwal waar, ten gevolge van de 'glaciale geulstructuur' en de dekzandruggen, het watervoerend pakket relatief gunstige condities voor grondwaterstroming biedt. De uitgangen van dit eerste orde stelsel, veelal in of langs de oost-west georiënteerde beekdalen, hangen samen met een terrein-knik en met de opduiking van de Tertiaire basis. Hierdoor ontstaan de min of meer parallelle zones van kwelgebieden die in de figuren I.4 en I.5 zijn aangeduid. Een vergelijking met de kaarten van het oppervlaktewater (de figuren 4.24 en 4.27) maakt duidelijk dat



Figuur I.10-a

De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Oldenzaal - Bornse Beek (Ca in figuur I.7).

Figure I.10-a

The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Langeveen - Archem (Ca in figure I.7).

Gebruikt symbool / Symbol used	Doortastendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² / d)	Doortastendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
m	5.00E+000	1.00E+001	0.3000
b	1.00E-003	1.00E-001	0.3000
s	1.00E-001	1.00E+000	0.3000
f	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
l	1.00E-001	1.00E-001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
n	1.00E-003	1.00E+000	0.3000

Tabel I.2-c

De gebruikte waarden voor de doortastendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur I.10-a.

Table I.2-c

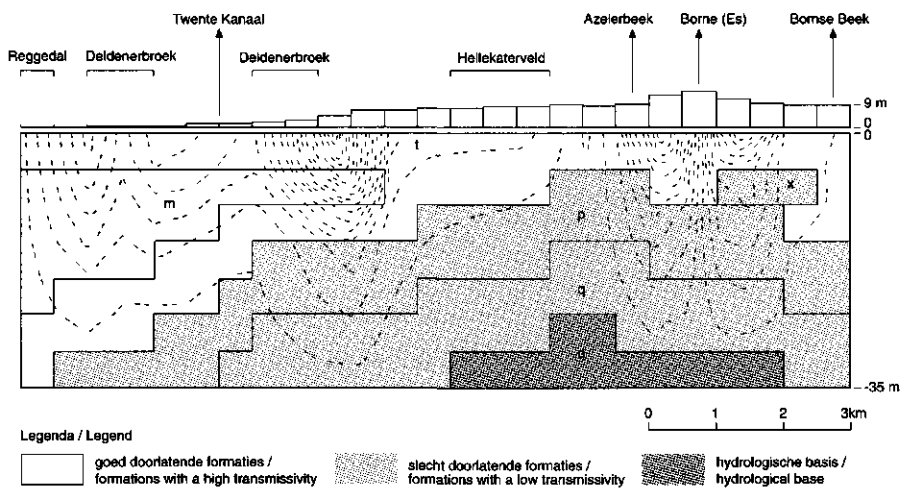
The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure I.10-a.

in deze kwelgebieden beken ontspringen. De aanwezigheid van een diepe stroomtak naar het dal van de Bornse Beek is gebonden aan het voorkomen van relatief goed doorlatende zandige lagen tot aan de hogere delen van de stuwwal.

De modelschematisatie van FLOWNET is te grof om de in dit gebied voorkomende stromingsstelsels van lokale orde in beeld te brengen (zie ook Hoogendoorn, 1992). Op de hoogste delen van de stuwwal komen de slecht doorlatende Tertiaire formaties tot aan het oppervlak voor, soms door een relatief dun (dek)zandpakket bedekt. Net als op de stuwwal van Ootmarsum geeft dit aanleiding tot het ontstaan van bronnen en een relatief dicht net van daaruit gevoede beken. Tussen de beken op de flank van de stuwwal wordt het bestaan van lokale aan de dekzand-morfologie gebonden grondwaterstromingsstelsels vermoed (Gieske, 1989; Hoogendoorn, 1992). De uitgangen daarvan liggen in de beekdalen.

Traject Bornse Beek - Regge

Voor het traject Bornse Beek - Regge worden met FLOWNET een aantal, soms gesuperponeerde, grondwaterstromingsstelsels gesimuleerd (figuur 1.10-b). Op de hogere ruggen, te weten de stuwwal bij Borne en de dekzandruggen ten westen daarvan, liggen de ingangen van deze stromingsstelsels⁹. De laterale verbreiding van het grondwater dat vanaf de stuwwal stroomt, wordt ingeperkt door het ondiepe watervoevende pakket, zodat het in aangrenzende laagten en dalen uittreedt. Vanaf de dekzandruggen wordt met de FLOWNET-modellering een diepe stroomtak naar de Regge



Figuur 1.10-b
De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Bornse Beek - Regge (Cb in figuur 1.7).

Figure 1.10-b
The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Bornse Beek - Regge (Cb in figure 1.7).

Gebruikt symbol / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² /d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
t	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
o	1.00E-003	1.00E-001	0.3000
x	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
m	5.00E+000	1.00E+001	0.3000

Tabel 1.2-d
De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur 1.10-b.

Table 1.2-d
The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure 1.10-b.

gevonden. Een verklaring hiervoor vormt wellicht het in deze richting wegduiken van de slecht doorlatende Tertiaire formaties.

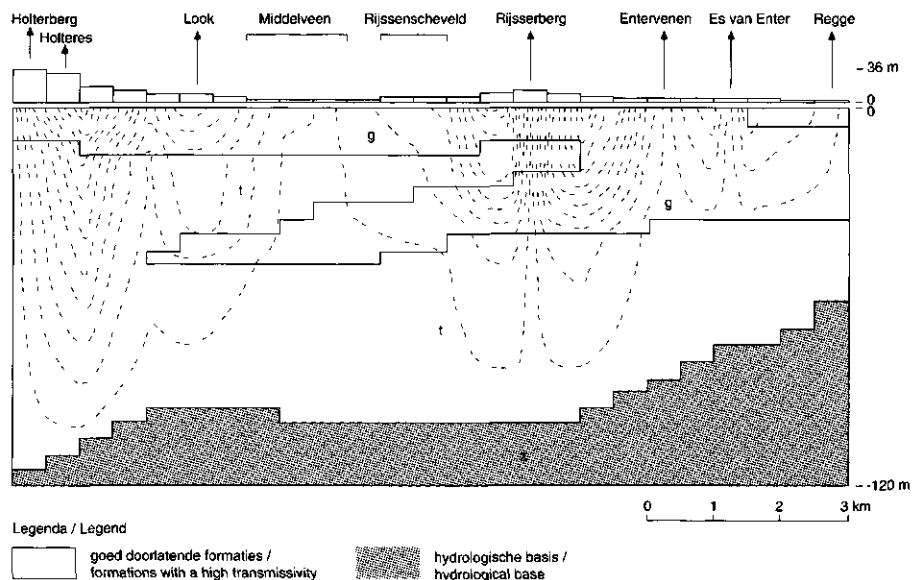
In het vlakke gebied tussen de dekzandruggen en de Regge kunnen kleine, wellicht niet-permanente, stromingsstelsels ontstaan, gebonden aan de op het macro-reliëf gesuperponeerde dekzandkopjes en eenmansessen (vergelijk Gieske, 1989).

Traject Regge-Holterberg

Het meest westelijke gedeelte van de doorsnede Regge - Holterberg wordt gekenmerkt door een diep watervoerend pakket, met overwegend goede doorlatendheid en een uitgesproken reliëf. Met het FLOWNET-model worden hier een drietal grondwaterstromingsstelsels van regionale betekenis in beeld gebracht (figuur I.10-c). De infiltratiegebieden liggen op respectievelijk de Sallandse Heuvelrug en de stuwwallen van Rijssen en Enter. De corresponderende kwelgebieden van deze stelsels liggen in de laagten tussen de gestuwde heuvels en in het dal van de Regge. Het reliëf van dekzandruggen en -kopjes heeft geleid tot gesuperponeerde stromingsstelsels, zoals dat van Zuna langs de Regge (Gieske, 1989).

I.3.5 Doorsnede Enschede - Het Flier

De model-schematisatie voor dit profiel is ontleend aan Haak (1985), Hoogendoorn (1992) en Smoor en De Ridder (1972). Hoewel het grondwaterstromingspatroon in



Figuur I.10-c

De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Regge - Holterberg (Cc in figuur I.7).

Figure I.10-c

The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Regge - Holterberg (Cc in figure I.7).

Gebruikt symbool / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² /d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
x	1.00E-004	1.00E-004	0.3000
t	4.00E+000	4.00E+001	0.3000
g	1.00E+000	5.00E+000	0.3000

Tabel I.2-e

De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur I.10-c.

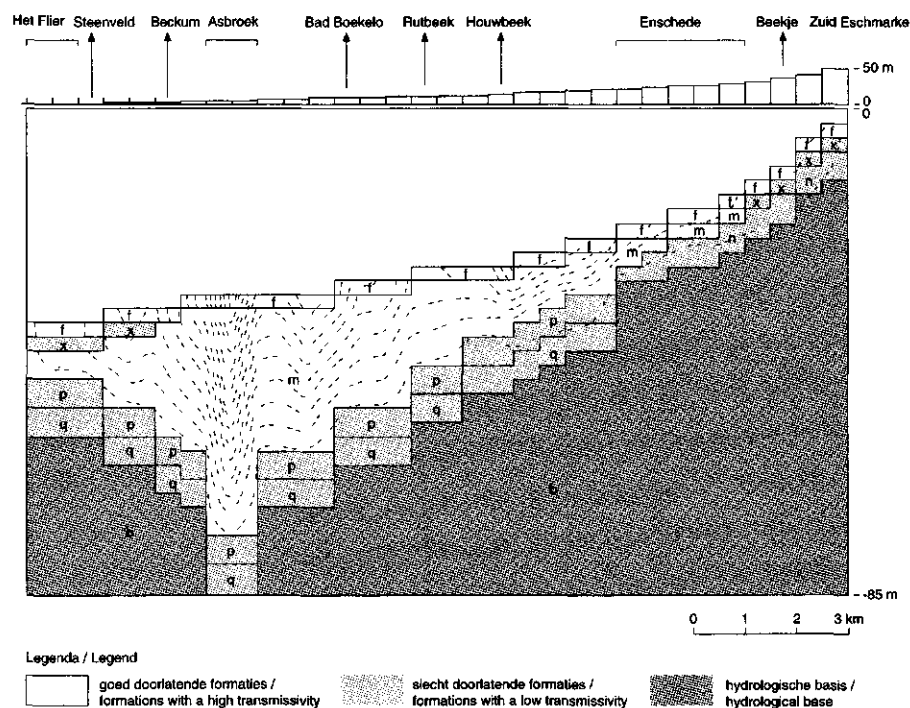
Table I.2-e

The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure I.10-c.

grote lijnen overeenkomt met hetgeen voor het profiel vanaf de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal is vermeld, zijn er toch verschillen die wellicht in verband kunnen worden gebracht met de meer westelijke ligging van de glaciële geulstructuur (figuur I.11-a). Op de flank van de stuwwal vertoont de simulatie een gesuperponeerd stromingsstelsel waarvan de uitgang met een terrein-knik correspondeert. Ten westen van de glaciële geulstructuur markeert een concentratie van stroomlijnen het punt waar de dikte van het watervoerend pakket weer afneemt. Hier is een vlak nat gebied ontstaan: Het Flier (vergelijk de figuren I.4 en I.6). Ook vanaf de stuwwal van Delden is er een stroming gericht naar dit gebied.

Doorsnede Enschede - Het Flier met keileemopduiking

In dit deel van het studiegebied komen op de flank van de stuwwal opduikingen voor van slecht doorlatende formaties (bijvoorbeeld in de omgeving van Tweekelo).



Figuur I.11-a
De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Enschede - Het Flier (D in figuur I.7); zonder keileem-opduiking op de flank van de stuwwal.

Figure I.11-a
The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Enschede - Het Flier (D in figure I.7); without small clayey elevation superimposed on the flank of the ice-pushed ridge.

Gebruikt symbol / Symbol used	Doortendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² / d)	Doortendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
x	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
f	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
m	5.00E+000	1.00E+001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
b	1.00E-004	1.00E-001	0.3000
n	1.00E-003	1.00E+000	0.3000

Tabel I.2-f
De gebruikte waarden voor de doortendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur I.11.

Table I.2-f
The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure I.11.

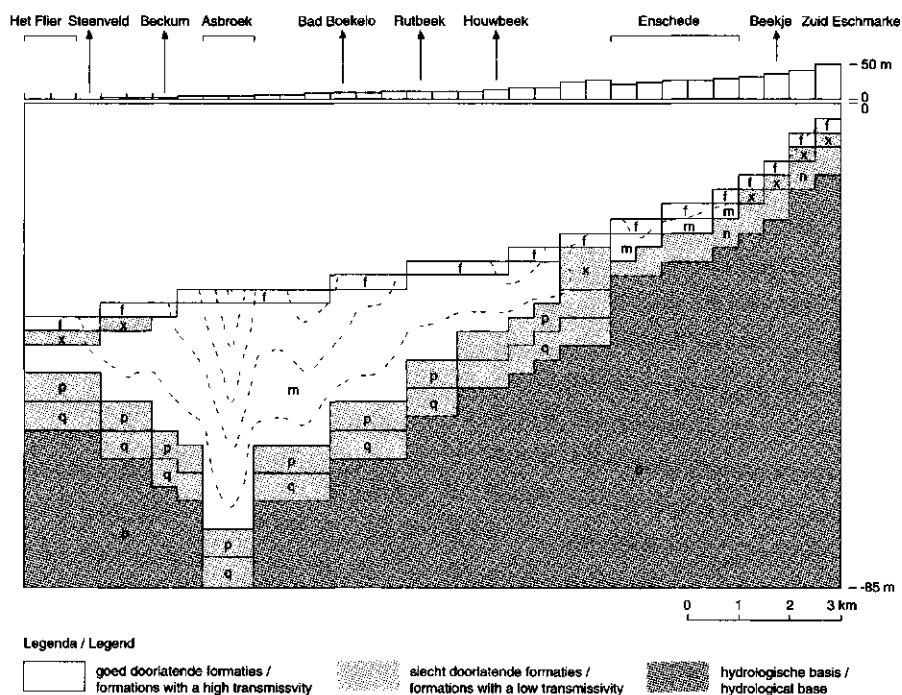
Om de invloed van zo'n opduiking op het regionale grondwaterstromingspatroon te onderzoeken zijn in hetbovenstaande FLOWNET-profiel dergelijke condities gesimuleerd door in de schematisatie de doorlatendheid in een aantal cellen te vervangen door waarden die corresponderen met die voor de slecht doorlatende formaties; een zandige top laag blijft behouden¹⁰ (figuur I.11-b). Ook is in de corresponderende cellen de stijghoogte aangepast¹¹. Deze aanpassingen in de modellering leiden ertoe dat de grondwaterstroming vanaf de hogere delen van de stuwwal (flank) wordt gedwongen oostelijk van de opduikingen aan het maaiveld te komen. Daarnaast ontstaat er een nieuw stromingsstelsel met een infiltratiegebied op de opduiking. Hoogendoorn (1992) onderscheidt in dit gebied een aantal kleinere, met deze keileemopduikingen samenhangende stromingsstelsels, hetgeen deze met deze uitkomst correspondeert. Overigens treden er geen opzienbarende verschillen met figuur I.11-a op.

I.3.6 Doorsnede Witteveen - Herikerberg

Het traject Witteveen - Herikerberg omvat een simulatie van de grondwaterstroming in de zuidelijke punt van de Oost-Twentse stuwwal (in Duitsland), het overwegend vlakke, zwak hellende gebied ten westen daarvan en de zuidpunt van de Sallandse Heuvelrug. De schematisatie van de ondergrond is gebaseerd op Haak (1985), Smoor en De Ridder (1972) en Hoogendoorn (199).

De simulatie van het grondwaterstromingspatroon vertoont een aantal regionale en een aantal daarop gesuperponeerde stromingsstelsels (figuur I.12)¹². Opvallend is de invloed van het complex van dekzand- en stuifzandruggen ten oosten van Haaksbergen. Deze beperken de westelijke verbreding van de grondwaterstroming vanaf de hogere stuwwallen in Duitsland. De plekken waar dit water naar de oppervlakte wordt gedwongen markeren de brongebieden van een aantal beken. Vanaf de zandruggen ontstaat een stromingscomponent gericht naar het dal van de Regge. De zandige opvulling van het diepste gedeelte van de 'glaciale geulstructuur' lijkt hiervoor mede verantwoordelijk.

Het stromingspatroon in het vlakke westelijke deel van deze doorsnede wordt gekarakteriseerd door aan de verspreide keileemopduikingen gekoppelde stromingsstelsels



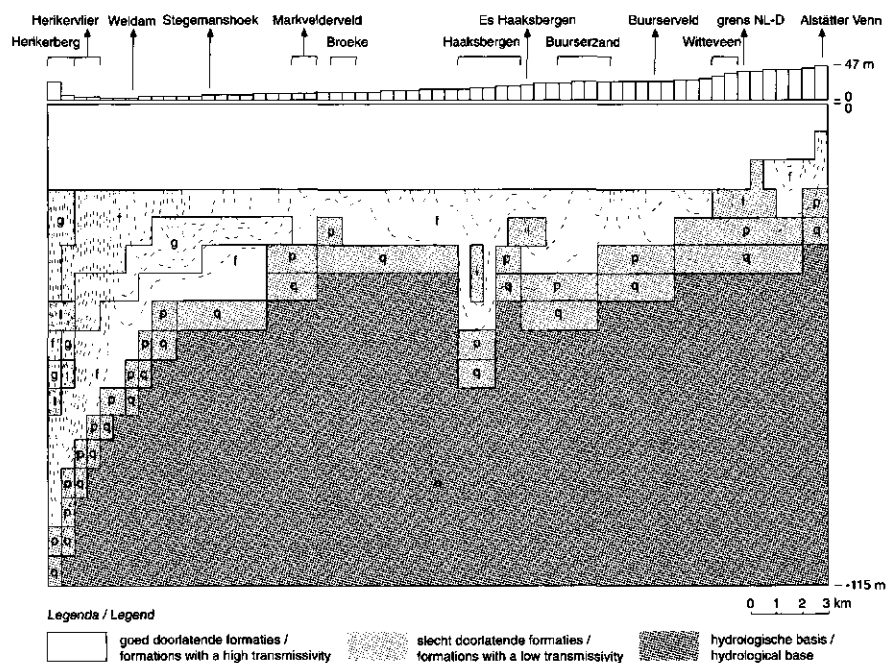
Figuur I.11-b
De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Enschede - Het Flier (D in figuur I.7); met keileem-opduiking op de flank van de stuwwal.

Figure I.11-b
The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Enschede - Het Flier (D in figure I.7) with small clayey elevation superimposed on the flank of the ice-pushed ridge.

(vergelijk met de opmerkingen hieromtrent bij de voorgaande doorsnede). Ook in het isohypsenpatroon komen deze opduikingen tot uitdrukking (figuur 1.7)¹³. Tenslotte wordt vanaf de Herikerberg een - zeer intensieve - grondwaterstroming naar het aangelegen lage gebied van de Herikervlier gevonden (vergelijk met de situaties bij de Archemerberg en de Holterberg).

1.3.7 Doorsnede Lünten - Herikerberg

Het relatief hoog gelegen gebied net ten oosten van de Nederlands-Duitse grens nabij de plaats Lünten (maaiveldshoogten tot circa 60 meter boven NAP; op de grens is dit circa 35 meter boven NAP) noopte ertoe bij dit FLOWNET profiel ook het Duitse grensgebied te betrekken. De opbouw van de ondergrond in het oostelijk deel van deze doorsnede wordt gekenmerkt door het voorkomen van de relatief goed doorlatende mesozoïsche Onderkrijt-formaties (Haak, 1985; Hoogendoorn, 1992). De hoogte nabij Lünten hangt met deze formaties samen, waarbij deze pakketten tot zeer grote



Figuur 1.12
De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Witteveen - Herikerberg (D in figuur 1.7).

Figure 1.12
The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Witteveen - Herikerberg (D in figure 1.7).

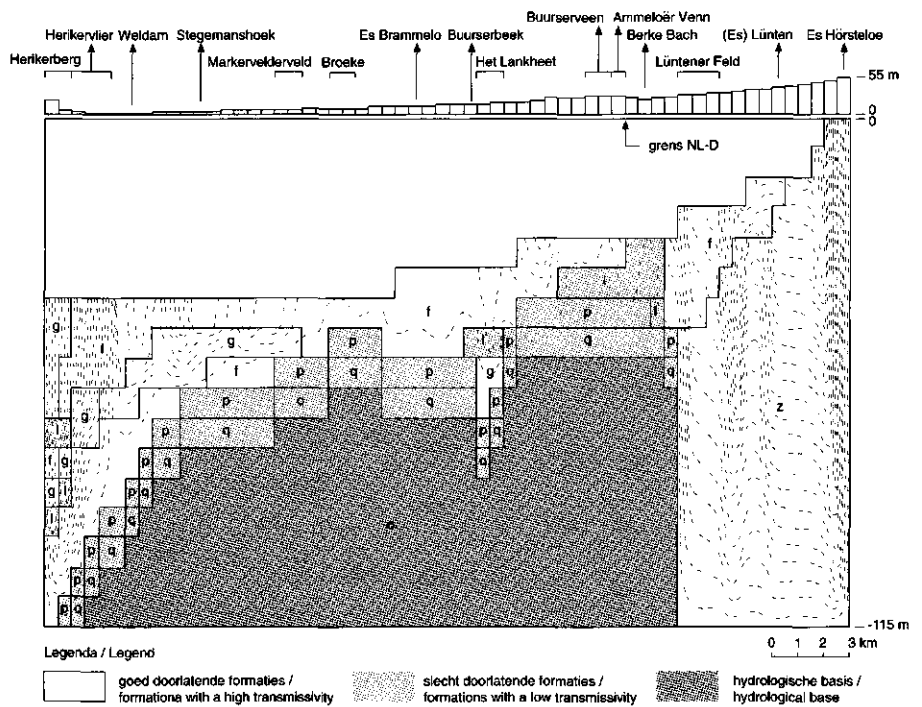
Gebruikt symbool / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² / d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
l	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
f	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
g	8.00E+000	4.00E+001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
o	1.00E-004	1.00E-001	0.3000

Tabel 1.2-g
De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur 1.12.

Table 1.2-g
The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure 1.12.

diepte doorlopen. In Nederland zijn deze formaties in het betreffende deel van het studiegebied niet aangetroffen (Smoor en De Ridder, 1972), maar is de begrenzing ervan niet duidelijk en aan discussie onderhevig (vergelijk Smoor en De Ridder, 1972; Aelmans, 1973; Haak, 1985; Hoogendoorn, 1992). In verband hiermee is de ligging van de hydrologische basis onzeker. Als reactie hierop is voor deze doorsnede twee maal een simulatie met FLOWNET uitgevoerd (figuur I.13-a en figuur I.13-b).

In het eerste geval is uitgegaan van een scherpe, verticaal verlopende begrenzing van de Onderkrijtzanden ter hoogte van de Nederlands-Duitse grens. Zo'n scherpe begrenzing kan worden verklaard vanuit het gegeven dat het al dan niet voorkomen van de Onderkrijt-formaties in verband wordt gebracht met tectonische verschijnselen (Smoor en De Ridder, 1973; Aelmans, 1973). In de tweede simulatie is een uitwijking van de onderkrijtzanden verondersteld. In beide gevallen zijn de doorlatendheden in verticale



Figuur I.13-a

De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Lüntan - Herikerberg (E in figuur I.7) met een scherp verticaal verlopende begrenzing van de (doorlatende) Onderkrijtzanden (laag 'z').

Figure I.13-a

The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Lüntan - Herikerberg (E in figure I.7) with a sharp, vertical boundary of the permeable deposits from Mesozoic periods (layer 'z').

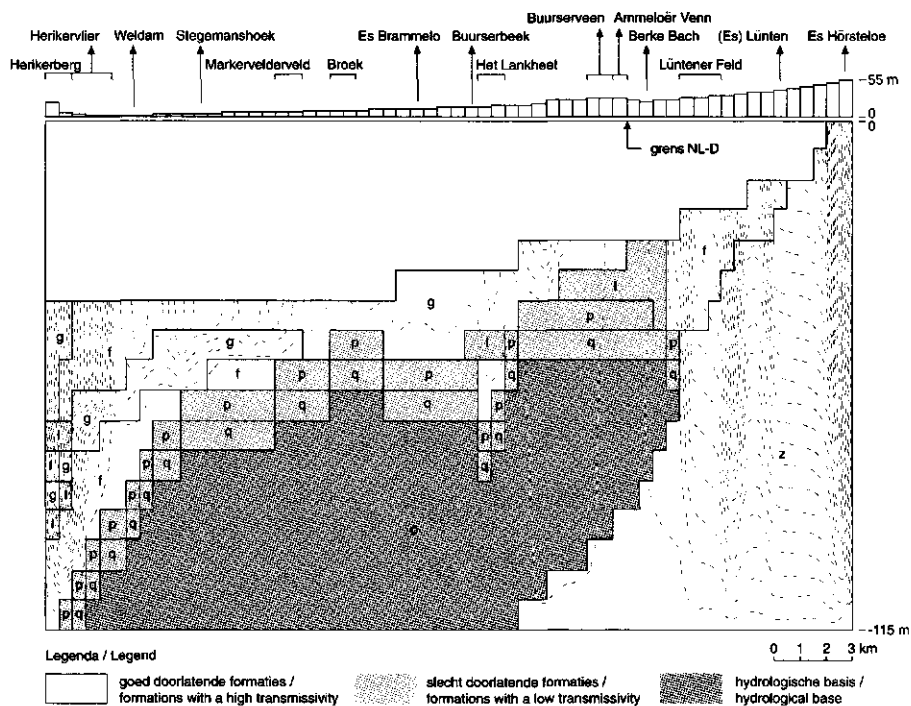
Gebruikt symbol / Symbol used	Doorlatendheid in verticale richting / transmissivity in vertical direction (m ² /d)	Doorlatendheid in horizontale richting / transmissivity in horizontal direction (m ² /d)	Effectieve porositeit / Effective porosity
l	1.00E-002	1.00E-001	0.3000
f	5.00E+000	5.00E+000	0.3000
g	8.00E+000	4.00E+001	0.3000
p	1.00E-002	1.00E+000	0.3000
q	1.00E-003	1.00E+000	0.3000
o	1.00E-004	1.00E-001	0.3000
z	1.00E+000	5.00E+000	0.3000

Tabel I.2-b

De gebruikte waarden voor de doorlatendheid (in m per dag) in horizontale en verticale richtingen en de effectieve porositeit als gebruikt in de FLOWNET-simulatie van figuur I.13.

Table I.2-b

The values of the transmissivity (in m per day) in a horizontal and a vertical direction and of the effective porosity that were used in the FLOWNET-simulation of figure I.13.



Figuur 1.13-b
 De simulatie van het patroon van grondwaterstroming met FLOWNET voor het profiel Lünten - Herikerberg (E in figuur 1.7) met een uitwiggende begrenzing van de (doorlatende) Onderkrijtzanden (laag 'z').

Figure 1.13-b
 The simulation of the pattern of groundwater flow with FLOWNET for cross-section Lünten - Herikerberg (E in figure 1.7) with a gradual boundary of the permeable deposits from Mesozoic periods (layer 'z').

en horizontale richting gebruikt, zoals gegeven door Engelen et al. (1989). In beide simulaties lijkt de invloed van het hooggelegen gebied nabij Lünten op het totale regionale patroon van grondwaterstroming in het studiegebied relatief gering¹⁴. Het infiltrerende water uit deze hoogte komt aan de oppervlakte in het vlakke, relatief laaggelegen gebied tussen Lünten en de grens met Nederland. Een diepe, regionale grondwaterstromingscomponent - hoewel waarschijnlijk van geringe kwantitatieve betekenis - wordt wel gevonden vanuit de hoger gelegen (hoogveen)gebieden in de grensstreek. Het grootste deel van het hier infiltrerende water komt evenwel langs de randen weer aan het oppervlakte. De invloed van de glaciële geulstructuur blijkt weer uit het optreden van exfiltratiegebieden langs de westelijke randzone van de geul. Overigens wijkt het stromingspatroon nauwelijks af van hetgeen is gevonden bij de doorsnede van Witteveen naar de Herikerberg.

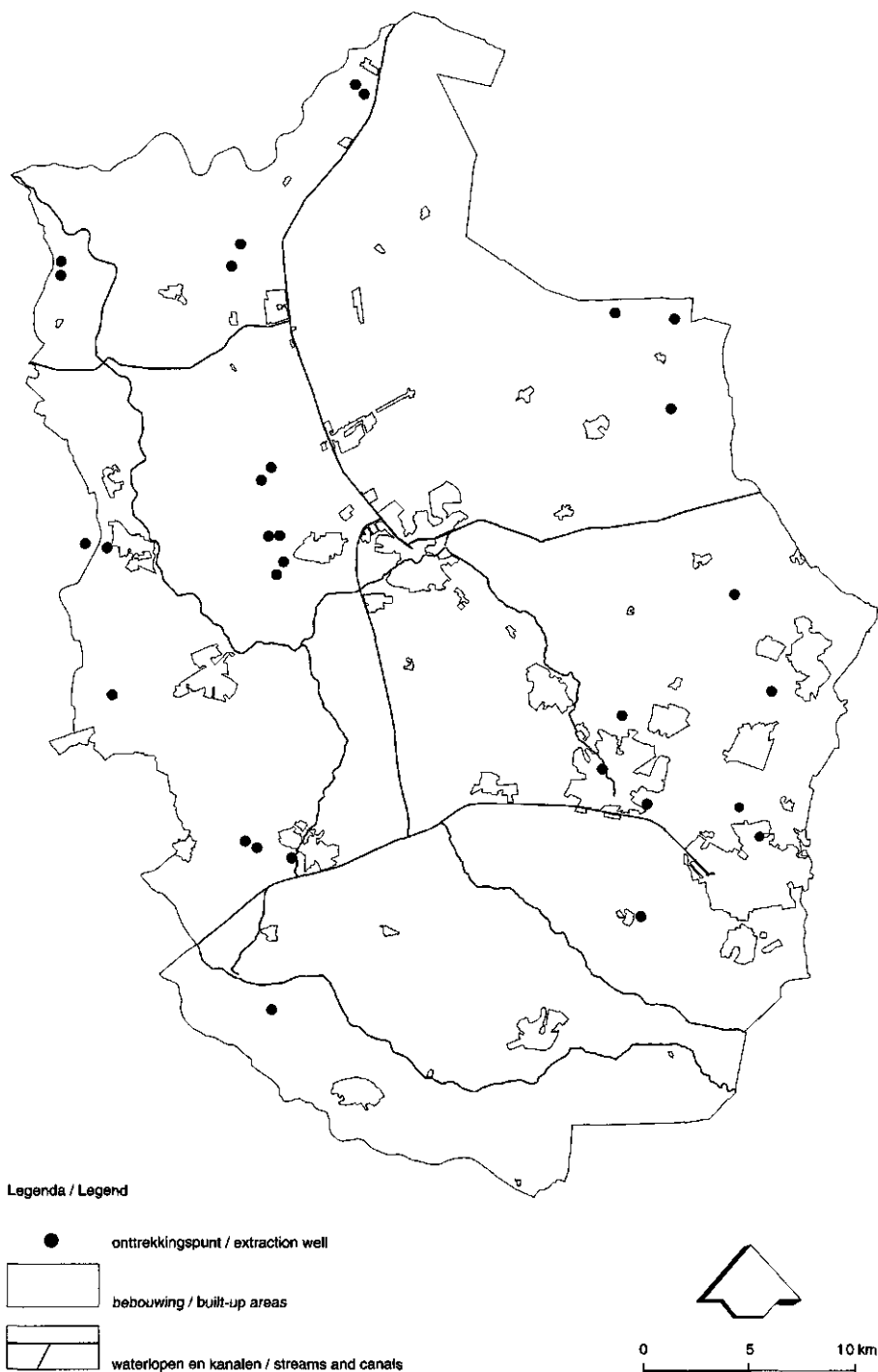
1.4 De begrenzing van de grondwaterstromingsstelsels

1.4.1 Inleiding

Bij de begrenzing van de grondwaterstromingsstelsels is getracht - op basis van de verzamelde inzichten omtrent de ligging van infiltratie- en exfiltratiegebieden en de FLOWNET-simulaties - de onderlinge samenhang van infiltratie- en exfiltratiegebieden aan te geven. Ook hierbij is een onderscheid gemaakt tussen een historische en een huidige toestand. Een belangrijk deel van de werkzaamheden hierbij beslaat de 'vertaling' van de in de (verticale) FLOWNET simulaties gevonden stelselgrenzen naar het horizontale vlak van kaarten van het studiegebied. Daarbij kon overigens gebruik worden gemaakt van de reeds eerder voor (delen van) het studiegebied uitgevoerde hydrologische systeem analyses (Engelen et al., 1989; Gieske, 1989; De Ruiter, 1989; Gieske, 1990; Hoogendoorn, 1992). Aanvullende informatie is ook verkregen door

interpretatie van kaarten met betrekking tot het reliëf, de opbouw van de ondergrond, de geomorfologie en de topografie.

Voor de historische toestand zijn, in situaties waar waterlopen stelselgrenzen vormen, de waterlopen van de topkaart van circa 1850 gevolgd. Waar mogelijk is daarbij ook gebruik gemaakt van de computer-simulaties van Gieske (1990) en Hoogendoorn (1992) die 'historische' condities representeren (geen grondwaterwinningen, geringere drainage). Voor de huidige situatie zijn de overeenkomstige, door Gieske (1989; 1990) en Hoogendoorn (1992) gevonden stelselgrenzen grotendeels overgenomen. De begrenzing van de kunstmatige, door grondwaterwinning aangedreven grondwaterstromingsstelsels - die in die toestand aan de orde is - verdient nog een nadere toelichting.



Figuur 1.14
De onttrekkingspunten van de voornaamste drink- en industriewaterwinningen in het studiegebied.

Figure 1.14
The pumping stations of the major drinking water and industrial water production sites.

1.4.2 De kunstmatige grondwaterstromingsstelsels

In de huidige toestand is sprake van een aantal kunstmatige door grondwaterwinning aangedreven grondwaterstromingsstelsels. De voornaamste winningen vormen die ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De lokatie van deze waterwingebieden is weergegeven in figuur 1.14. In tabel 1.3 zijn per wingebied de vergunnings- of wincapaciteit en de zogenaamde "duurzame capaciteit" (Anonymus, 1995) aangegeven. Deze waarden geven aan welke hoeveelheid water per wingebied reeds wordt geproduceerd, dan wel welke hoeveelheden in de toekomst worden nagestreefd. Ter oriëntatie is nog de werkelijk afgeleverde hoeveelheid uit 1986 weergegeven. Zowel de bestaande als de duurzame capaciteit overstijgen deze hoeveelheid uit 1986 (vergelijk de opmerkingen hieromtrent in § 4.4).

Naast de drinkwaterwinningen wordt er in het studiegebied op diverse lokaties grondwater onttrokken ten behoeve van industriële en landbouwkundige doeleinden en ten behoeve van bronneringen. Voor het beheersgebied van het waterschap Regge en

Waterwingebied / Waterproduction site	Vergunningscapaciteit of wincapaciteit (2) / Allowed or actually produced quantity (2) in mil. m-3 j-1 / y-1	'Duurzame'capaciteit voor 2020 (3) / 'Sustainable' quantity in 2020 (3) in mil. m-3 j-1 / y-1	Afgeleverde hoeveelheid in 1986 / Extracted quantity in 1986 in mil. m-3 j-1 / y-1
Brucht	5.40	5.40	-
Archemerberg	4.00	3.00	3.70
Nijverdal	6.00	6.00	5.40
Hollten	2.50	1.50	2.54
Herikerberg	4.00	4.00	3.23
Goor	1.50	1.50	1.30
Hoge Hexel	2.50	1.50	2.20
Wierden	8.00	5.50	7.09
Manderveen - Manderheide	4.50	3.80	3.28
Vasserheide	0.70	-	0.77
Weerselo	1.00	-	1.08
Hasselo	0.70	-	0.64
Hengelo	1.00	-	0.85
Oldenzaal	2.10	-	1.67
Enschede Weerseloseweg (1)	9.10	9.10	6.29
Enschede Centrum	1.50	?	0.50
Hammerflir	1.20	5.00	-
TOTAAL	55.70	46.30	40.54

Tabel 1.3

De waterwingebieden in het studiegebied met bijbehorende (vergunnings)capaciteit. Ter oriëntatie zijn tevens de zogenaamde 'duurzame capaciteit' en de afgeleverde hoeveelheid per wingebied in 1986 weergegeven.

1. Een belangrijke deel van deze winning betreft geïnfilteerd oppervlaktewater (6.00 in milj. m-3 jr-1) of directe winning uit oppervlaktewater (2.10 in milj. m-3 jr-1).
2. In deze kolom is aangegeven de hoeveelheid water die - gezien de verleende vergunning - mag worden onttrokken. De werkelijke winningshoeveelheid is vermeld wanneer deze lager is dan de vergunning mogelijk maakt. Bron: Anonymus, 1995.
3. Met deze capaciteit wordt bedoeld: "de hoeveelheid grondwater die jaarlijks - en volgens verwachting van alle betrokken partijen - in harmonie met de andere belangen kan worden onttrokken.". Deze definitie is overgenomen uit het Integraalplan Drinkwatervoorziening Overijssel (Anonymus, 1995).

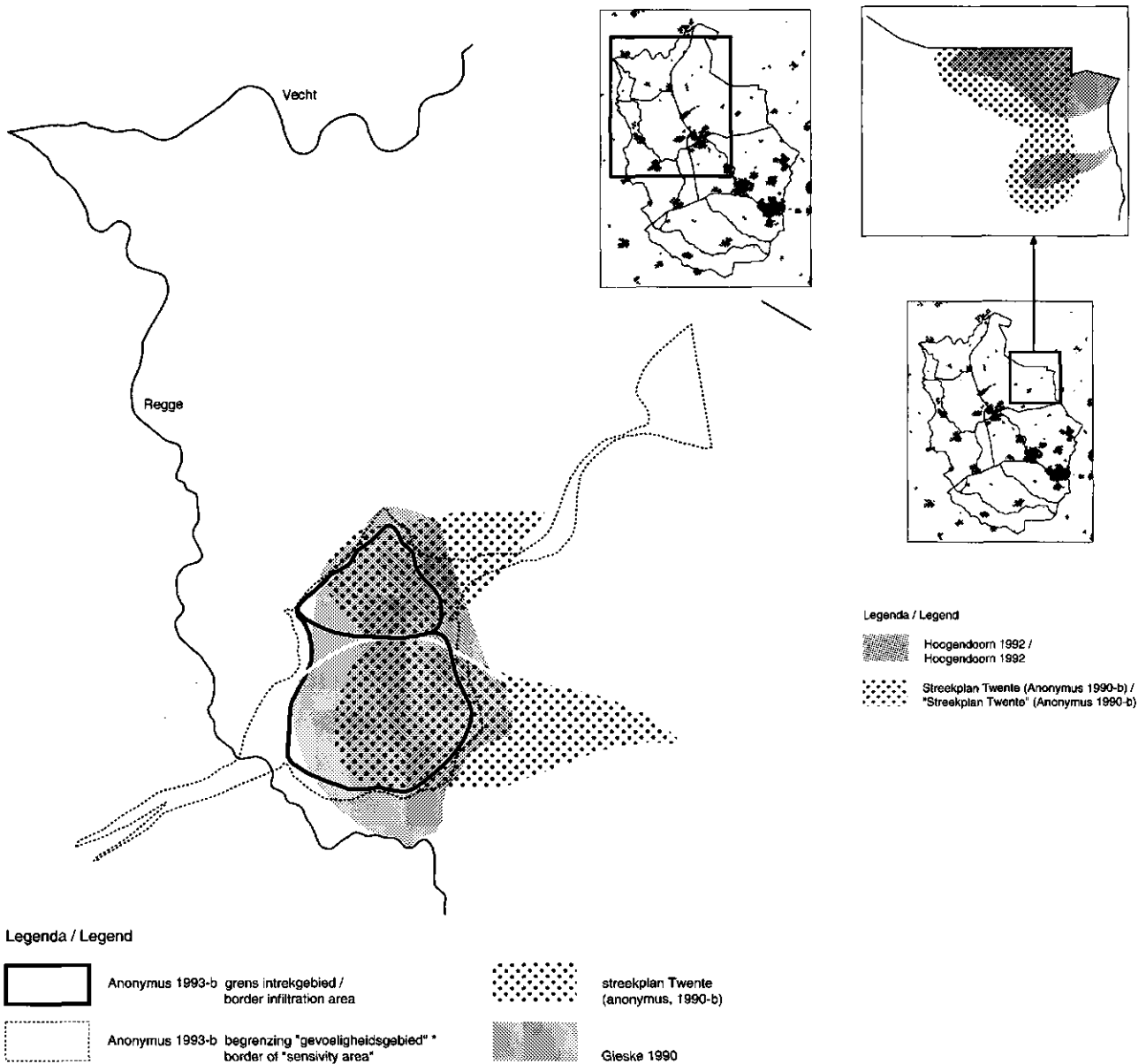
Table 1.3

The drinking water production sites in the study area and the related (allowed) capacity. The so-called 'sustainable yields' and the realized yields in 1986 are given as well.

1. This amount includes the infiltration of surface water (6.00 in milj. m-3 jr-1) and direct production from surface water (2.10 in milj. m-3 jr-1).
2. This column contains the quantities that drinking water companies are allowed to produce. The true production quantities are given when these allowed amounts are not realized.
3. The 'sustainable yield' is defined here as: "the amount of groundwater that may be produced each year that doesn't affect other interests - as estimated by all parties concerned". This is a definition derived from Anonymus, 1985.

Dinkel - dat grotendeels samenvalt met het studiegebied - bedroeg het totaal van deze onttrekkingen in 1986 9.7 miljoen m³.

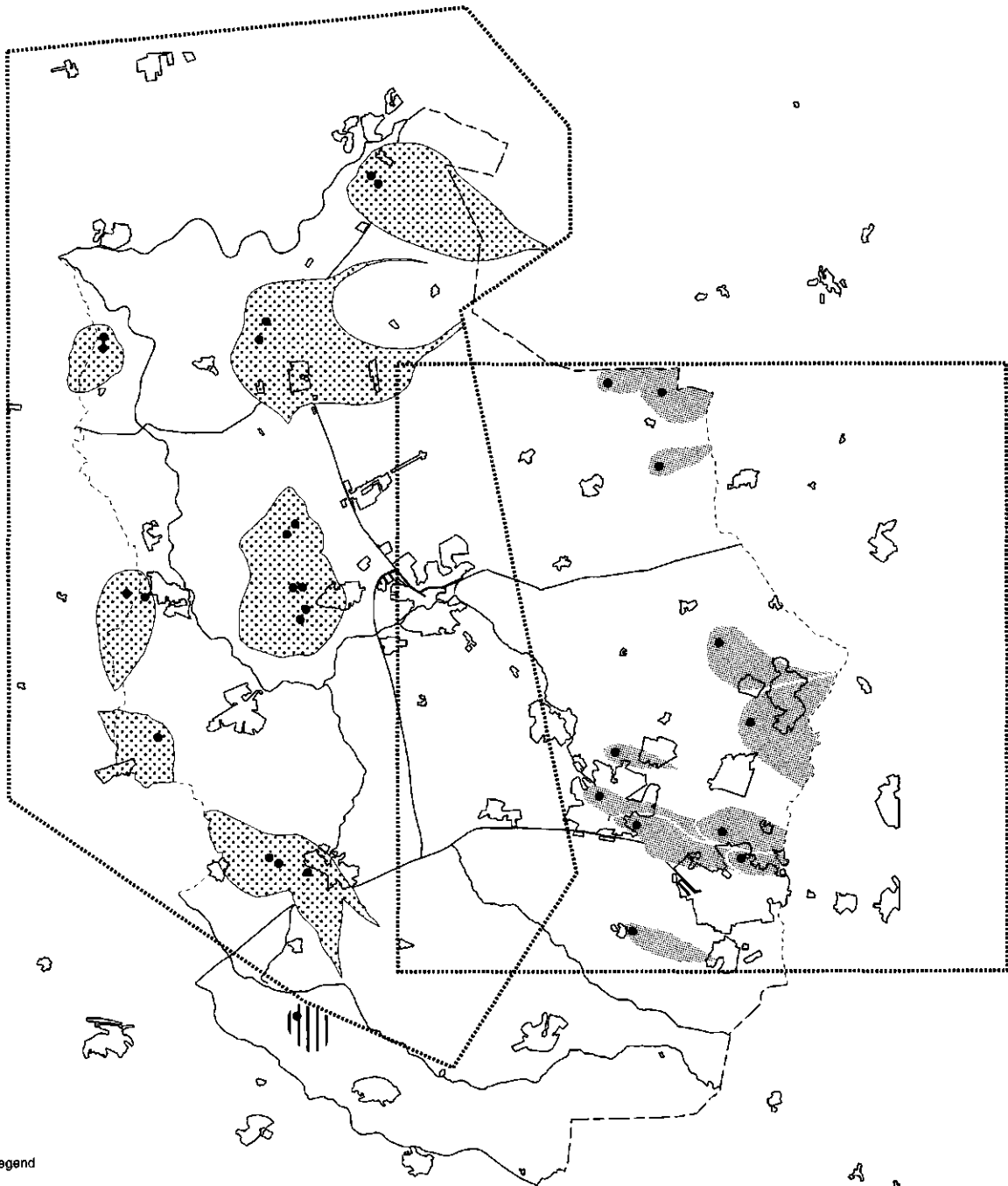
De pompputten van de grondwaterwinningen vormen de 'uitgangen' van de kunstmatige stromingsstelsels. De gebieden vanwaar neerslagoverschotten infiltreren naar de pompputten - de intrekgebieden - vormen de 'ingangen'. Voor de begrenzing van de grondwaterstromingsstelsels in de huidige toestand is het van belang de intrekgebieden van de belangrijkste winningen te bepalen. Hierbij is gebruik gemaakt van in verschillende bronnen aanwezige kennis over de intrekgebieden die is verzameld ten behoeve van het grondwaterbeschermingsbeleid (archieven van WMO en provincie; streekplannen; Vissers et al., 1985; Gieske, 1989; Hoogendoorn, 1992; Anonymus, 1993-b). Hieruit is gebleken dat de ligging van deze gebieden nogal kan verschillen. Treffende illustraties hiervan vormen de intrekgebieden van de pompstations Wierden (figuur I.15-a) en Manderveen-Manderheide en Vasse (figuur I.15-b).










* Bij de bepaling van het intrekgebied is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daarbij is nagegaan hoe de ligging van het intrekgebied veranderd bij variatie van een aantal belangrijke parameter-waarden in het gebruikte computermodel. Het zogenaamde "gevoeligheidsgebied" geeft de maximale omgenging aan bij deze analyse, die is gevonden voor het intrekgebied.
As a part of the determination of the infiltration area a so-called "sensitivity-analysis" was carried out. In this analysis the changes in the location of the infiltration area were computed resulting from variation of important parameter values of the simulation model. The "sensitivity area" reflects the maximum range of the borders of the infiltration area that was found in this analysis.

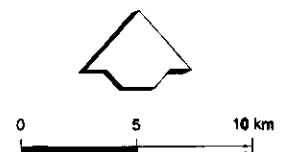
Figuur I.15 De intrekgebieden van de pompstations 'Wierden' (figuur 15-a) en 'Manderveen/Manderheide - Vasse' (figuur 15-b). Naar gelang de gebruikte bron varieert de begrenzing en omvang van de intrekgebieden aanzienlijk.

Figure I.15 The infiltration areas of pumping stations 'Wierden' (figure 15-a) and 'Manderveen/Manderheide - Vasse' (figure 15-b). Depending on the source of the information, the borders and dimensions of these areas may vary significantly.



Legenda / Legend

-  berekende intrekgebieden oost-Twente (Hoogendoorn, 1992) /
computed infiltration areas East-Twente (Hoogendoorn, 1992)
-  berekende intrekgebieden west-Twente (Anonymus, 1993-b) /
computed infiltration areas West-Twente (Anonymus, 1993-b)
-  gemodelleerd gebied t.b.v. intrekgebieden /
area that was considered by the computation of the infiltration areas
-  beschermingsgebied waterwinning "Gelselaar" /
groundwater protection area drinking water pumping station "Gelselaar"
-  onttrekkingspunt /
location of groundwater extraction
-  bebouwing /
built-up areas
-  waterlopen en kanalen /
streams and canals



Figuur 1.16
De begrenzing van de intrekgebieden van de onttrekkingspunten uit figuur 1.14 die in dit onderzoek is gehanteerd.

Figure 1.16
The borders of the infiltration areas of the pumping stations from figure 1.14 that were used in this research.

Voor de toepassing van dergelijke informatie bij de bescherming van de drinkwaterwingebieden, maar ook bij de ruimtelijke planvorming in zijn algemeenheid zijn dergelijke verschillen problematisch. Het wordt op die wijze moeilijk op eenduidige wijze betrouwbare uitspraken te doen over de preciese aard en locatie van (mogelijke) conflicten tussen vormen van grondgebruik en over de aard en locatie van te treffen (plannings)maatregelen voor de aanpak daarvan. Hiervoor is het noodzakelijk dat - voor alle belangrijke grondwaterwinningen - op systematische wijze betrouwbare en eenduidige informatie omtrent de locatie van intrekgebieden aanwezig is. Het is denkbaar dat voor het bepalen van deze gebieden - in overleg met de verschillende verantwoordelijke en betrokken instanties - een protocol wordt opgesteld.

Voor de begrenzing van de kunstmatige grondwaterstromingsstelsels en voor de toepassing van die informatie in de voorbeeldstudies noodzaakten de hierboven vermelde verschillen tot het maken van keuzen. Uiteindelijk heeft dit geresulteerd in de ligging van de intrekgebieden als weergegeven in figuur I.16. Daarin zijn de intrekgebieden als bepaald door Hoogendoorn (1992) en Anonymus (1993-b) integraal overgenomen. Deze gebieden zijn tot stand gekomen in uitgebreide en goed gedocumenteerde (computer) modelleringsstudies op een relatief gedetailleerd schaalniveau en maken daarmee een betrouwbare indruk. Bovendien omvatten beide studies op één na alle waterwingebieden in het studiegebied, hetgeen relatief eenduidige uitspraken omtrent de ligging van de intrekgebieden oplevert. Voor het ontbrekende wingebied aan de zuidwest grens van het studiegebied is gebruik gemaakt van de zone als aangegeven op de streekplankaart van het betreffende gebied.

1.4.3 De resultaten

De hierboven vermelde overwegingen hebben geleid tot de begrenzing van de grondwaterstromingstelsels voor de historische en de huidige toestand als weergegeven in respectievelijk figuren 4.14 en 4.26. Een nadere toelichting bij deze kaartbeelden is beschreven in de paragrafen 4.3.3.1 en 4.3.3.2.

- 1** Deze hydromorfe kenmerken duiden op een bodemkundige genese waarin het water op de een of andere manier een rol heeft gespeeld.
- 2** Deze keuze is ingegeven door het feit dat - met name op de oostelijke stuwwallen - duidelijke diep ingesneden beekdalen in dit type gronden soms niet in de bodem- of in de grondwatertrappenkaart tot uitdrukking komen. Gezien de aanzienlijke hoogteverschillen wordt hier een duidelijk verschil in hydrologisch opzicht verwacht.
- 3** De toevoeging "potentieel" drukt - vermoedelijk - uit dat de informatie deels fossiele kenmerken bevat. De geïndiceerde condities hebben zich ooit voorgedaan, maar kunnen inmiddels zijn verdwenen.
- 4** Het optreden van hoge ijzerconcentraties (toevoeging 'f' op de bodemkaart) wordt door sommige auteurs (Pape, 1979; Steur en Heijink, 1983; Van Beusekom et al., 1990) in verband gebracht met toestromend grondwater. Booy (1986) schetst hieromtrent een genuanceerder beeld en noemt inundatie naast kwel als mogelijke oorzaak.
Stagnatie treedt met name op in vlakke gebieden met storende lagen relatief ondiep in het profiel. Een combinatie van gegevens over het reliëf en de toevoegingen 'x' en 't' kunnen deze condities indiceren. Inundatie treedt over het algemeen op in natte perioden in vlakke gebieden en of op de overgang van een hellend naar een vlak gebied. Met het oppervlaktewater aangevoerd materiaal wordt afgezet. De lokatie van deze verschijnselen wordt zowel door geomorfologische- als bodemkaarten weergegeven. De geomorfologische kaart onderscheidt "inundatievlakten". In het studiegebied vormen het voorkomen van rivierklei- en polderaaggronden, alsmede het optreden van kleidekken op zandgronden (toevoeging 'k') aanwijzingen voor inundatie.
- 5** Hierover stellen Stuurman et al. (1989; pag. 23): "De zogenaamde ondiepe kwel speelt zich af in de intermediaire of overgangszones tussen kwel- en infiltratiegebieden. Dit is een zone waarin van nature in het algemeen stelsels van (zeer) lokale, ondiepe, meer horizontale grondwaterstromingsstelsels aanwezig zijn. Men kan hierbij denken aan een goed gedraineerd (agrarsch) gebied".
- 6** Deze complexiteit heeft waarschijnlijk bijgedragen aan de discrepantie in de beoordeling van deze gronden - bijvoorbeeld in het gebied van de Oldenzaalse stuwwal - tussen Vissers et al. (1985), Gieske (1989) en Hoogendoorn (1992). De eerste twee auteurs benoemen de betreffende gronden respectievelijk als "hydrologisch geïsoleerd gebied" en als "infiltratiegebied", terwijl Hoogendoorn (1992) hier van complexen van lokale stelsels spreekt.
- 7** Het onderscheid tussen "lage weide" en "hoge weide" dat in de legenda van de betreffende topkaarten wordt gemaakt, is nauwelijks op die kaarten terug te vinden. Daarom zijn alle weidegronden hier meegenomen. Hierbij moet bovendien bedacht worden dat destijds de natte(re) tot vochtige(re) gronden als weide in gebruik waren.

8 Onder de voorwaarden van een geringe invloed van het - kunstmatige - drainage stelsel en de afwezigheid van grondwaterwinning van enige betekenis, bestaat er een zeer nauwe koppeling tussen reliëf, opbouw van de ondergrond en grondwaterstand (vergelijk Hoofdstuk 2).

9 Een vergelijkbare situatie wordt iets zuidelijker aangetroffen rond de stuwwal van Delden. Hier wordt dan ook een vergelijkbaar grondwaterstromingspatroon verondersteld.

10 Hierbij is gekozen voor de door Hoogendoorn (1992) gegeven doorlatendheidswaarden van keileem. Het gaat immers om een aantal verspreide keileem-afzettingen (zie ook hoofdstuk 4). Zoals uit de bodemkaart kan worden afgeleid zijn op deze opduikingen veelal essen tot ontwikkeling gekomen.

11 Op de isohypsen-kaart (fig. 1.7) komen de bedoelde opduikingen tot uiting door een hoger grondwaterniveau van één tot twee meter.

12 De resultaten van deze simulatie stemmen slechts gedeeltelijk overeen met de - minder gedetailleerde - FLOWNET-modellering van het betreffende gebied zoals gepresenteerd door Engelen et al. (1989). Een goede vergelijking van beide simulaties is evenwel onmogelijk doordat in de genoemde studie de gebruikte invoer-variabelen niet volledig zijn vermeld. Dit betreft met name de gebruikte schematisatie van de ondergrond. Deze schematisatie lijkt - voorzover valt na te gaan - niet goed te corresponderen met de hydrogeologische gegevens uit Smoor en De Ridder (1972) en Haak (1985).

13 Uit de kaart met infiltratie- en exfiltratiegebieden blijkt overigens dat niet op al deze keileemopduikingen infiltratiecondities worden gevonden. In een aantal gevallen ontbreken de bodemtypen die op dergelijke condities wijzen.

14 Het gesimuleerde patroon van de grondwaterstroming komt in grote lijnen overeen met dat wat gevonden is in de studie van Engelen et al. (1989); niettemin geldt ook hier weer het voorbehoud met betrekking tot de schematisatie van de ondergrond. Door De Ruiter (1989) wordt voor het betreffende gebied een begrenzing van grondwaterstromingsstelsels gepresenteerd, waarbij van een grotere invloed van het infiltratiegebied nabij Lünten wordt uitgegaan. Ook hiervoor geldt evenwel dat door het ontbreken van de basisgegevens een vergelijking met de hier gevonden resultaten niet mogelijk is.

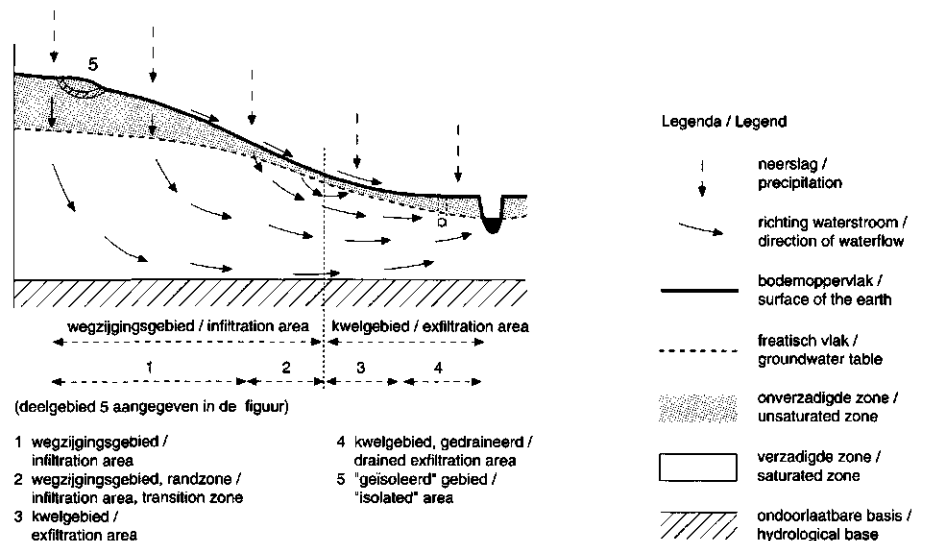
II EEN TYPERING VAN FYSIOTOPEN IN HET STROOMGEBIED VAN DE REGGE

II.1 Inleiding

In de hydrologische systeemanalyse staat een beschrijving van abiotische condities centraal. Met behulp van deze inzichten is een typologie af te leiden van voor het gebied karakteristieke fysiotopten voor een historische en een huidige toestand. Met deze typologie kan inzicht worden geboden in de wijze waarop de milieucondities in het landschap zich vanaf het begin van de negentiende eeuw hebben ontwikkeld (vergelijk hoofdstuk 4). Bovendien dient de typologie als richtbeeld bij de planvorming, waarbij het ontwikkelen van de (abiotische) differentiatie immers een belangrijke rol speelt (hoofdstuk 5).

II.2 De typologie van fysiotopten

De basis van de typologie van fysiotopten voor het stroomgebied van de Regge wordt gevormd door de indeling in infiltratie-, exfiltratie- en hoogveengebieden uit bijlage I. Deze indeling sluit aan bij een door Van Beusekom et al. (1990) afgeleide typologie van standplaatsen in een vereenvoudigd hydrologisch systeem (figuur II.1). In tabel II.1 zijn deze 'hydrologische' hoofdgroepen van de typologie weergegeven. Vervolgens leveren bodemkenmerken indicaties voor de verschillen in de aard van het substraat, voedselrijkdom en zuurgraad (zie bijvoorbeeld Klijn, 1988; Witte en Van der Meijden, 1989; Van Beusekom et al., 1990; Bruggink et al., 1990; Klijn et al., 1996). Op deze wijze is een tweede dimensie voor de typologie van fysiotopten in het studiegebied opgesteld, hier aangeduid als verschillen in het (bodem)substraat (Tabel II.2).



Figuur II.1
Een typering van standplaatsen in een vereenvoudigd hydrologisch systeem.

Figure II.1
A typology of environmental conditions in a simplified hydrological system.

Hydrologische condities / *Hydrological conditions*

Infiltratie / <i>Infiltration</i>	droog / <i>dry</i> droog tot vochtig / <i>dry to moist</i> wisselend: vochtig tot nat / <i>varying from moist to wet</i>
Exfiltratie / <i>Exfiltration</i>	wisselend: nat tot vochtig / <i>varying from wet to moist</i> nat tot zeer nat / <i>wet to very wet</i>
Exfiltratie en inundatie / <i>Exfiltration and inundation</i>	nat tot zeer nat / <i>wet to very wet</i>
Hoogveen / <i>Peat moor</i>	nat tot zeer nat / <i>wet to very wet</i>

Tabel II.1

De typering van hydrologische condities

Table II.1 The typology of hydrological conditions that underly the typology of 'fysiotopes' (these are areas with a characteristic set of similar environmental conditions) in the study area.

Typering bodemsubstraat / *Typology of the soils*

Zandgronden / <i>Sandy soils</i>	arm, zuur / <i>poor, acid</i> arm, zwak zuur / <i>poor, moderately acid</i> matig rijk / <i>moderately rich</i> matig rijk (inundatie: gronden met kleidek) / <i>moderately rich (inundation: soils with clay-top)</i>
Kleigronden / <i>Clay soils</i>	arm, zuur - zwak zuur / <i>poor, acid to moderately acid</i> matig rijk / <i>moderately rich</i>
Veen- en moerige gronden / <i>Peat and marshy soils</i>	arm, zuur (hoogveen restant) / <i>poor, acid (remnant moor)</i> arm, zwak zuur / <i>poor, moderately acid</i>

Tabel II.2.

De typering van (bodem)substraat-typen die als basis dient voor de typologie van fysiotopen in het studiegebied.

Table II.2

The typology of soil-conditions that underly the typology of 'fysiotopes' in the study area.

De in het studiegebied voorkomende bodemtypen zijn in één van deze 'substraattypen' ingedeeld door gebruik te maken van een door Klijn (1988; zie ook Witte en Van der Meijden, 1989) afgeleide typologie. Hiertoe zijn de eenheden in eerste instantie onderverdeeld naar de door Klijn (1988) gebruikte eenheden van de bodemkaart van Nederland op schaal 1:250.000. Vervolgens is - via deze tussenstap - de door Klijn (1988) gebruikte typering van milieucondities gehanteerd. Uiteindelijk zijn die aanduidingen samengevoegd tot de substraattypen van tabel II.2. Deze stapsgewijze procedure is in de tabellen II.3-a tot en met II.3-c weergegeven.

Op grond van de hierboven vermelde overwegingen is de typologie van fysiotopen opgesteld als weergegeven in tabel II.4.

Het systeem van bodemclassificatie geeft indicaties omtrent ontwatering, vergraving en andere verstoringen van de oorspronkelijke profielen, zoals de "*" aanduiding en het optreden van de code IV bij de grondwatertrappen en toevoegingen als "↑", "↓", "→" en "←" die wijzen op de uitvoering van cultuurtechnische werken. Dergelijke aanduidingen betekenen dat de oorspronkelijke fysiotopen zijn veranderd. Voorzover mogelijk zijn deze kwalificaties in de typologie van fysiotopen meegenomen.

Op vergelijkbare wijze als uiteengezet bij de aanduiding van infiltratie en exfiltratie gebieden zijn 'verdroogde' fysiotopen in de huidige toestand in een andere categorie ondergebracht dan voor de typering van de historische toestand het geval is. De typering van de fysiotopen voor de historische toestand gaat uit van een toestand zoals die in een 'ongestoorde' bodem kan worden aangetroffen (vergelijk Witte en Van der Meijden, 1989). Van de hiervoor bedoelde wijzigingen wordt verondersteld dat deze nog niet hebben plaats gehad. Effecten van processen als verzuring, vermesting en verdroging op de trofie- en zuurgraad zijn overigens niet in beschouwing genomen.

De kanttekeningen impliceren dat de fysiotopentypologie beperkingen heeft voor wat betreft de indicatieve waarde voor de te ontwikkelen abiotische milieucondities.

Immers, een deel van de genoemde 'storings-processen' heeft irreversibele gevolgen, zodat de oorspronkelijke fysiotop niet of pas na zeer lange tijd weer kan ontstaan.

Niettemin gaat de typologie uit van een aantal van de belangrijkste werkzame processen in het landschap; worden die processen hersteld, of de condities daarvoor geschapen, dan is de aanduiding van de 'ongestoorde' toestand een indicatie voor het mogelijke eindresultaat.

Aanduiding Bodemkaart 1:50.000 / Indication 1:50.000 soil map	Aanduiding Bodemkaart 1:250.000 / Indication 1:250.000 soil map	Geaggregeerde bodemeenheden / Agregated soiltypes (Klijn, 1988)	Standplaatstypen / Environmental conditions (Klijn, 1988)	Substraattype volgens Tabel II.2 / Soil typology of Table II.2
pRn86/pRn59	R4	K5	S27/S47	matig rijk / mod. rich
Rn82C	R6	K5	S27/S47	matig rijk / mod. rich
KX/KT	K4	K8	S41/S42	arm, zuur-zwak zuur poor, acid-mod. acid

Tabel II.3-a

De indeling van de in het studiegebied voorkomende veen- en moerige gronden in de door Klijn (1988) voorgestelde standplaatstypen en - via deze - in de substraatypen van tabel II.2.

Table II.3-a

The way the peat and marshy soils from the study area may be classified in the typology of environmental conditions by Klijn (1988) and - through this - in the typology of table II.2.

Aanduiding Bodemkaart 1:50.000 / Indication 1:50.000 soil map	Aanduiding Bodemkaart 1:250.000 / Indication 1:250.000 soil map	Geaggregeerde bodemeenheden / Agregated soiltypes (Klijn, 1988)	Standplaatstypen / Environmental conditions (Klijn, 1988)	Substraattype volgens Tabel II.2 / Soil typology of Table II.2
Y21/Y21b/Y23	Z5/Z6	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
Hn21/Hn23	Z7	Z7n	S21/S41	arm, zuur /poor, acid
Hd21/Hd23	Z12	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
Hn30/Hd30	Z13	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
bEZ21/bEZ23	Z14	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
zEZ21/zEZ23	Z15	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
EZg21	Z17	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
cY21/cY23	Z18	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
cHn21/cHn23				
cHd21/cHd23				
pZg23	Z20	Z0	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
pZn21/pZn23	Z21	Z0	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
Zn21	Z23	Z5	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
kpZg23	Z26	Z9	S27/S47/S67	matig rijk /mod. rich
Zd21/Zb21	Z27	Z4	S61	arm, zuur /poor, acid

Tabel II.3-b

De indeling van de in het studiegebied voorkomende zandgronden in de door Klijn (1988) voorgestelde standplaatstypen en - via deze - in de substraatypen van tabel II.2.

Table II.3-b

The way the sandy soils from the study area may be classified in the typology of environmental conditions by Klijn (1988) and - through this - in the typology of table II.2.

Aanduiding Bodemkaart 1:50.000 / Indication 1:50.000 soil map	Aanduiding Bodemkaart 1:250.000 / Indication 1:250.000 soil map	Geaggregeerde bodemeenheden / Agregated soiltypes (Klijn, 1988)	Standplaatstypen / Environmental conditions (Klijn, 1988)	Substraattype volgens Tabel II.2 / Soil typology of Table II.2
Y21/Y21b/Y23	Z5/Z6	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
Hn21/Hn23	Z7	Z7n	S21/S41	arm, zuur /poor, acid
Hd21/Hd23	Z12	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
Hn30/Hd30	Z13	Z7d	S61	arm, zuur /poor, acid
bEZ21/bEZ23	Z14	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
zEZ21/zEZ23	Z15	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
EZg21	Z17	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
cY21/cY23	Z18	Z8	S67	matig rijk /mod. rich
cHn21/cHn23				
cHd21/cHd23				
pZg23	Z20	Z0	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
pZn21/pZn23	Z21	Z0	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
Zn21	Z23	Z5	S22/S42	arm, zwak zuur poor, mod. acid
kpZg23	Z26	Z9	S27/S47/S67	matig rijk /mod. rich
Zd21/Zb21	Z27	Z4	S61	arm, zuur /poor, acid

Tabel II.3-c

De indeling van de in het studiegebied voorkomende rivierkleigronden en oude kietgronden in de door Klijn (1988) voorgestelde standplaatstypen en - via deze - in de substraatypen van tabel II.2.

Table II.3-c

The way the clayey soils from the study area may be classified in the typology of environmental conditions by Klijn (1988) and - through this - in the typology of table II.2.

Typering hydrologie / Typology of the hydrology

Typering substraat / Typology of the soil

<p>Infiltratie / Infiltration</p> <p>droog / dry</p> <p>droog - vochtig / dry to moist</p> <p>wisselend: vochtig tot nat / variable: moist to wet</p>	<p>arm, zuur zand / poor, acid sand</p> <p>matig rijk zand / moderately rich sand</p> <p>arm, zuur zand / poor, acid sand</p> <p>arm, zuur - zwak zuur zand (soms moerig-venig) / poor, acid to moderately acid sand (sometimes marshy, peat)</p> <p>matig rijk zand / moderately rich sand</p> <p>arm, zuur zand / poor, acid sand</p> <p>arm, zuur - zwak zuur klei / poor, acid to moderately acid clay</p> <p>arm, zuur - zwak zuur zand (soms moerig-venig) / poor, acid to moderately acid sand (sometimes marshy, peat)</p> <p>matig rijk zand / moderately rich sand</p>
<p>Exfiltratie / Exfiltration</p> <p>wisselend: nat tot vochtig / variable: wet to moist</p> <p>nat / wet</p>	<p>arm, zuur zand / poor, acid sand</p> <p>arm, zuur - zwak zuur klei / poor, acid to moderately acid clay</p> <p>arm, zuur - zwak zuur zand (soms moerig-venig) / poor, acid to moderately acid sand (sometimes marshy, peat)</p> <p>matig rijk zand / moderately rich sand</p> <p>arm, zuur - zwak zuur zand (soms moerig-venig) / poor, acid to moderately acid sand (sometimes marshy, peat)</p> <p>matig rijk zand / moderately rich sand</p> <p>matig rijk klei of zand met kleidek (inundatie) / moderately rich clay or sand with clay-top (inundation)</p>
<p>Hoogveen / Peat Moor</p>	<p>arm, zuur hoogveen (restant) / poor, acid moor (remnant)</p> <p>ontgonnen, ontwaterd hoogveen / drained, reclaimed moor</p>

*Tabel II.4
De typologie van fysiotopten voor het studiegebied.*

*Table II.4
The typology of 'fysiotopten' in the study area.*

BIJLAGE III HET GRONDWATERSTROMINGSMODEL 'RIJSSEN'

III.1 Inleiding

In het kader van een vooronderzoek naar de mogelijkheden om in het gebied tussen Holterberg en Regge de productie van drinkwater en natuurontwikkeling te onderzoeken is een niet-stationair grondwaterstromingsmodel ontworpen (Stalpers, 1992). Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma MODFLOW^{EM} (MacDonald and Harbaugh, 1988). In het hydrologisch onderzoek van het NADORST-project is dit grondwaterstromingsmodel 'Rijssen' toegepast.

In deze bijlage wordt een kenschets gegeven van de belangrijkste specificaties van het model 'Rijssen' (§ III.2). Voor een uitgebreide behandeling van dit niet-stationaire model wordt verwezen naar het rapport van Stalpers (1992). Ten behoeve van de verkennende en de ontwerp fase van het onderhavige onderzoek zijn - voor een gemiddelde zomer en een gemiddelde wintertoestand - stationaire versies van het model ontwikkeld. De beschrijving hiervan komt in § III.3 aan de orde.

III.2 Het niet-stationaire model 'Rijssen'

Modellschematisatie

De modellering met MODFLOW vraagt een horizontale discretisatie van het plangebied in rechthoekige elementen en een verticale discretisatie van lagen met verschillende doorlatendheid. Uiteindelijk is het gebied hiertoe opgedeeld in 6068 cellen, verdeeld over 74 kolommen en 82 rijen (figuur III.1). In het centrale aandachtsgebied - waar de voornaamste veranderingen worden verwacht - zijn de modelelementen 100 bij 100 meter groot. Langs de modelranden loopt de discretisatieafstand op. In de verticale richting zijn, op basis van de kenmerken van de aangetroffen geologische formaties, twee watervoerende pakketten in het model opgenomen, met daartussen een slecht doorlatende laag. De kleien van de formatie van Breda zijn als hydrologische basis aangenomen.

Tijdstap en rekenperiode

De niet-stationaire modelberekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1984-1985. Het jaar 1985 mag voor het onderzoeksgebied als een meteorologisch representatief jaar worden beschouwd (Stalpers, 1992). Deze periode is vervolgens opgedeeld in 72 tijdstappen van 10 dagen.

Modelrandvoorwaarden

Langs de grenzen van het modelgebied zijn stationaire randvoorwaarden bepaald, gebruikmakend van de gemiddelde stijghoogten in de periode 1979- 1987¹. In de nabijheid van de modelranden zullen door deze stationaire aannamen fouten in de berekeningen optreden. De afstand tot het feitelijke aandachtsgebied is evenwel zo groot, dat deze geen tot weinig gevolgen voor de uitkomsten zullen hebben. Langs de westzijde volgt de modelrand de waterscheiding op de Holterberg. Hier is een zogenaamde 'no-flow' rand gemodelleerd. Dit wil zeggen dat er ter plaatse van de waterscheiding geen horizontale grondwaterstroming het modelgebied in of uit optreedt.

De grondwateraanvulling

Als basis voor de grondwateraanvulling is gebruik gemaakt van neerslag-en ver-



Legenda / Legend

 discretisatie afstanden in horizontale richting /
discretisation distance in the horizontal direction



Figuur III.1.

De horizontale discretisatie van het plangebied voor de Nadorst-studie ten behoeve van het MODFLOW-rekenmodel.

Figure III.1.

The horizontal discretisation of the study area of the Nadorst-project for the MODFLOW simulation model.

dampingsgegevens van de meetstations Hellendoorn en Markelo. Vertragingseffecten, dat wil zeggen de tijd die verloopt tussen het moment van infiltreren van een neerslagimpuls en het moment dat deze hoeveelheid het grondwater bereikt, zijn met name in de diepe onverzadigde zone's op de stuwwallen relevant. Deze effecten zijn met behulp van kruiscorrelatie tussen neerslagoverschot en grondwaterstandsverloop bepaald. Hieruit bleek dat 10 meter onverzadigde zone gemiddeld voor ongeveer 1 á 1,5 maand vertraging zorgt. Deze waarde stemt overeen met in de literatuur gevonden gegevens (Stalpers, 1992; verg. Van Drecht, 1986; Van de Straat, 1989).

Naast genoemde vertragingseffecten kan een neerslagimpuls in het bewortelde deel van de onverzadigde zone worden afgevlakt (gedempt door berging). Om dit effect in het model te beschrijven is een reservoir gemodelleerd van 150 mm (de hangwatercapaciteit). Het infiltrerende regenwater wordt hierdoor alleen naar de verzadigde zone doorgegeven als het reservoir volledig is gevuld. Indien het reservoir leeg is kan geen verdamping (uit het grondwater) plaatsvinden.

De in het niet-stationaire model gehanteerde verdampingsfactoren zijn in tabel III.1 vermeld.

Het oppervlaktewatersysteem

De waterlopen binnen het modelgebied die een belangrijke invloed hebben of

Grondgebruik / Land use	Verdampingsfactor 'f' / Transpiration factor 'f'
bos / forest	0.90
heide / heathland	0.65
grasland / grassland	0.80
stad / town	0.95

Tabel III.1

De in het niet-stationaire model 'Rijssen' gebruikte verdampingsfactoren, gerangschikt naar grondgebruik.

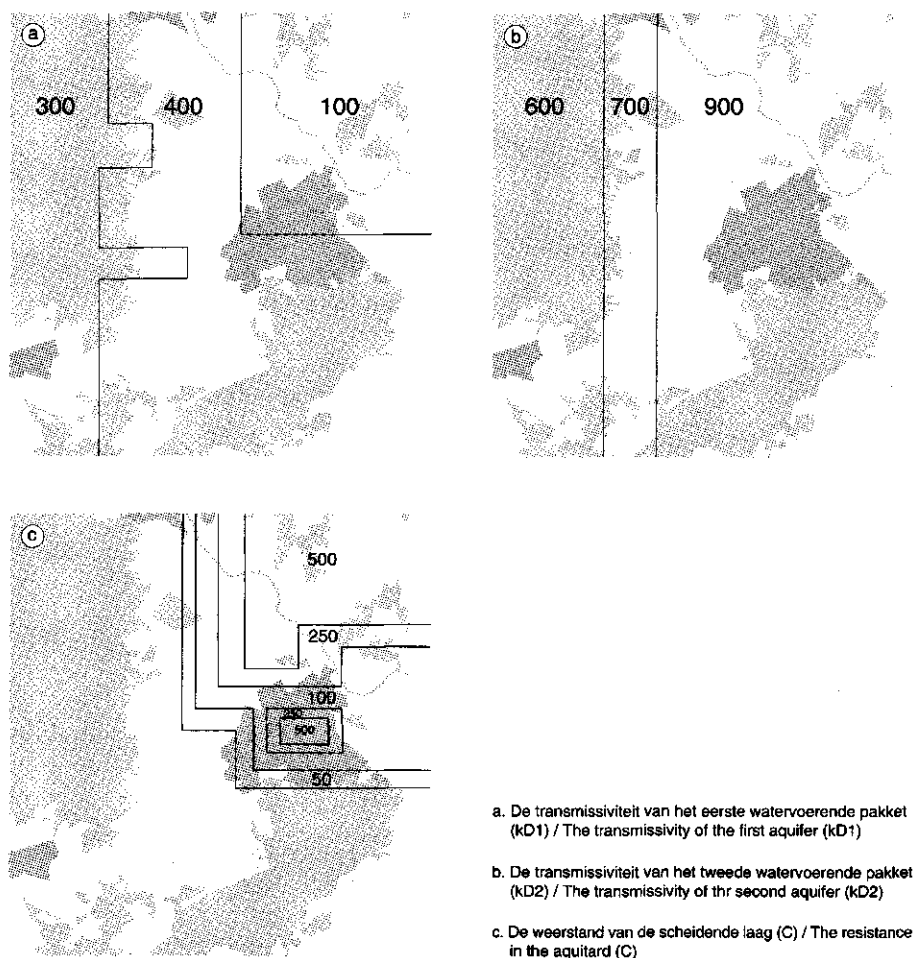
Table III.1

The transpiration factors, related to land use, as used in the unsteady version of the groundwaterflow simulation model 'Rijssen'.

kunnen hebben op de grondwaterstanden zijn afzonderlijk gemodelleerd met de 'river-optie' van MODFLOW. In verband met het ontbreken van voldoende gegevens over de waterlopen is een reconstructie gemaakt van de condities in 1984 en 1985 voor een gemiddelde zomer- en een gemiddelde wintersituatie (Stalpers, 1992). De kleinere sloten en greppels zijn waar mogelijk gemodelleerd met behulp van een drainagefunctie.

Hydrogeologische parameters

De schematisatie van de ondergrond in een systeem met twee watervoerende lagen en één weerstands biedend pakket alsmede de bijbehorende kD en de c -waarden zijn weergegeven in figuur III.2. Deze waarden zijn gebaseerd op literatuurgegevens, boorbeschrijvingen, een pompproef op de Holterberg en op geijkte waarden uit eerder onderzoek in het gebied (Ngo, 1989; zie Stalpers, 1992).



Figuur III.2.

De gebruikte geohydrologische parameters van het plangebied.

Figure III.2.

The geohydrological parameters of the study area.

III.3 De stationaire modellen 'Rijssen'

III.3.1 Inleiding

De stationaire varianten van het grondwaterstromingsmodel 'Rijssen' zijn gemaakt om daarmee efficiënt de verkennende en de ontwerpfasen van het Nadorst-project te kunnen doorlopen. Het gebruik van stationaire modellen levert immers een belangrijke tijdsbesparing bij in- en uitvoer van gegevens en bij de berekeningen op. Bovendien kan, gezien het doel van deze fasen, worden volstaan met stationaire berekeningen van een gemiddelde zomer- en een gemiddelde wintertoestand.

Voor de modellering van de huidige situatie in het plangebied is gebruik gemaakt van de randvoorwaarden, geohydrologische parameters en karakteristieken van het oppervlaktewatersysteem van het niet stationaire model 'Rijssen'. Bepaling van de grondwateraanvulling en de ijking zijn voor de afzonderlijke stationaire modellen opnieuw uitgevoerd. Dit is beschreven in de volgende paragrafen. Voor de ijking van de niet-stationaire modelvariant wordt verwezen naar het rapport van Stalpers (1992) en naar Stalpers en Van Buuren (1993).

III.3.2 De grondwateraanvulling in de stationaire modellen 'Rijssen'

De ijking van de twee stationaire modellen (zomer- en wintersituatie) is gebaseerd op neerslag- en verdampingscijfers van april 1983 t/m februari 1987². De gemiddelde neerslag in de periode april t/m september (zomerhalfjaar) bedroeg 410 mm en de gemiddelde verdamping 532 mm. In het winterhalfjaar (oktober t/m maart) is een gemiddelde neerslag van 421 mm en een gemiddelde verdamping van 80 mm gemeten.

De differentiatie in het plangebied (hoogteligging en hydrologie) maakt het nodig om het ten behoeve van de grondwateraanvulling in 3 hoofdeenheden in te delen, te weten:

- het infiltratiegebied op de stuwwallen;
- het overgangsgebied;
- het kwelgebied, waarbinnen nog een onderscheid wordt gemaakt tussen grasland en stedelijk gebied.

In het infiltratiegebied zijn (naald)bos en heide (resp. 80 en 20%) de overheersende bodemgebruiksvormen. De dikte van de onverzadigde zone varieert hier van 30 - 50 meter, waardoor neerslagimpulsen een vertraging van 4 tot 7 maanden ondervinden. Het kwelgebied kenmerkt zich door een overwegend gebruik als grasland. Hier is sprake van contactprofielen, zodat het gewas direct uit het grondwater kan verdampen. Het overgangsgebied tussen de inzig- en kwelsituaties is voor wat betreft bodemgebruik en situatie van de onverzadigde zone minder eenduidig te typeren. Naaldbos, grasland, heide, akkers en bebouwing wisselen elkaar af.

De gehanteerde gewasfactoren wijken enigzins af van de voor de niet-stationaire modellen gehanteerde waarden en zijn vermeld in tabel III.2.

Grondgebruik / Land use	Verdampingsfactor 'f' / Transpiration factor 'f'
grasland / grassland	0.70
(naald)bos / (coniferous) forest	0.90
heide / heathland	0.60

Tabel III.2

De in de stationaire modellen gebruikte verdampingsfactoren, gerangschikt naar grondgebruik.

Table III.2

The transpiration factors, related to land use, as used in the steady versions of the groundwaterflow simulation model 'Rijssen'.

Op basis van de bovenstaande overwegingen zijn de neerslagoverschotten van tabel 3 afgeleid voor de hoofdeenheden kwelgebied en infiltratiegebied. Hierbij is nog geen rekening gehouden met invloed van lange onverzadigde zones en aanwezigheid van stedelijk gebied; het is een uitgangstabel voor de bepaling van de uiteindelijke modelwaarden, zoals vermeld in tabel III.3.

Periode / Period	Gebiedstype / Type of area	Neerslagoverschot / Precipitation surplus
zomer / summer	kwelgebied / exfiltration area	0.2 mm.d-1
	infiltratiegebied / infiltration area	-0.2 mm.d-1
winter / winter	kwelgebied / exfiltration area	2.0 mm.d-1
	infiltratiegebied / infiltration area	2.0 mm.d-1

Tabel III.3

De voor de stationaire modellen afgeleide gemiddelde neerslagoverschotten, gerangschikt naar de hydrologische aard van het gebied.

Table III.3

The mean precipitation surpluses of the steady models, related to the (hydrological) nature of the area.

De onverzadigde zone kenmerkt zich door de overgang van contactprofielen naar een toestand waarin neerslagimpuls een vertraging van circa 3 maanden ondervinden alvorens aan het grondwater toegevoegd te worden. Deze ingewikkelde condities hebben ertoe geleid voor de grondwateraanvulling voor dit gebied aannamen te doen.

Door afvlakking en vertraging van een neerslagimpuls in de onverzadigde zone is in het infiltratiegebied de grondwateraanvulling het hele jaar vrij constant. Omdat de vertraging in de onverzadigde zone tussen de 4 en 7 maanden ligt is de grondwateraanvulling in de zomer iets groter dan in de winter.

In het kwelgebied wordt een deel van het neerslagoverschot in de winter 'geborgen' terwijl het 's zomers verdampt via het gewas. Omdat door middel van de gewasfactoren in de zomer de verdamping al wordt verrekend bij de grondwateraanvulling wordt 0.4 mm/dag grondwateraanvulling van de winter overgeheveld naar de zomer.

Voor het gerioleerde stedelijke gebied is een verdampingsfactor van 0.8 aangehouden. De berekende grondwateraanvulling is gehalveerd om het effect van riolering mee te nemen. Deze overwegingen hebben geleid tot de in tabel III.4 weergegeven differentiatie in de grondwateraanvulling.

Periode / Period	Gebiedstype / Type of area	Grondwateraanvulling / Groundwater recharge
zomer / summer	kwelgebied / exfiltration area	0.6 mm.d-1
	overgangsgebied / transition area	0.8 mm.d-1
	infiltratiegebied / infiltration area	1.0 mm.d-1
	stedelijk gebied / urbanarea	0.1 mm.d-1
winter / winter	kwelgebied / exfiltration area	1.6 mm.d-1
	infiltratiegebied / infiltration area	1.1 mm.d-1
	infiltratiegebied / infiltration area	0.8 mm.d-1
	stedelijk gebied / urbanarea	0.8 mm.d-1

Tabel III.4

De grondwateraanvulling in de stationaire modellen, gerangschikt naar de aard van het betreffende gebied.

Table III.4

The groundwater recharge in the steady models, related to the nature of the area.

III.3.3 De ijking van de stationaire modellen 'Rijssen'.

De stationaire modellen 'Rijssen' zijn geijkt op basis van de grondwaterstanden in het eerste en het tweede watervoerende pakket. Deze ijking heeft geleid tot een bijstelling van de grondwateraanvulling voor het winterhalfjaar in het kwelgebied tot 1.45 mm/dag. De gemeten en de - voor de corresponderende model-elementen - berekende grondwaterpotentialen zijn vergeleken in de tabellen III.5 (eerste pakket) en III.6 (tweede pakket).

De verschillen tussen de berekende en de gemeten waarden variëren van enige tot maximaal 23 cm. Daarbij doen zich met uitzondering van de zomersituatie in het tweede watervoerende pakket, zowel onder- als overschreidingen voor. Niettemin overheerst - met name in het tweede pakket - het aantal overschreidingen. Dit wordt duidelijk wanneer de gemiddelde afwijkingen worden bepaald. Voor het eerste watervoe-

Peilbuis nr. / Nr. Inspectionwell	Element / element	Zomer / Summer			Winter / Winter		
		gemeten / measured	berekend / computed	verschil / difference	gemeten / measured	berekend / computed	verschil / difference
28c192	12, 24	9.73	9.82	+0.09	9.96	10.16	+0.20
28d176	29, 45/46	8.35	8.48	+0.13	8.70	8.78	+0.08
28c191	31, 35	8.91	8.88	-0.03	9.05	9.01	-0.04
28d150	19, 38	8.37	8.35	-0.02	8.72	8.55	-0.17
28c0017	49, 24	11.29	11.10	-0.19	11.52	11.57	+0.05
28c0056	47, 34	10.28	10.18	-0.10	10.56	10.46	-0.10
28c0060	61, 28	11.32	11.31	-0.01	11.52	11.64	+0.12
28d0032	62, 36/37	10.81	10.89	+0.08	10.88	11.04	+0.16
28c193	22, 10	12.21	12.21	+0.06	12.21	12.38	+0.17

Tabel III.5

De gemeten en berekende grondwaterstanden in het eerste watervoerende pakket voor een gemiddelde zomer en een gemiddelde winterperiode.

Table III.5

The measured and computed groundwater levels in the first (upper) aquifer in a mean summer and a mean winter period.

rende pakket bedragen deze voor de zomer en de winter resp. circa 0.0 en +0.05 (gemiddeld circa +0.02). In het tweede watervoerende pakket bedragen de afwijkingen +0.06 en +0.12 (gemiddeld +0.09). Afwijkingen van deze orde mogen evenwel acceptabel worden geacht.

De fouten zijn een optelsom van (relatieve) fouten in de geschatte parameters en variabelen. De numerieke discretisatie op zich introduceert eveneens fouten in de berekende grondwaterpotentialen.

Peilbuis nr. / Nr. Inspectionwell	Element / element	Zomer / Summer			Winter / Winter		
		gemeten / measured	berekend / computed	verschil / difference	gemeten / measured	berekend / computed	verschil / difference
28c192	12, 24	9.74	9.81	+0.07	9.91	10.14	+0.23
28d176	29, 45/46	8.47	8.50	+0.03	8.73	8.72	+0.01
28c191	31, 35	8.97	9.05	+0.08	9.15	9.23	+0.08
28d150	19, 38	8.28	8.40	+0.12	8.51	8.59	+0.08
28c193	22, 10	12.19	12.25	+0.06	12.15	12.36	+0.21

Tabel III.6

De gemeten en berekende grondwaterstanden in het tweede watervoerende pakket voor een gemiddelde zomer en een gemiddelde winterperiode.

Table III.6

The measured and computed groundwater levels in the second (lower) aquifer in a mean summer and a mean winter period.

III.4 DE GEVOELIGHEIDSANALYSE

III.4.1 Inleiding

De toelichting bij het hydrologisch ontwerp heeft duidelijk gemaakt dat voor een aantal belangrijke parameters aannamen zijn gedaan. Om het effect van deze aannamen op de rekenresultaten in te schatten, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Alhoewel ook kD- en C-waarden belangrijke parameters van het model zijn³, spitst deze gevoeligheidsanalyse zich toe op de parameters die meer direct met het afstroming-infiltratie-mechanisme te maken hebben:

- gewasfactor natte natuurgebieden;
- drainageweerstand voor de oppervlakkige afstroming;
- bodemweerstand van de verzamel-infiltratieleiding;
- peilen in de verzamel-infiltratieleiding.

Bij de gevoeligheidsanalyse voor het inrichtingsplan is uitgegaan van de stationaire

modellen Rijssen. De gevoeligheidsanalyse is voor bovenstaande parameters uitgevoerd op de stijghoogten van het 1e watervoerende pakket en op de oppervlakkige afstroming in de natte natuurgebieden zoals die met de massabalans voor deze gebieden bepaald kan worden. Dit laatste is van belang omdat de realiteitswaarde van het voorgestelde ontwerp in eerste instantie volledig afhankelijk is van een sluitende massabalans. Dit wil zeggen dat de hoeveelheid water dat in de verzamel-infiltratieleiding infiltreert volledig aangevuld moet kunnen worden door oppervlakkig uit de nieuwe natuurgebieden afstromend water.

De gevoeligheidsanalyse is voor genoemde parameters afzonderlijk uitgevoerd, zonder dat daarbij verdere modelaanpassingen zijn gedaan. Dit betekent dat er wel uitspraken in relatie met het inrichtingsplan worden gedaan, maar dat de consequenties door veranderingen in parameters geen weerspiegeling vinden in de planvoorstellen. Als, bijvoorbeeld, de verdampingssituatie wijzigt door hogere peilen in de infiltratieleiding, is de verdampingssituatie niet aangepast. Als, bijvoorbeeld, de bodemweerstand zodanig groot is dat er geen infiltratie meer kan plaatsvinden, betekent dit niet dat er naar een andere winningstechniek is gezocht. De gevoeligheidsanalyse geeft dus alleen de relatieve invloed van diverse parameters aan. Bepaalde (gevoelige) parameters kunnen evenwel van cruciale invloed op het voorgestelde systeem zijn.

III.4.2 Samenvattende conclusies

De hoofdlijnen van de gevoeligheidsanalyse zijn samengevat in tabel III.7. In deze tabel is aangegeven welke variaties ten aanzien van de hiervoor genoemde parameters zijn doorgerekend (tweede en derde kolom). Vervolgens is bepaald welke uitkomsten met betrekking tot de oppervlakkige overschotten werden berekend. Daarbij zijn zowel de absolute waarde (vierde en zevende kolom), de verandering ten opzichte van de overeenkomstige waarde van het inrichtingsplan (vijfde en achtste kolom) als de procentuele veranderingen (zesde en negende kolom) weergegeven. Overigens is voor

Parameter / Parameter	Saldo Waterbalans / Result Waterbalance								
	Waarde / Value			Zomer / Summer			Winter / Winter		
	absoluut / absolute	tov plan / rel. to plan	absoluut / absolute in m3	tov plan / rel. to plan in m3	% opp. water % surf. water	absoluut / absolute in m3	tov plan / rel. to plan in m3	% opp. water % surf. water	
1	0.85	-0.20	-272 473	+315 907	83				
	1.20	+0.15	-808 110	-219 730	86				
2	30 000 m2.d-1	x 10	-560 823	+ 27 557	86	1 234 065	+ 24 820	94	
3	5 d	- 10 d	-766 500	-178 120	110	-692 588	-516 657	150	
	50 d	+ 35 d	-310 615	+277 765	54	1 490 478	+281 233	53	
4	z:10.00/ w:10.25	+ 0.25	-722 518	+134 138	100	1 078 210	-131 035	120	
	z:9.50/ w:9.75	- 0.25	-473 588	+114 792	71	1 319 658	+110 413	74	

1 = verdampingsfactor van de natuurgebieden / *transpiration factor of nature areas*

2 = het drainageweerstand voor de oppervlakkige afstroming / *drainage resistance for superficial flow*

3 = bodem weerstand van de verzamel-infiltratie leiding / *resistance for infiltration in the production site*

4 = het waterpeil in de infiltratie leiding / *waterlevel in the infiltration system*

Tabel III.7

Een samenvatting van de voornaamste resultaten van de gevoeligheidsanalyse. Weergegeven zijn de gevolgen van veranderingen van de invoerparameters ten opzichte van die van het inrichtingsplan op het saldo van de waterbalans, uitgesplitst naar een zomer- en een wintertoestand.

Table III.7

An overview of the results of the sensitivity analysis that was carried out. In this analysis some important parameters - as used by the computations concerning the landscape plan - were varied. The related changes of the waterbalance were computed and compared to the results from the landscape plan.

de gevoeligheidsanalyse omtrent de gewas factor van de natte natuurgebieden alleen het zomerhalfjaar in beschouwing genomen, daar de verdamping zich in deze periode het meest bepalend is.

De tabel maakt duidelijk dat de bodemweerstand en het peil in de infiltratieleidingen zeer belangrijke parameters zijn voor het functioneren van het oeverinfiltratie-wingebied. Beide parameters behoren in nauwe samenhang te worden bekeken. Daarbij is in eerste instantie de bodemweerstand sturend; de peilen in de infiltratieleiding behoren op de bodemweerstand te worden afgesteld om de benodigde infiltratiecapaciteit te kunnen bewerkstelligen.

Het drainage-geleidingsvermogen blijkt niet van doorslaggevende betekenis voor de werking van het oppervlakkige afstroming -infiltratiesysteem. Ook de onzekerheid omtrent de gewasfactor blijkt kwantitatief binnen de zekerheidsmarges van het inrichtingsplan te vallen. Bij nadere fijnregulering van het plan zou deze parameter een invloedrijkere rol kunnen gaan spelen. Het is dus wenselijk om een goede inschatting van de verdampingskarakteristieken van de te verwachten vegetatie in de natte natuurgebieden te maken.

1 Op deze wijze is er geen eenduidige relatie van de randvoorwaarden met de rekenperiode 1984-1985. De invloed van de onnauwkeurigheid van deze werkwijze wordt echter marginaal ingeschat.

2 Voor de stationaire modellen is een langere (t.o.v het niet stationaire model) rekenperiode genomen, waar het gemiddelde jaar 1985 in zit en waarvoor aangenomen kan worden dat er geen belangrijke omgevingsfactoren (ontwateringssituatie, waterwinning etc.) veranderd zijn t.o.v. het jaar 1985. Ontwateringssituatie, waterwinning e.d. zijn namelijk ingevoerd op basis van het jaar 1985.

3 Uit een gevoeligheidsanalyse van het niet-stationaire model 'Rijssen' voor de afzonderlijke parameters $kD1$, $kD2$, (doorlaatvermogen voor het eerste en tweede watervoerende pakket) c (weerstand van de scheidende laag), c -bodem (bodemweerstand van de hoofdwaterlopen), c -drain (geleidingsvermogen voor de detailontwatering), $S1$ en $S2$ (bergingscoëfficiënten voor eerste en tweede watervoerende pakket), is gebleken dat de berekende stijghoogten in het eerste watervoerende pakket met name reageerden op variaties van $kD1$ en $kD2$ en van $S1$ en c -bodem. Voor een uitgebreidere behandeling van deze gevoeligheidsanalyse wordt verwezen naar Stalpers (1992).

REFERENTIES

- Aa, E. van der, Berg, M. van der, Buuren, M. van, Ensing, J., Kuiper, R., Nobbe, H. en Wingerden, W. van. (1989). *Naar een integraal beleid voor water, milieu en ruimte?; discussiebijdragen naar aanleiding van de zesde studiedag van de Werkgroep Landelijk Gebied*. Rapporten Werkgroep Landelijk Gebied, Nr. 1. Werkgroep Landelijk Gebied, Wageningen.
- Aarsen, L. van den (1994). *Randvoorwaarden voor natuurlijke kwaliteit in pleistocene zandgebieden; een onderzoek vanuit de persistentietheorie in het perspectief van planning*. Proefschrift, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Aart, P.J.M. van der, (1990; editor). *Wetlands for the purification of Wastewater; post academic course*. Plant Ecology News Report 11, Department of Plant Ecology, University of Utrecht, Utrecht.
- Aart, P.J.M. van der, Verhoeven, J.T.A. and Kemmers, R.H., (1988). *Eutrofiëring in het landelijk gebied; probleemschets en mogelijke oplossingen vanuit een landschaps-ecologisch kader*. In: Integraal Waterbeheer, een nieuwe aanpak, A.Bijlsma (redactie), NIBI, Utrecht, 17-55.
- Adriaanse, P.I. en Kemmers, R.H. (1988). *Bufferzones tegen nitraatinspoeling in beekdalen: een methode om de ligging en breedte vast te stellen*. ICW rapporten Nieuwe Serie nr. 27, ICW, Wageningen.
- Aelmans, F.G. (1973). *Grondwaterkaart van Nederland - schaal 1 : 50.000: geohydrologische toelichting bij kaartbladen 28 Oost Almelo en 29 Denekamp, 34 Oost Enschede en 35 Glanerbrug*. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Amstel, A.R. van, Braat, L.C., Garritsen, A.C. (1989). *Verdroging van natuur en landschap in Nederland: beschrijving en analyse*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1965). *De bodem van Nederland: toelichting bij de bodemkaart van Nederland schaal 1:200.000*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Anonymus (1966). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij kaartblad 27 Oost Hattem*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Anonymus (1968). *Grondwaterwinning in de provincie Overijssel (voorlopige conclusies)*. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
- Anonymus (1977). *Nota landelijke gebieden; derde nota over de ruimtelijke ordening*. Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1979-a). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij kaartbladen 33 West Apeldoorn en 33 Oost Apeldoorn*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Anonymus (1979-b). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij kaartbladen 34 West Enschede, 34 Oost Enschede en 35 Glanerbrug*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Anonymus (1980). *Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud, deel a*. Ministerie van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk werk, Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1984-a). *Ökologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 204/1984; Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK). Parey, Hamburg/Berlin.
- Anonymus (1984-b). *Herziening Streekplan Twente; ontwerp streekplan*. Gedeputeerde Staten van Overijssel, Zwolle.
- Anonymus (1984-c). *Tienjarenplan 1984: hoofdrapport*. Vereniging van Exploitanten van

- Waterleidingbedrijven in Nederland, Rijswijk.
- Anonymus (1984-d). *Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM*. Rapport van de ad hoc groep Verdamping. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Anonymus (1985-a). *Omgaan met water: naar een integraal waterbeleid*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1985-b). *De waterkwaliteit van Nederland*. Indicatief Meerjarenprogramma water 1985-1989. Ministerie van Verkeer en waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. 's-Gravenhage.
- Anonymus (1986). *Interimrapport 1983-1985*. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos, Landschap, Utrecht
- Anonymus (1987-a). *VF-programma 89-94: ruimtelijke modellen voor multifunctionele inrichting van landelijke gebieden*. Vakgroepen Cultuurtechniek, Planologie, Tuin- en Landschapsarchitectuur en Vegetatiekunde, Plantenecologie en Onkruidkunde. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Anonymus (1987-b). *Gebiedsvreemd water: advies over de ecologische effecten van de aanvoer van rivierwater*. Natuurbeschermingsraad, Utrecht.
- Anonymus (1987-c). *Verbeteringsplan Bornsebeek*. Waterschap Regge en Dinkel / Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij, Almelo / Arnhem.
- Anonymus (1988-a). *Vierde nota over de ruimtelijke ordening: op weg naar 2015*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. SDU, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1988-b). *Water boven water: studieresultaten 1983 - 1987 van de Studiecommissie Waterbeheer-, Natuur, Bos en Landschap*. Studiecommissie Waterbeheer-, Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Anonymus (1988-c). *Een hydrologisch en vegetatiekundig onderzoek ten dienste van het natuurbeschermingsbeleid*. Eindrapport Ecohydrologisch onderzoek van het Merkske stroomgebied, Delft.
- Anonymus (1988-d). *Restaurering af Gelså ved Bevtøft; skitseprojekt*. Sønderjyllands Amtskommune, Miljø- og Vandløbsvæsenet, J. nr. 9-23-3830-1/86. Tønder, Danmark.
- Anonymus (1988-e). *Cultuurtechnisch Vademeccum*. Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademeccum. Cultuurtechnische Vereniging, Utrecht.
- Anonymus (1989-a). *Natuurbeleidsplan*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1989-b). *Waterbeheersplan 1989-1994*. Waterschap Regge en Dinkel, Almelo.
- Anonymus (1990-a). *Derde nota waterhuishouding: water voor nu en later*. Regeringsbeslissing. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. SDU, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1990-b). *Streekplan Twente*. Provincie Overijssel, Zwolle.
- Anonymus (1990-c). *Landbouwstructuuradvies Rijssen*. Provinciale Raad voor de bedrijfsontwikkeling in de landbouw in Overijssel.
- Anonymus (1991-a). *Visie landschap: beleidsvoornemen*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, ('s-Gravenhage).
- Anonymus (1991-b). *Waterhuishoudingsplan Overijssel*. Provincie Overijssel, Zwolle.
- Anonymus (1991-c). *Milieubeleidsplan 1991-1994*. Provincie Overijssel, Zwolle.
- Anonymus (1991-d). *Gevraagd ideeën voor de dagelijkse leefomgeving*. Brochure Voorbeeldplannen Vierde Nota 1991. Rijksplanologische Dienst, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1992). *Voorlopige begrenzing natuurontwikkeling en relatienotagebieden tweede fase in de ruilverkaveling Rijssen*. Zwolle.
- Anonymus (1993-a). *Structuurschema Groene Ruimte, Deel 3: Kabinetsstandpunt*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's-Gravenhage.
- Anonymus (1993-b). *Onderzoek intrekgebieden drinkwaterwinningen Overijssel*. Eindrapport fase 2. Rapport 22.0641.0. IWACO B.V., Adviesbureau voor water en milieu, Groningen.
- Anonymus (1995). *Beleidsplan drink- en industriewatervoorziening*. Deel 3, kabinetsstandpunt. Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, 's-Gravenhage.
- Aukes, P., Bonnema, F.D., Ensing, B. (1988). *Beplantingen langs waterlopen als beheersmaatregel*. Hoofdrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen. Mededelingen Landinrichtingsdienst 179. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Baaijens, G.J. (1985). *Over grenzen*. In: De Levende Natuur, (86) nr. 3, 102-110.
- Baaijens, G.J. (1988). *Het landgoed Hackfort - opties voor het natuurbeheer*. Intern rapport,

- Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Bakker, H. de en Schelling, J. (1966). *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland: de hogere niveaus*. Pudoc, Wageningen.
- Barnard, E. (1984). *Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen: Richtlinie für naturnahen Ausbau und Unterhaltung*. Landesamt für Wasser und Abfall, Düsseldorf, Nordrhein-Westfalen, Deutschland.
- Beerling, R.F., Kwee, S.L. en Mooij, J.J.A. (1972). *Inleiding tot de wetenschapsleer*. Utrecht.
- Belknap, R.K. en Furtado, J.G. (1967). *A study of three approaches to Environmental Resource Analysis*. Part of a series of studies relative to methodologies and techniques useful for environmental planning and design. Department of Landscape Architecture, Graduate School of Design, Harvard University. Cambridge, Massachusetts.
- Berends, P., Broekhoven, A.van, Jagtman, E., Peters, H., Rooy, P. van, Turkstra, E., Wit, S. de en Wulffraat, K. (1995). *Ruimte voor water; visieontwerp als aanzet voor discussie*. Projectteam Vierde Nota Waterhuishouding, Den Haag.
- Berg, M.W. van den en Otter, C. den (1993). *Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1 : 50.000: blad Almelo Oost-Denekamp (280/29)*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Bertalanffy, L. von (1969). *General system theory; foundations, development, applications*. New York.
- Beugeling, G.P., Boumans, L.J.M. en Duijvenbooden, W. van (1989). *De kwaliteit van het grondwater in Nederland*. Rapport nr. 728820001. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.
- Beusekom, C.F. van, Farjon, J.M.J., Foekema, F., Lammers, B., Molenaar, J.G. de en Zeeman, W.P.C. (1990). *Handboek Grondwaterbeheer voor Natuur, Bos en Landschap*. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap. SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Bieleman, J. (1987). *Boeren op het Drentse zand 1600 - 1900: een nieuwe visie op de 'oude' landbouw*. Dissertatie LU-1173. A.A.G. bijdragen 29, Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Bink, F.A., Meltzer, J., Molenaar, J.G. de, Rossum, T.A.W. van en Saaltink, G.J. (1979). *Levensgemeenschappen*. Natuurbeheer in Nederland, Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen.
- Bink, R.J., Bal, D. en Berk, V.M. van den (1994). *Toestand van de natuur 2*. IKC-NBLF; Rapport nr. 4, Wageningen.
- Bloemendaal, F.H.J.L. en Roelofs, J.G.M. (1988). *Waterplanten en waterkwaliteit*. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Blom, R en Osinga, J. (1986). *Negen landschapsbouw adviezen; een vergelijking*. Rapport CALP 7. Vakgroep Landschapsarchitectuur, Wageningen.
- Boer, I. de, Keizer, A.G.M., Swarte, H.C.J., Thijs, H.M.E. en Voordendag, J.A. (1991). *Landelijke gegevens waterhuishouding en verkaveling voor landinrichting*. Mededelingen Landinrichtingsdienst nr. 199. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Bonnema, F.D., Harmsen, C. en Jansens, J.W. (1988). *Natuurbouw in Münsterland; deelrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen*. Mededelingen van de Landinrichtingsdienst 181, Utrecht.
- Booij, A.H. (1986). *Ifzeroer in Drenthe*. Nieuwe Drenthse Volksalmanak 103, 66-87.
- Braat, L.C., Amstel, A. van en Nieuwhof, E. (1987). *Verdroging in Nederland: probleemverkenning*. Publikatiereeks milieubeheer nr. 13. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.
- Brand, S. van den, Grotenhuis, J. en Weeda, E. (1983). *Landschap, plantengroei en vogelwereld van de Winterswijkse beken en beekdalen*. In: Natura (80), nr. 1, 48-64.
- Bremer, P. (1993). *Flora en fauna van de Ootmarsumse stuwval; samenvattend rapport milieu-inventarisatie*. Provincie Overijssel, Afdeling Landelijk Gebied, Bureau Natuur en Landschap. Zwolle.
- Bremer, P., Heinen, M.A., Dijkstra, A.J. en Brouwer, J. (1990). *Flora en fauna van de Oldenzaalse stuwval; basisrapport*. Milieuinventarisatie. Provincie Overijssel, Hoofdgroep Ruimtelijke Ordening en Inrichting, Afdeling Landelijk Gebied, Bureau Natuur en Landschap. Zwolle.
- Broekhoven, J.G. van en Schoorl, F.F.J. (1989). *Rijssen - Enter: een historisch-geografisch onderzoek voor landinrichting*. Landview, Hoogwoud.
- Brookes, A. (1984). *Recommendations bearing on the sinuosity of Danish stream channels*.

- consequences of realignment, spatial extent of natural channels, processes and techniques of natural and induced restoration.* Technical report no. 6, National Agency of Environmental Protection, Freshwater Laboratory. Silkeborg, Denmark.
- Bruggink, M., Hoekstra, F. en Vermeer, J.G. (1990). *Methode-ontwikkeling ten behoeve van het projekt terreinbeheer en landschap.* Rapport Staatsbosbeheer nr. 90-10. Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Bruin, D. de, Hamhuis, D., Nieuwenhuijze, L. van, Overmars, W., Sijmons, D. en Vera, F. (1987) *Ooievaar; de toekomst van het rivierengebied.* Stichting Gelderse Milieufederatie, Arnhem.
- Buitenhuis, A., Kerkhof, C.E.M. van de, Randen, IJ van, en Veer, A. de (1986). *Schaal van het landschap.* Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Brussel, J. van (1987). *De hydrochemie van het Hammerulier.* Waterleiding Maatschappij Overijssel, Zwolle.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* Monographs on soil and resources survey no 12. Clarendon press, Oxford.
- Buter, A. (1978). *Over Regge, Dinkel en Twentse Beken.* In: Rivieren en beken in Overijssel, Schelhaas, H. en Molenaar, B. (redactie). Uitgave in de serie Jaarboeken Overijssel, Zwolle, XXX.
- Burton Litton, R., R.J. Tetlow, J. Sorensen and R.A. Beatty (1974). *Water and landscape: an aesthetic overview of the role of water in the landscape.* Water Information Center, New York.
- Buuren, M. van (1986). *Over stromen in Oost-Twente; landschapsanalyse, probleemverkenning, oplossingsrichtingen.* Afstudeer scripte Landschapsarchitectuur / Planologie, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Buuren, M. van (1989). *Naar een watersysteem-benadering in de ruimtelijke planning.* In: Naar een integraal beleid voor water, milieu en ruimte?; discussiebijdragen naar aanleiding van de zesde studiedag van de Werkgroep Landelijk Gebied; Aa. E. van der Berg, M. van der, Buuren, M. van, Ensing, J., Kuiper, R., Nobbe, H. en Wingerden, W. van. (redactie). Rapporten Werkgroep Landelijk Gebied, Nr. 1. Werkgroep Landelijk Gebied, Wageningen, 47-58.
- Buuren, M. van (1991). *A hydrological approach to landscape planning: the framework-concept elaborated from a hydrological perspective.* Landscape and Urban planning, (21), 91-107.
- Buuren, M. van (1994-a). *The hydrological landscape structure as a basis for network formulation: a case study for the Regge catchment (NL).* In: Landscape planning and ecological networks; Cook, E. A. and Lier, H. N. van, (editors). Elsevier, Amsterdam, 117-136.
- Buuren, M. van (1994-b). *Landschapontwikkeling en verdroging: een case study.* In: Groen (50) nr. 5, 21-25.
- Buuren, M. van and K. Kerkstra (1993). *The framework concept and the hydrological landscape structure: a new perspective in the design of multifunctional landscapes.* In: Landscape Ecology of a Stressed Environment, Vos, C.C. and Opdam, P. (editors). IALE studies in Landscape Ecology. Chapman and Hall, London, 219-243.
- Buuren, M. van, Vrijlandt, P. en Kerkstra, K. (1991). *Kleinschalig, verweven of casco?; het landschap van de zandgebieden nader beschouwd.* In: Landinrichting (31), nr. 1, 1-18.
- Buuren, M. van, L.J. Stalpers, P. Van Bolhuis, P. Vrijlandt en W. Th. Wassink (1993). *Voorbeeldplan NADORST; natuurontwikkeling en drinkwaterproductie via oeverinfiltratie in het Reggestelsel.* Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Sectie Landschapsarchitectuur, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Buuren, M. van, Hoek, I.H.S., Jalink, M.H., Klijn, F.H., Meuleman, A.F.M., Molenaar, W. en Piek, H. (1996). *Oppervlaktewater.* Themanummer Landschap. Landschap (13), nr. 3.
- Bijlsma, A. (1988, redactie). *Integraal waterbeheer: een nieuwe aanpak.* Symposium 1986; stand van zaken 1988. Nederlands Instituut van Biologen, Utrecht.
- Bijhouwer, J.T.P. (1971). *Het Nederlandse landschap.* Kosmos, Amsterdam.
- Bijlsma, M.P. (1995). *Natuurontwikkeling en vormgeving: de relatie tussen cultuur en natuur en de betekenis daarvan voor het ontwerpen en vormgeven van natuur.* Rapport IKC Natuurbeheer; Studiereeks bouwen aan een levend landschap nr. 30. IKC-Natuurbeheer, Wageningen.
- Campbell, C.S. (1978). *Water in Landscape Architecture.* Van Nostrand Reinhold Company,

New York.

- Capel, J. en Mobach, B. (1979). *Twente: cultuurhistorische typering en kartering*. Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Carter, V. en Novitzki, R.P. (1988). *Some comments on the relation between groundwater and wetlands*. In: The ecology and management of wetlands, Volume 1: ecology of wetlands; Hook, D.D. (editors). Croom Helm, Londen / Timber Press, Portland, Oregon.
- Casparie, W.A. (1972). *Bog development in southeastern Drenthe (The Netherlands)*. Rijksuniversiteit Groningen / Junk, The Hague.
- Churchman, C.W. (1968). *The systems approach*. Delta Book, New York.
- Claus, K. en Jansens, L. (1995,; redactie). *Vademecum Natuurtechniek; inrichting en beheer van waterlopen*. Departement Leefmilieu en infrastructuur, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussel.
- Coeterier, J.F., Haar, M.A. van der en Langezaal-Van Swaay, A.M. (1986). *De beleving van water in de Krimpenerwaard*. Rapport 6-c, Water en Landschapsbeeld. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Coster, W. (1995). *Erfgoed van Overijssel; deel 1 sporen van jacht, visserij en landbouw*. Jaarboek Overijssel, Waanders, Zwolle.
- Cook, E.A. and Hirschman, J. (1991). *Landscape Ecology*. Special Issue Landscape and Urban Planning (21).
- Datema, G., Glastra, M.J. en Hoek, D. van der (1989). *Natuurontwikkeling langs de Overijsselse Vecht; een onderzoek naar het effect van het aankoppelen van afgesneden Vechtmeanders op de vegetatie*. In: Landinrichting (29), nr. 3, 1-8.
- Dauvellier, P.L. (1991-a). *Ruimtelijke kwaliteit: de oorsprong en toepassing van een begrip*. In: Ruimtelijke Kwaliteit?; discussiebijdragen naar aanleiding van de achtste studiedag van de Werkgroep Landelijk Gebied. Ampt-Riksen, V., Bischoff, N., Etteger, R. van, Kuiper, R., Veekamp, M. en Vlaanderen, B. (redactie). Rapporten Werkgroep Landelijk Gebied nr. 3. Werkgroep Landelijk Gebied, Wageningen, 7-14.
- Dauvellier, P.L. (1991-b). *Casco zonder conflict?*. In: Visie op landschap, verslag van het symposium op 12 juni 1991. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Bos- en Landschapsbouw, Den Haag, XXX
- Dawson, F.H. en Kern-Hansen, U. (1979). *The effect of natural and artificial shade on the macrophyte of lowland streams and the use of shade as a management technique*. In: Internationale Revue geselschaft für Hydrobiologie (64), nr. 4, 437-455.
- Dekker, J. en Knaapen, J. (1986). *Dynamiek in de ecologische infrastructuur; over de politieke carrière van ecologische concepten*. In: Landschap (3), nr. 4, 282-294.
- Diamond, J.M. (1975). *Island dilemma: lessons of modern geographic studies for the design of natural reserves*. Journal of Biological Conservation (7), 129 - 146.
- Dirkx, J. en Veer, A. de (1988). *Vervolgonderzoek schaal van het landschap: veranderingen in opgaande begroeiing en ruimtemaat in de Achterhoek, Twente en de Friese Wouden in de periode 1974 - 1987*. Rapport nr. 2041. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Doeglas, D.J. (1973). *Rivieren*. In: Algemene Geologie, Pannekoek, A.J. (Redactie). Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Domenico, P.A. (1972). *Concepts and models in groundwater hydrology*. McGrawHill, New York.
- Dort, T.C.M. van en Kemmers, R.H. (1990). *Het bepalen van de ligging en omvang van bufferzones tegen de inspoeling van nitraat voor een viertal beekdalen in Noord-Brabant*. Rapport Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding nr. 35 (nieuwe serie). ICW, Wageningen.
- Duel, H. en During, R. (1990). *Helofytenfilters; helderheid over de zuiverheid*. In: Landschap (7) nr. 4, 269-278.
- Duel, H., During, R. en De Geus, N. (1991-a). *De mogelijkheden voor toepassing van helofytenfilters in het stroomgebied van de Beerze; een deelrapport van het onderzoek naar de mogelijkheden voor toepassing van helofytenfilters in Nederland*. TNO rapport 91/ECO/07. Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO en Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwniversiteit Wageningen, Delft.
- Duel, H., During, R. en De Geus, N. (1991-b). *De mogelijkheden voor toepassing van helofytenfilters in ruilverkavelingsgebied Melderslo; een deelrapport van het onderzoek naar de mogelijkheden voor toepassing van helofytenfilters in Nederland*. TNO rapport

- 91/ECO/06. Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO en Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwniversiteit Wageningen, Delft.
- Duel, H. en Saris, F.J.A. (1986). *Waterzuivering door macro-belofytenfilters*. In: *Landschap* (3), nr. 4, 295-305.
- Dunne, T and L. B. Leopold (1978). *Water in environmental planning*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Duijvenbouden, W. van, Breeuwsma, A. en Boumans, L. (1987). *Kwetsbaarheid van het grondwater: kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging*. Rapport 840387003. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene, Bilthoven.
- Dijk, J.C. van en Wessels, L.P. (1995). *Integraalplan drinkwatervoorziening Overijssel: eindrapport*. DHV Water, Amersfoort.
- Ebbers, G. en Visschers, R. (1983). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij kaartblad 28 West Almelo*. Stiboka, Wageningen.
- Ebbers, G. en Loo, H. van het (1992). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000: toelichting bij kaartblad 28 Oost en 29 Almelo-Denekamp*. Staring Centrum, Wageningen.
- Eker, M. en Smulders, G. (1990). *Beken in stad en land; een ruimtelijke uitwerking van veranderd waterbeheer in Hengelo*. Doctoraalscriptie, Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, sectie Landschapsarchitectuur. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Elburg, H. van, Engelen, G.B. en Hemker, C.J. (1989). *FLOWNET version 5.1*. Institute of Earth Sciences at the Free Reformed University of Amsterdam, Amsterdam.
- Ellington, M. M. en Ferguson, B.F. (1991). *Comparison of infiltration and detention in the Georgia Piedmont using recent hydrologic models*. In: *Proceedings of the 1991 Georgia Water Resources Conference*, K. Hatcher (editors). Institute of Natural Resources, University of Georgia, Athens, Georgia, USA, 213-216.
- Engelen, G.B. (1984). *Hydrological systems analysis; a regional case study, Arnhem-east*. Report OS 84-20. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Engelen, G.B. en Jones, G.P. (1986). *Developments in the analysis of groundwater flow systems*. International Association of Hydrological Sciences No. 163.
- Engelen, G.B., Gieske, J.M.J. en Los, S.O. (1989). *Grondwaterstromingsstelsels in Nederland; een landsdekkend beeld van de grondwaterstromingsstelsels*. Achtergrondreeks Natuurbeleidsplan nr. 2. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Engelen, G.B., Mey, J.L. van der, Aston, A. en Biesheuvel, A. (1990). *Strategische watervoorraden in Nederland: een verkennende studie op basis van hydrologische systeemanalyse*. TNO-rapport nr. OS 90-62-A. Vrije Universiteit / TNO, Delft / Amsterdam.
- Engelen, G.B. en Kloosterman, F.H. (1996). *Hydrological systems analysis: methods and applications*. Water Science and Technology Library volume 20. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Engen, H. van en B. Vlaanderen, (1991). *Landschapsplanning vanuit een watersysteem perspectief: case study Regge (Ov.); Ontwerpend onderzoek naar de mogelijkheden tot integratie van watersysteemkennis en landschapsplanning op basis van het casco-concept*. Doctoraal scriptie, Nota nr. 12. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Etteger, R. van en Veekamp, M. (1990). *Landschapsplanning vanuit een watersysteem perspectief: case study Breda en omgeving; Ontwerpend onderzoek naar de mogelijkheden tot integratie van watersysteem-kennis en landschapsplanning op basis van het casco-concept*. Doctoraal scriptie, Interne Nota nr. 6. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Everts, F.H. and Vries, N.P.J. de (1991). *De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen; een landschapsecologische studie van enkele Drentse beekdalen*. Historische Uitgeverij, Groningen.
- Fabos, J.G. en Ahern, J. (1995). *Greenways*. Special Issue Landscape and Urban Planning (33), nrs.1-3.
- Farjon, J.M.J. (1982). *Landschapsecologische relaties via het oppervlaktewater op nationaal en regionaal niveau*. Rapport nr. 316. Rijksinstituut voor Onderzoek in de bos- en landschapsbouw De Dorschkamp, Wageningen.
- Farjon, J.M.J., Hazendonk, N.F.C., Jongh, J. de, Poel, K.R. de en Vaessen, O. (1990-a). *Water en landschap in een zandgebied: het stroomgebied van de Baakse Beek*. Rapport 6-d,

- Water en Landschapsbeeld. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Farjon, J.M.J., Hazendonk, N.F.C., Hoefnagel, W.J.C., en Pruisen, F.G.M. van (1990-b). *Raamwerkplanning en watervoorziening; verkenning van de mogelijkheden in het stroomgebied van de Baakse Beek aan de hand van een cyclische ontwerp methode*. Rapport 6-e, Water en Landschapsbeeld. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Driebergen.
- Ferguson, B.K. (1983). Landscape Hydrology: a unified guide to water-related design. In: Proceedings The Landscape: critical issues and resources, 1983 conference of the Council of Educators in Landscape Architecture. Utah State University, Logan, USA.
- Ferguson, B.K. (1985). *Land environments of water resource management*. In: Journal of Environmental Systems (14), nr. 3, 291-312.
- Ferguson, B.K. (1987). *Environmental patterns of water management*. In: Journal of Environmental Systems (16), nr. 3, 161-178.
- Ferguson, B.K. (1991-a). *Taking advantage of stormwater control basins in urban landscapes*. In: Journal of Soil and Water Conservation (46), nr. 2, 100-103.
- Ferguson, B.K. (1991-b). *The failure of detention and the future of storm water design*. In: Landscape Architecture, December 1991, 76-69.
- Ferguson, B.K. (1991-c). *Urban stream reclamation*. In: Journal of Soil and Water Conservation (46), nr. 5, 324-328.
- Ferguson, B.K. (1992). *Landscape Hydrology, a component of Landscape Ecology*. In: Journal of Environmental Systems, (21), nr. 3, 193-205.
- Ferguson, B.K., Ellington, M.M. en Gonnsen, P.R. (1991). *Evaluation and control of the long-term water balance on an urban development site*. In: Proceedings of the 1991 Georgia Water Resources Conference, K. Hatcher (editor). Institute of Natural Resources, University of Georgia, Athens, Georgia, USA, 217-220.
- Foppen, J.W.A., Witte, J.Ph.M., Meijden, R van der en Groen, C.L.G. (1994). *De landelijke hydrologische systeemanalyse; deelrapport 3 deelgebied Zeeland en Goeree-Overflakkee*. TNO-rapport OS 94-25B. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
- Foqué, R. (1975). *Ontwerpsystemen: een inleiding tot de ontwerptheorie*. Spectrum, Utrecht.
- Forman, R.T.T. (1990). *Ecologically sustainable landscapes: the role of spatial configuration*. In: Changing landscapes: an ecological perspective, Zonneveld, I.S. and Forman, R.T.T.(editors). Springer Verlag, New York, 261-278.
- Forman, R.T.T. and Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York.
- Freeze, R.A. and Witherspoon, P.A. (1966). *Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. analytical and numerical solutions to the mathematical model*. In: Water Resources Research (2), nr. 4, 641-656.
- Freeze, R.A. and Witherspoon, P.A. (1967). *Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. effect of water-table configuration and subsurface permeability variation*. In: Water Resources Research (3), nr. 3, 623-634.
- Freeze, R.A. and Witherspoon, P.A. (1968). *Theoretical analysis of regional groundwater flow: 3. quantitative interpretations*. In: Water Resources Research, (4), nr. 3, 581-590.
- Garritsen, A.C. (1988). *Stromingsstelsels en waterkwaliteit in de Dommelbeemden*. Consulentenschap voor Natuur, Milieu en Faunabeheer in Noord-Brabant / Instituut voor Aardwetenschappen Vrije Universiteit Amsterdam. Amsterdam / Tilburg.
- Gieske, J.M.J. (1989). *Regionale hydrologische systeemanalyse Twente*. TNO-rapport OS 89-56, TNO/DGV, Oosterwolde.
- Gieske, J.M.J. (1990). *Effecten van ingrepen op de grondwatersystemen in het Reggedal*. TNO-rapport OS 90-27-B, TNO/DGV, Oosterwolde.
- Glasbergen, P., Wessel, J. en Baltissen, J.H.P. (1988). *Samenhang en samenspel in het waterbeheer: het streven naar integraal waterbeheer*. Delftse Universitaire Pers, Delft.
- Gore, J.A. (1985). *Mechanisms of colonization and habitat enhancement for benthic macro-invertebrates in restored river channels*. In: The restoration of rivers and streams: theories and experience; Gore, J.A. (Ed.). Butterworth Publishers, Boston, 81-101.
- Groot, A.D. de (1961). *Methodologie: grondslagen van onderzoek en denken in de gedragswetenschappen*. 's-Gravenhage.
- Grootjans, A. (1985). *Changes of groundwater regime in wet meadows*. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.

- Grootjans, A. (1986). *De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op de verspreiding van moeras- en hooilandplanten*. Rapport 1-c, Standplaats en Plant. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Haak, A.M. (1985). *Inventarisatie grondwatergegevens in de provincie Overijssel*. Rapport OS 85-06. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde.
- Haartsen, A.J., Jansen, S.R.J. en Meuleman, A.F.M (1990). *Landinrichting 'Rijssen'; advies van de Natuurwetenschappelijke commissie van de Natuurbeschermingsraad*. Natuurbeschermingsraad, Utrecht.
- Hackett, B. (1971). *Landscape planning: an introduction to theory and practice*. Oriel Press, Newcastle upon Tyne.
- Hag, E. ten (1995). *De 'Rigare'; de veranderende inrichting van de Regge*. Afstudeerscriptie Landschapsarchitectuur, Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Hagens, H. (1979). *Molens, mulders, meesters; negen eeuwen watermolens in de Gelderse Achterhoek, Salland en Twente*. N.V. uitgeverij Smit van 1876, Hengelo.
- Haggett, P., en Chorley, R.J.(1969). *Network analysis in geography*. London.
- Hammen, T. van der en Maarleveld, G.C. (1970). *De bodemgeschiedenis van Salland en Twente*. In: Geschiedenis van Overijssel; Slicher van Bath, B.H., Heide, G.D. van de en Hijzeler, C.C.W.J. (redactie). Kluwer, Deventer, 11-29.
- Hammen, T. van der, Wijmstra, T.A., Bakker, J.A., Maarleveld, G.C. en Schalke, H.J.W.G. (1971). *The upper quaternary of the Dinkel valley: Twente, Eastern Overijssel, The Netherlands*. Overdrukken en Mededelingen Rijks Geologische Dienst, nieuwe serie 22, 55-214.
- Hanken, A.F.G. en Reuver, H.A. (1973). *Inleiding tot de systeemleer*. Leiden.
- Harms, W.B. (1986). Ecologische infrastructuur: een kwestie van kiezen. In: Ecologie van kleine landschapselementen; Opdam, P., Rossum, T.A.W. van en Coenen, T.G. (redactie). Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum, 55-65.
- Harms, W.B. (1995). *Scenarios for nature development*. In: Scenario studies for the rural environment; selected and edited proceedings of the symposium Scenario Studies for the Rural Environment, Wageningen, The Netherlands, 12-15 September 1994; Schoute, J.F.T., Finke, P.A., Veeneklaas, F.R. en Wolfert, H.P. (editors). Kluwer Environment and Policy 5, Dordrecht, 391-403.
- Harms, W.B. en Kalkhoven, J.T.R. (1979). *Landschapsecologie en natuurbehoud in Midden-Brabant*. Rapport nr. 208; Rijksinstituut voor natuurbeheer, RIN-rapport nr. 79/15; Deelrapport Projectstudie landinrichting Midden-Brabant nr. 12. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.
- Harms, W.B., Knaapen, J.P. en Roos-Klein Lankhorst, J. (1991; redactie). *Natuurontwikkeling in de centrale open ruimte*. DLO-Staring Centrum, Rapport 138, Wageningen.
- Harms, W.B. en Vlaanderen, B.W.L. (1992). *De casco-benadering; verslag van de WLO-workshop gehouden op 21 februari 1992*. Rapport 230, DLO-Staringcentrum / Werkgemeenschap Landschapsecologisch Onderzoek. Wageningen.
- Harms, B., Knol, W. en Roos-Klein Lankhorst, J. (1995). *Het LEDESS-model; een gebiedsgericht kennismodel bij scenario's voor natuurontwikkeling*. In: Landschap (12), nr. 4, 83-98.
- Harms, W.B. en Klijn, F. (1996). *Nederland in hokjes; mogelijkheden en beperkingen van het LKN-bestand*. In: Landschap (13), nr. 4, 257-272.
- Harmsen, C., Pols, L. en Zuurdeeg, N. (1988). *Overbepanting en waterbeheer; deelrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen*. Medelingen Landinrichtingsdienst 182, Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Harsema, H. (1989). *Stad en land op de belling: ruimtelijk ontwerpen voor 'n stukje Europa; jury rapport ideeën prijsvraag*. Eo Wijers-Stichting, SDU, 's-Gravenhage.
- Helsdingen, A. van en Dooren, N. van (1991). *Aan dit water wil ik blijven; een studie naar watersystemen in de stad Breda*. Doctoraalscriptie Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Nota nr. 14. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Hendriks, M.J., Kabat, P., Homma, F. en Postma, J. (1990). *Onderzoek naar de verdamping van een loofbos*. Rapport 90. Staringcentrum, Wageningen.
- Hermens, E.M.P. en Wassink, W.Th. (1992). *Natuurtechnisch beekherstel in Nederland*. In: Landinrichting (32), nr. 5, 8-15.
- Herwaarden, G.J. van (1987). *Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten; deel 2: de otter*. Mededelingen Landinrichtingsdienst nr. 170. Afdeling Biologisch

- Onderzoek Laninrichtingsdienst, Utrecht.
- Heidegger, M. (1971). *Building Dwelling Thinking. Poetry, Language, Thought*. Harper and Rowe, New York.
- Heijdeman, B. and Peters, A. (1981). *Twente, een hydrobiologisch onderzoek van de beken*. Onderzoeksrapport. Provinciale Planologische Dienst van Overijssel, Zwolle.
- Hendrikx, J.A. (1989). *De ontginning van Nederland: beschrijving van het ontstaan van de agrarische cultuurlandschappen in Nederland*. Studiereeks bouwen aan een levend landschap nr. 11. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Utrecht.
- Higgs, H.J en Usher, M.B. (1980). *Should nature reserves belarge or small?* In: Nature (285), 568-569.
- Higler, L.W.G. (1983). *De Nederlandse beken*. Natura (80), nr. 1, Themanummer beken en beekdalen, 4-8.
- Hoogendoorn, J.H. (1992). *Hydrologische systeemanalyse Dinkeldal/Bornse Beek; een analyse van het grondwaterstromingspatroon, ondersteund met numerieke modellering (inclusief evaluatie effecten Bornse Beek plan)*. Rapport OS 92-38 B. Instituut voor Grondwater en Geo-energie TNO, Oosterwolde.
- Hooghart, J.C. (1986; redactie). *Verklarende hydrologische woordenlijst*. Rapporten en Nota's Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO No. 16. Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, 's-Gravenhage.
- Hoorn, I. van en L. Rijntjes, (1991). *Landschapsplanning vanuit een watersysteemperspectief: case study Tengelroysche Beek (L); Ontwerpend onderzoek naar de mogelijkheden tot integratie van watersysteemkennis en landschapsplanning op basis van het casco-concept*. Doctoraal scriptie. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Horton, R.E. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical aproach to quantitative morphology*. In: Geological Society of America Bulletin, 275-370.
- Hubbert, M.K. (1940). *The theory of groundwater movement*. In: Journal of Geology (48), nr. 8, part I, 785-944.
- Hustings, F en Kwak, R. (1983). *De grote gele kwikstaart in Nederland*. In: Natura (80), nr. 1, Themanummer beken en beekdalen, 13-18.
- Hijszeler, C.C.W.J., (1970). *De pre- en protohistorie van Twente*. In: Geschiedenis van Overijssel; Slicher van Bath, B.H., Heide, G.D. van de en Hijszeler, C.C.W.J. (redactie). Kluwer, Deventer, 37-49.
- Hynes, H.B.N. (1970). *The ecology of running waters*. Liverpool, University Press.
- Jansen, A.J.M. (1992). *Hydro-ecologie en waterwinning, effectvoorspelling nu en straks*. In: Landschap (9), nr. 2. 119-125.
- Jansen, A.J.M. (1993; redactie). *Van hydrologische ingreep naar ecologische effectvoorspelling; enkele resultaten en toepassingen van hydro-ecologisch onderzoek*. Mededeling nr. 122, KIWA Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
- Jansen, A.J.M. en Buuren, M. van (1993). *Hydro-ecologische analyse van en ontwikkelingsmogelijkheden voor de vegetatie in het gebied van het Voorbeeldplan NADORST*. Rapport SWE 93.013. KIWA N.V. / Landbouwuniversiteit Wageningen, Nieuwegein / Wageningen.
- Jansen, P.C. (1986). *De potentiële verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties*. Nota ICW 1703. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Jelgersma, S. en Breeuwer, J.B. (1975). *Toelichting bij de kaart glaciële verschijnselen gedurende het Saalien 1:600.000*. In: Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland, Zagwijn, W.H. en Staaldunin, C.J. van (redactie). Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 93-103.
- Jellicoe, S. en Jellicoe, G (1971). *Water: the use of water in landscape architecture*. London.
- Jones, J.C. (1970). *Design methods: seeds of human futures*. Wiley, London.
- Jong, T.M. de (1992). *Kleine methodologie voor ontwerpend onderzoek*. Boom, Meppel.
- Jongh, J. de en Vaessen, O. (1985). *Globale landschappenkaart van Nederland naar visuele kenmerken van water (schaal 1: 1 000 000)*. Rapport 6-a, Water en Landschapsbeeld. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.
- Jongh, J. de, Poel, K.R. de en Vaessen, O. (1986). *Water en landschap in de Krimpenerwaard*. Rapport 6-b, Water en Landschapsbeeld. Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap, Utrecht.

- Jongman, R. (1992). *Uiterwaardenbeleid; sturing van landschapsecologische processen*. In: Landschap (9), nr. 1, 17-29.
- Kamphuis, H., Kuiper, R. en Laan, Y. van der (1995). *Plannen met stromen: ideeën voor de afstemming van ruimtegebruik, water en milieu*. Studierapport Rijksplanologische Dienst, Den Haag.
- Karr, J.R. en Schlosser, I.J. (1978). *Water resources and the land-water interface*. In: Science (201), 229-234.
- Kemmers, R.H. (1986). *Perspectives in modelling of processes in the root zone of spontaneous vegetation at wet and damp sites in relation to regional water management*. In: Verslagen en Mededelingen CHO-TNO 34, Hooghart, J.C. (editor), 91-116.
- Kemmers, R.H. (1988). *Beheersaspecten van natuurlijke milieus*. In: PHLO-cursus Waterkwaliteit landelijk gebied; aspecten van kwaliteit. PHLO, Wageningen.
- Kemmers, R.H. (1993). *Ecohydrologie: concepten en methoden van een interdisciplinair vakgebied*. Technisch document DLO-Staring Centrum, nr. 8. Staring Centrum, Wageningen.
- Kempenaar, C en Kock, T. de (1992). *De Mark en het Merkske; ontwerpend onderzoek naar het casco op lager schaalniveau*. Scriptie Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, sectie Landschapsarchitectuur. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Kerkstra, K. (1991). *Het casco-landschap als architectonisch concept*. In: *Visie op landschap, verslag van het symposium op 12 juni 1991*. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Bos- en Landschapsbouw, Den Haag, XXX.
- Kerkstra, K. en Overmars, W. (1985). *Advies landschapsbouw ruilverkaveling "Lieveld"*. Vakgroep Tuin- en Landschapsarchitectuur, Landbouwhogeschool / Staatsbosbeheer. Wageningen / Arnhem.
- Kerkstra, K., Vrijlandt, P. en Struik, B. (1976). *Denkraam; instructie kb2-studio landschapsarchitectuur*. Vakgroep Landschapsarchitectuur. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Kerkstra, K., Vrijlandt, P. (1988). *Het landschap van de zandgebieden; probleemverkenning en oplossingsrichting*. Studiereeks 'Bouwen aan een levend landschap' nr. 8. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Bos- en Landschapsbouw / Landbouwniversiteit. Wageningen / Utrecht.
- Kern, K., (1994). *Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung: geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern*. Springer, Berlin.
- Keuning, H.J. (1955). *Moziek der functies: proeve van een regionale landbeschrijving van Nederland op historisch- en economisch-geografische grondslag*. Leopold, Den Haag.
- Keijsers, W. (1994). *Ruimtelijke kwaliteit kent geen prijs; een nadere omschrijving van het bijna ongreepbare begrip ruimtelijke kwaliteit in het kader van het project Beter Ruimtelijk Investeren (RUBIN)*. Den Haag.
- Kleefmann, F. (1984). *Planning als zoekinstrument: ruimtelijke planning als instrument bij het richtingzoeken*. VUGA, 's-Gravenhage.
- Kleefmann, F. en Kerkstra, K. (1986-a). *Ruimtelijke organisatie in het spanningsveld van onzekerheden; vingeroefening in een tentatieve aanpak, deel 1*. In: Stedebouw en Volkshuisvesting, nov. 1986, 397-403.
- Kleefmann, F. en Kerkstra, K. (1986-b). *Ruimtelijke organisatie in het spanningsveld van onzekerheden; vingeroefening in een tentatieve aanpak, deel 2*. In: Stedebouw en Volkshuisvesting, dec. 1986, pp. 445-449.
- Kleefmann, F. en Vlist, M.J. van der (1989). *Vijf beleidsdocumenten bezien vanuit twee gezichtspunten*. In: Ruimte, water, milieu: relaties in planning en beleid; Vlist, M. J. van der en Brussaard, W. (redactie). Wageningse Ruimtelijke Studies 4-a. Landbouwniversiteit, Wageningen, 74-117.
- Kloosterman, F.H., Stuurman, R.J. (1992). *De landelijke hydrologische systeemanalyse; doelstelling, begrippen, methodologie en projectuitvoering*. TNO-rapport OS 91-53A. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
- Kloosterman, F.H., Witte, J.Ph.M., Meijden, R van der en Groen, C.L.G. (1993). *De landelijke hydrologische systeemanalyse; deelrapport 2 deelgebied Midden-Nederland: de regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug*. TNO-rapport OS 93-41. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
- Klijn, F. (1988). *Ecoserie: aanzet tot een standplaatstypologie*. CML mededelingen nr. 45. Centrum voor Milieukunde, Leiden.
- Klijn, F., Groen, C.L.G. en Witte, J.P.M. (1996). *Ecoserie for potential site mapping, an exam-*

- ple from the Netherlands. In: *Landscape and Urban Planning* (35), nr. 1, 53-70.
- Koerselman, W. (1989). *Hydrology and nutrient budgets of fens in an agricultural landscape*. Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Koerselman, W. en Beltman, B. (1988). *Evapotranspiration from fens in relation to Penmann's potential free water evaporation (Eo) and pan evaporation*. In: *Aquatic Botany* (31), 307-320.
- Kok, F.J.M. de (1977). *De invloed van cultuurtechnische maatregelen op de natuurwetenschappelijke waarden van laaglandbeken*. Rapport Natuurbeheer nr. 384. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Kok, A., Langbroek, E.K. en Zomer, D.J. (1988). *Vegetatiekartering en abiotisch onderzoek ten behoeve van een ecologische systeembeschrijving van het landinrichtingsproject "Rijssen"*. Rapport nr. 8804. Bureau voor Landschapsoecologisch Onderzoek Langbroek en partners, Beilen.
- Konold, W. (1984). *Zur Ökologie kleiner Fließgewässer; verschiedene Ausbauarten und ihre Bewertung*. In: *Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg*, Band 6. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kuening, Ph. H. (1944). *De Drentsche riviertjes en het meanderuraagstuk*. In: *Gedenkboek dr. ir. Tesch; verhandelingen van het geologisch-mijnbouwkundig genootschap*. Nederlands geologische serie XIV, 313-336.
- Kuenzler, E.J. (1989). *Value of forested wetlands as filters for sediments and nutrients*. In: *The forested wetlands of the southern United States, Proceedings of the symposium, Orlando, Florida, July 12-14, 1988*. General Technical Report SE-50. United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 85-96.
- Kuiper, J. en R.H.G. Jongman (1985). *Inrichting van de uiterwaarden*. In: *Landschap* (3), nr. 2, 183-192.
- Lambert, A.M. (1971). *The making of the Dutch Landscape; an historical geography of the Netherlands*. Seminar Press, London.
- Lang, J. (1987). *Creating architectural theory; the role of the behavioral sciences in environmental design*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Langeweg, F. (1988; redactie). *Zorgen voor morgen. Nationale milieuerkenning 1985-2010*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene. Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
- Laurie, M. (1975). *An introduction to landscape architecture*. New York.
- Leeuwen, C.G van (1966). *A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation*. *Wentia* 15, 25-46.
- Leeuwen, C.G. van (1973). *Ekologie*. Collegedictaat Faculteit Bouwkunde, Technische Hogeschool, Delft.
- Leopold, L.B. en Maddock, T. (1953). *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*. Professional Paper 282B. U.S. Geological Survey.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Leuven, R.S.E.W. en Bles, F.J.J. (1989). *Verdroging in Nederland: oorzaken, omvang en oplossingen*. Proceedings van het symposium gehouden op 9 september 1988 in de Jaarbeurs te Utrecht. Stichting Natuur en Milieu, Utrecht.
- Lewis, G. and Williams, G. (1984). *Rivers and Wildlife handbook; a guide to practices which furthers the conservation of wildlife of rivers*. Royal Society for the Protection of Birds / Royal Society for Nature Conservation. Bedfordshire / Lincoln.
- Lewis, P.H. (1963). *Landscape analysis I; Lake Superior South shore area*. Wisconsin department of resource development.
- Lovejoy, D. (1979). *Land use and landscape planning*. Second edition. Hill, Glasgow.
- Lowrance, R., Leonard, R. and Sheridan, J. (1985). *Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution*. In: *Journal of Soil and Water Conservation*, (40), nr. 1, 87-91.
- Lörzing, H. (1982). *De angst voor het nieuwe landschap: beschouwingen over landschapsontwerp en landschapsbeheer*. Architectuur en stedebouw nr. 4. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Lyle, J.T. (1985). *Design for human ecosystems; landscape, land use and natural resources*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Maarel, E. van der (1977). *Ekologische modellen ten behoeve van milieubeheer en ruimtelijke ordening*. In: *Ruimtegebruik en milieu*; Nijkamp, P en Verhage, C. (redactie). Van

- Gorcum, Assen, 42-72.
- MacDonald M.G. en Harbaugh, A.W. (1988). *MODFLOW; a modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model*. U.S. Geological Survey, Reston.
- MacHarg, I.L. (1969). *Design with nature*. Natural History Press, New York.
- Margules, C., Higgs, A.J. en Rafe, R.W. (1982). *Modern biogeographic theory: are there any lessons for nature reserve design?*. In: Biological Conservation (24), 115-128.
- Mars, H.de, Garritsen, T, en Elswijk, C. van (1996). *Van veenrivier tot boezemwater; de Greft en het beboud van de Kamerikse Nessen*. In: Landschap (13), nr. 3, 207-221.
- Marsh, W.M. (1983). *Landscape planning: environmental applications*. Wiley, New York.
- Meuleman, A. (1987). *Waterkwaliteitsverbetering door belofytenfilters; een studie naar toepassingmogelijkheden van belofytenfilters in de Krimpenerwaard*. Rijksuniversiteit Utrecht. Vakgroep Botanische Ecologie, Studie- en Informatiecentrum TNO voor Milieu-onderzoek, Delft.
- Menzinga-Waaijbergen, J.P. (1972). *Landschapsanalyse van Haaksbergen*. Nota 667. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Meyboom, P. (1966-a). *Unsteady groundwater flow near a willow ring in hummocky moraine*. In: Journal of Hydrology (4), 38-62.
- Meyboom, P. (1966-b). *Groundwater studies in the Assiniboine River drainage basin; Part I: the evaluation of a flow system in south-central Saskatchewan*. Bulletin.no. 139. Geological survey of Canada, Department of mines and technical surveys.
- Meyboom, P. (1967). *Mass-transfer studies to determine the groundwater regime of permanent lakes in hummocky moraine of Western Canada*. In: Journal of Hydrology (5), 117-142.
- Molenaar, J.G. de (1980). *Bemesting, waterhuishouding en intensivering in de landbouw en het natuurlijk milieu*. Rapport no. 80/6. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Moller Pillot, H.K.M.(1971). *Faunistische beoordeling van de verontreiniging in laaglandbeeken*. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen. Pillot Standaardboekhandel, Tilburg.
- Mörzer Bruyns, M.F. en Sloet van Oldruitenborgh, C. (1978). *Behoud en beheer van natuurlevensgemeenschappen*. Afdeling natuurbehoud en -beheer, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Newson, M. (1984). *River processes and form*. In: Lewis, G. Rivers and wildlife handbook: a guide to practices which further the conservation of wildlife on rivers, Williams, G. and Williams, G. (editors). Royal Society for the Protection of Birds, Conservation Planning Department and the Royal Society for Nature Conservation, 3-9.
- Ng0, X.T. (1989). *Holten II, Modelsimulatie ten behoeve van effectberekeningen*. Waterleidingmaatschappij Overijssel, Afdeling Onderzoek, Zwolle
- Offermans, M. en Noortman, A. (1991). *Bekeken beken; een plan voor de beken in de stad Hengelo (Ov.)*. Doctoraal scriptie, Nota Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Sectie Landschapsarchitectuur. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Oosterbaan, A. en Burg, J. van den (1988). *De vitaliteit en minerale - voedingstoestand van zomereiken op arme en rijke gronden*. Rapport nr. 529. Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.
- Opdam, P. (1989). *En verbonden zal er worden!*; ecologische infrastructuur in overgang. In: Landschap (6), extra nummer prijsvraag 'Landschap in overgang', 97-99.
- Opdam, P. (1991). *De visie landschap; ecologische kwaliteit en de cascobenadering*. Landschap 8 (3), 201-207.
- Ophori, D. and Tóth, J. (1990). *Relationships in regional groundwater discharge to streams: an analysis by numerical simulation*. Journal of Hydrology, (119), 215-244.
- Orleans, T., Mugge, F., Vos, P. en Keurs, W. ter (1995). *Bufferstroken langs watergangen; een mogelijkheid om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen?* In: Landschap (12), nr. 6, 47-62.
- Ortega, G.A. en Farvolden, R.N. (1989). *Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the basin of Mexico*. In: Journal of Hydrology (110), 271-294.
- Oude Egbrink, B. en Notenboom, J. (1982). *Makrofauna-gemeenschappen in bronnen*. Basisrapport Project Ecologische Karakterisering van Oppervlaktewateren in Overijssel nrs. 3 en 4 / Verslag no. 665. Provinciale Waterstaat in Overijssel/ Vakgroep Natuurbeheer Landbouwhogeschool. Zwolle / Wageningen.
- Ouden, J.B. den (1993). *Het aangestroomde oppervlak van geïnundeerde oobossen inditwarse ontwikkelingsstadia: een bijdrage ter berekening van de stromingsweerstand van ooi-*

- bossen. Rapport nr. 39, IBN-DLO. Wageningen.
- Pape, J.C. (1979). *Zand- en leemgronden*. In: Cursus Bodemkunde, Deel II: bodemkunde van Nederland. Onderafdeling Scholing, Ministerie van Landbouw en Visserij / Consulentenschap voor Bodemaangelegenheden in de landbouw, Wageningen, 303-389.
- Pedroli, G.B.M. (1987). *Ecohydrologie, een overzicht*. In: Landschap (4), nr.4, 320-330.
- Pedroli, G.B.M., (1989). *The nature of landscape; a contribution to landscape ecology and ecohydrology with examples from the Strijper Aa landscape, Eastern Brabant, The Netherlands*. Nederlandse Geografische Studies nr. 101. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Peterjohn, W.T. and Correll, D.L. (1984). *Nutrient Dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest*. Ecology (65), 1466-1475.
- Petts, G. en Foster I. (1985). *Rivers and landscape*. Edward Arnold, London.
- Poel, K.R. de (1992). *Hackfort: een onderzoek naar vormen van aangepaste landbouw in een zandgebied*. Syntheserapport van de COAL-gebiedsstudie op het landgoed Hackfort bij Vorden. COAL - publikatie, nr. 53. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Regt, A.L. de (1989). *Kleinschalig landschap in een grootschalig Europa*. In: Ruimtelijk Verkenningen 1989, Jaarboek Rijksplanologische Dienst. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 's-Gravenhage, 12-44.
- Roelofs, H.J., Beukeboom, Th. J., Ebregt, A. en Vos, W. (1982). *Landschapsecologische relaties via het grondwater op nationaal en regionaal niveau*. Rapport nr. 317. Rijksinstituut voor Onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.
- Roessingh, H.K. (1979). *Landbouw in de noordelijke Nederlanden 1650-1815*. In: Algemene Geschiedenis van Nederland, deel 8.
- Rolf, H.L.M. (1989). *Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland: analyse periode 1950 - 1986*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- Rowe, P.G. (1991). *Design thinking*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Ruiter, J.C. de, (1986). *Hydrologische systeemanalyse in Centraal Zuid-Holland*. Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland / Vrije Universiteit Amsterdam.
- Ruiter, J.C. de, (1989). *Meetnet grondwaterkwaliteit Overijssel*. Rapport OS 89-25. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Oosterwolde.
- Rumpff, E. (1986). *De ingrepen van het waterschap; veranderingen in het landschap*. Scriptie Vakgroep Tuin- en Landsarchitectuur, Wageningen.
- Sauer, C.O. (1925). *The morphology of landscape*. University of California Publications in Geography, Volume 2, No. 2, 19-54.
- Selm, A.J. (1985-a). *Operationalisatie van het begrip ecologische infrastructuur*. In: Recreatie en Toerisme (85), nr. 1, 10-14.
- Selm, A.J. (1985-b). *Operationalisatie van het begrip ecologische infrastructuur (2)*. In: Recreatie en Toerisme (85), nr. 2, 68-70.
- Schoorl, E.F., Amstel, A.R. en Veen, H.E. van de (1988). *Methode ontwikkeling voor operationalisering van het concept ecologische infrastructuur; verslag van een methode ontwikkeling aan de hand van een studie op locale schaal in Rossum-Oost, Twente*. Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam.
- Schot, P.P. (1991). *Solute transport by groundwater flow to wetland ecosystems: the environmental impact of human activities*. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.
- Schotman, A. (1991). *Natuurwaarden in een casco-landschap*. In: Landinrichting (31), nr. 6, 24-31.
- Schouwenaars, J.M. (1990). *Problem-oriented studies on plant-soil-water relations*. Proefschrift Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Schroevers, P.J. (1982). *Landschapstaal: een stelsel van basisbegrippen voor de landschapsecologie*. Reeks Landschapsstudies 2. PUDOC, Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen
- Schumm, S.A. (1977). *The fluvial system*. John Wiley and Sons, New York.
- Schutten, G.J. (1981). *Varen waar geen water is; reconstructie van een verdwenen wereld*. Geschiedenis van de scheepvaart ten oosten van de IJssel van 1300 tot 1900. Uitgeverij Broekhuis, Hengelo.
- Schuurman, E. (1972). *Techniek en toekomst: confrontatie met wijsgerige beschouwingen*. Van Gorcum, Assen.
- Scott, G. (1935). *Architecture of humanism; a study in the history of taste (second edition)*. Constable, London.

- Sijmons, D. (1987). *Ontwerpen op regionale schaal*. In: Ooievaar; de toekomst van het rivierengebied; Bruin, D. de, Hamhuis, D., Nieuwenhuijze, L. van, Overmars, W., Sijmons, D. en Vera, F. (redactie). Stichting Gelderse Milieufederatie, Arnhem, 99-110.
- Sijmons, D. (1991). *Het casco-concept; een benaderingswijze voor de landschapsplanning*. Studiereeks bouwen aan een levend landschap nr. 24. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie NBLF. Bureau H+N+S, Utrecht.
- Simonds, J.O. (1983). *Landscape Architecture; a manual of site planning and design*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Slicher van Bath, B.H. (1957). *Een samenleving onder spanning: geschiedenis van het platteland in Overijssel*. Historische sociografieën van het platteland, nr. 1. Van Gorcum, Assen.
- Slicher van Bath, B. (1970). *Welvaart op wankele basis: de sociaal economische omstandigheden gedurende de middeleeuwen*. In: Geschiedenis van Overijssel; Slicher van Bath, B.H., Heide, G.D. van de en Hijzeler, C.C.W.J. (redactie). Kluwer, Deventer.
- Slicher van Bath, B. (1977). *De agrarische geschiedenis van West-Europa 500-1850*. Spectrum, Utrecht.
- Smeets, P.J.A.M., Meuleman, A.F.M., Maren, E.N. van en Nieuwert, K. (1989). *Landschapsplanning in het Noorderpark*. In: Landschap (6), nr. 2, 115-128.
- Smidt, J.T. de (1978). *Ontwikkeling in het landbouwecosysteem*. In: WLO-Mededelingen 5, 21-28.
- Smith, D.S. and Hellmund, P.C. (1993). *Ecology of greenways; design and function of linear conservation areas*. University of Minnesota Press, Minneapolis, USA.
- Smoor, P.B. en Ridder, N.A. de (1972). *Grondwaterkartering van Nederland schaal 1:50.000: geohydrologische toelichting bij kaartbladen 34W Groenlo en 41W Aalten*. Dienst Grondwaterverkenning T.N.O., Delft.
- Spek, T. en Ufkes, A. (1995). *Inventarisatie Drentse essen: korte karakteristiek van driehonderd essen in de provincie Drenthe*.
- Spirn, A.W. (1984). *The granite garden: urban nature and human design*. Basic Books, New York.
- Spirn, A.W. (1988). *The Poetics of City and Nature: towards a New Aesthetic for Urban Design*. In: Landscape Journal (7), nr. 2, 108-126.
- Stalpers, L. (1992). *Waterwinning "Rijssen"; een modelmatig onderzoek naar de combinatie van natuurontwikkeling en drinkwaterwinning in het berinrichtingsgebied "Rijssen"*. Scriptie Vakgroep Waterhuishouding Landbouwuniversiteit / Waterleiding Maatschappij Overijssel. Wageningen / Zwolle.
- Stalpers, L. en Buuren, M. van (1993). *Voorbeeldplan NADORST. Natuurontwikkeling en drinkwaterproductie via oeverinfiltratie in het Reggestelsel*. Deelrapport Hydrologie. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Sectie Landschapsarchitectuur. Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Stalpers, L. (1995-a). *Pompproef en Sloopproef "Rijssen"*. Waterleiding Maatschappij Overijssel, Afdeling onderzoek, Zwolle.
- Stalpers, L. (1995-b). *Evaluatie project "Rijssen"; geohydrologie, waterleidingstechniek, kosten*. Waterleiding Maatschappij Overijssel, Afdeling onderzoek, Zwolle.
- Staring, W.C.H. (1860). *Huisboek voor den landman in Nederland*. Amsterdam.
- Staring, W en Stieltjes, T.J. (1848). *De Overijsselsche Wateren*. J.J. Tijl, Zwolle.
- Stee, A.P.J.M.M. van der (1989). *Om schone zakelijkheid: perspectieven voor de agrarische sector in Nederland*. Rapport van de Adviescommissie Perspectieven voor de Agrarische Sector in Nederland aan het Landbouwschap. Landbouwschap, 's-Gravenhage.
- Steenvoorden, J.H.A.M., Stuyt, L.C.P.M, Bakel, P.J.Y. van, Kemmers, R.H. en Hoeks, J. (1991). *Van verdrogen naar vernatten; verkennende studie naar de huidige kennis en wenselijk onderzoek*. NRLO, 's-Gravenhage.
- Steiner, F. (1991). *The living landscape: an ecological approach to landscape planning*. McGraw-Hill, New York.
- Steur, G.G.L. en Heijink, W. (1983). *Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000: algemene begrippen en indelingen*. 2e Uitgebreide uitgave. Stiboka, Wageningen.
- Steur, G.G. L en Heijink, W. (1989). *Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000, blad 22W Coevorden en 22O Coevorden*. Staring Centrum, Wageningen.
- Straaten, J. van der en Meijenfeldt, P. von (1983). *Beken in Brabant: hoe houden wij dit*

- bezit?. Herziene uitgave. Brabantse Milieufederatie, Tilburg.
- Strahler, A.N. (1952). *Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*. In: Geological Society of America Bulletin, 63, 1117-1141.
- Stroeken, F. (1994). *Orde in verandering: een onderzoek naar de casco - benadering in land-inrichting*. Rapport nr. 346. DLO-Staring Centrum / Landinrichtingsdienst. Wageningen / Utrecht.
- Stuurman, R.J., Mey, J.L. van der (1993). *The significance of regional hydrological systems analysis for recoverability and development of groundwater dependent ecosystems*. TNO-report PN 93-07 a, Delft.
- Stuurman, R.J., Biesheuvel, A. en Meij, J.L. van der (1987). *Hydrologische systeemkartering; het Merkske onderzoek*. In: Jaarverslag Dienst Grondwaterverkenning TNO; Delft, 90-108.
- Stuurman, R.J., J.L. van der Mey, G.B. Engelen, A. Biesheuvel, and E. van Zadelhoff (1989). *De hydrologische systeemanalyse van westelijk Noord-Brabant en omgeving*. DGV-TNO rapport OS 89-59. Dienst Grondwaterverkenning TNO / Vrije Universiteit. Delft / Amsterdam.
- Stuurman, R.J., Biesheuvel, A. en Overdijk, M. (1993). *De hydrologische systeemanalyse van de westelijke Langstraat: toepassing bij onderzoek naar de regeneratiemogelijkheden van verdroogde natuurgebieden*. Rapport nr. OS 92-117A. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
- Stuyfzand, P.J. (1986). *Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing*. In: H2O (19), nr. 23, 562-568.
- Stuyfzand, P.J. (1993). *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the western Netherlands*. Vrije Universiteit / KIWA. Amsterdam / Nieuwegein.
- Tilborg, H. van (1995). *Het traditionele duurzaam bouwen voorbij*. In: Blauwe Kamer / Profiel 1995, nr.6, 25-30.
- Tjallingii, S.P. (1993). *Water relations in Urban Systems: an ecological approach to planning an design*. In: Landscape Ecology of a Stressed Environment; Vos, C.C. and Opdam, P. (Editors.). IALE studies in Landscape Ecology nr. 1. Chapman and Hall, London, pp. 281-299.
- Tjallingii, S.P. (1996). *Ecological conditions; strategies and structures in environmental planning*. IBN Scientific Contributions 2, DLO Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO), Wageningen.
- Thomas, H.E. en Leopold, L.B. (1964). *Groundwater in North America*. In: Science (143), 1001-1006.
- Thomas, K. (1990). *Het verlangen naar de natuur; de veranderende houding tegenover planten en dieren 1500-1800*. Agon, Amsterdam.
- Thornbury, W.D. (1965). *Principles of geomorphology*. John Wiley and Sons, New York.
- Todd, D.K. (1980). *Groundwater Hydrology*. Second edition, John Wiley and Sons, New York.
- Tolkamp, H.H. (1981). *Organism-substrate relationships in lowland streams*. Agricultural Research Reports No. 907. Pudoc, Wageningen.
- Torenbeek, R., Verdonschot, P.F.M. en Higler, L.W.G. (1987). *Biologische gevolgen van vergroting van waterinlaat in de provincie Drenthe*. RIN-rapport nr. 87/20. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Toth, R.E. (1990). *Hydrologic and riparian systems: the foundation network for landscape planning*. Lecture International Conference on Landscape Planning, University of Hannover, June 6,7,8, 1990.
- Tóth, J. (1963). *A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins*. Journal of Geophysical Research, (68), nr. 1, 4795-4812.
- Tóth, J. (1966). *Mapping and interpretation of field phenomena for groundwater reconnaissance in a prairie environment, Alberta, Canada*. Intern. Assoc. Sci. Hydrol., 11 Année nr. 2, 1-49.
- Toulmin, S. (1990). *Cosmopolis: The Hidden Agenda of Modernity*.
- Uunk, J. en Smidt, G. (1995). *Bescherming van beken tegen vermessing*. In: Landschap (12), nr. 6, 35-46.
- Vaessen, H. (1993). *Reactie op NADORST*. In: Stedebouw en Volkshuisvesting (74), Themanummer Voorbeeldplannen Vierde Nota Kringlopen Ontworpen, 26-27.
- Verdonschot, P.F.M. (1990). *Ecological characterization of surface waters in the Province of Overijssel (The Netherlands)*. Province of Overijssel, Research Institute for Nature

- Management. Proefschrift Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Vermeulen, H.J.W. en Opdam, P.F.M. (1995). *Effectiveness of roadside verges as dispersal corridors for small ground-dwelling animals: a simulation study*. In: Landscape and Urban Planning (31), nrs.1-3, 233-248.
- Vink, A.P.A. (1980). *Landschapsecologie en landgebruik*. Bohn, Scheltema en Holkema, Utrecht.
- Visscher, H.A. (1972). *Het Nederlandse landschap: een typologie ten behoeve van het milieu-beheer*. Aula Paperback, Het Spectrum N.V., Utrecht.
- Visser, A.C. (1973). *Landschapsanalyse van Haaksbergen (2)*. Nota 667. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Vissers, H.J.S.M., Wit, N.H.S.M. de en Bleuten, W. (1985). *Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater: bedreiging van de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en gevolgen voor de natuur en waterwinningen op de Nederlandse zandgronden*. Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Vissers, J. (1993). *Het casco-concept: bron van verwarring en inspiratie*. Landinrichting (33), nr. 7, 27-31.
- Vissers, J., Hazendonk, N., Haas, W. de, Engen, H. van en Ijkelenstam, G.F.P. (1995). *Verweving van nutsfuncties en natuurfuncties; ideeën en voorbeelden van verweving nutsfuncties en natuurfuncties voor ruimtelijke planvorming op lokale en regionale schaal*. Studiereeks Bouwen aan een levend landschap, nr. 29. Informatie- en Kenniscentrum Natuurbeheer, Wageningen.
- Vitruvius Pollio, M., Morgan, M.H. and Warren, H.L. (1960). *Vitruvius: the ten books on architecture*. Dover, New York.
- Vlaanderen, B. (1989). *Het landschap van de zandgebieden: een kwantitatief onderzoek naar beplantingselementen in Noord-Oost Twente*. Stageverslag, Doctoraalscriptie. Provincie Overijssel / Landbouwniversiteit, Vakgroep Tuin- en Landschapsarchitectuur. Zwolle / Wageningen.
- Vlaanderen, B. (1990). *Het landschap van de zandgebieden: een kwalitatief onderzoek naar beplantingselementen in Noord-Oost Twente*. Doctoraalscriptie. Vakgroep Vegetatiekunde, Plantenecologie en Onkruidkunde. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Vlist, M. van der (1991). *Het casco-concept is nog onvoldoende onderbouwd*. In: Blauwe Kamer Journaal (2), 12-15.
- Vlist, M. J. van der en Brussaard, W. (1989). *Ruimte, water, milieu. relaties in planning en beleid*. Wageningse Ruimtelijke Studies 4-a. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Voet, J.L.M. van der (1987). *Recreatief gebruik van waterschapsterreinen*. Mededelingen Werkgroep Recreatie nr. 9. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Vos, W., Harms, W.B. and Stortelder, A.H.F. (1981). *Vooronderzoek naar landschapsecologische relaties tussen ecosystemen*. Rapport nr. 246. Rijksinstituut voor Onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen.
- Vought, L.B.M., Pinay, G., Fuglsang, A. en Ruffinoni, C. (1995). *Structure and function of bufferstrips from a water quality perspective in agricultural landscapes*. In: Landscape and Urban Planning (31), 323-331.
- Vries, J.J. de (1974). *Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands; a groundwater-hydrological approach to the functional relationship between the drainage system and the geological and climatical conditions in a Quaternary accumulation area*. Proefschrift. Rodopi NV, Amsterdam.
- Vroom, M.J. (1981). *Syllabus kb-college landschapsarchitectuur*. Afdeling Landschapsarchitectuur. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Vrijlandt, P. en Kerkstra, K. (1994). *A strategy for ecological and urban development*. In: Landscape planning and ecological networks; Cook, E. A. and Lier, H. N. van, (redactie). Elsevier, Amsterdam, 71-88.
- Wassen, M.J., Grootjans, A.P. en Wirdum, G. van (1996). *Consequences of changes in the water cycle for groundwater and surface water fed ecosystems: eco-hydrological approaches*. Kluwer, Dordrecht.
- Wassink, W. Th., (1990). *Hydrologische systeemanalyse en landschapsplanning. Een verkennende studie naar de toepassingsmogelijkheden van de hydrologische systeemanalyse als basis voor landschapsplanning in Midden-Limburg*. Doctoraal scriptie, Vakgroep Ruimtelijke Planvorming. Landbouwniversiteit Wageningen.

- Wee, M.W. ter (1966). *Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000 blad Steenwijk Oost (16 O)*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Weinreich, J.A. and Musters, C.J.M. (1989). *Toestand van de natuur; veranderingen in de Nederlandse natuur*. Achtergrondsreeks Natuurbeleidsplan nr. 4. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Weijden, W.J. van der, Wal, H. van der en Graaf, H.J. de (1984). *Bouwstenen voor een geïntegreerde landbouw*. Voorstudies en achtergronden no. V44. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Westhoff, V., Bakker, P.A., Leeuwen, C.G. van, Voo, E.E. van der, Zonneveld, I.S. (1973). *Wilde planten, flora en vegetatie in onze natuurgebieden; deel 3 : de hogere gronden*. Vereniging tot behoud van natuurmonumenten in Nederland, 's-Graveland.
- Wiel, K. van der, Vrijlandt, P. en Hamhuis, D. (1990). *Advies Landschapsbouw Rijssen*. Rapport BLB 1990-15. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Consulentenschap Bos- en Landschapsbouw Overijssel. Zwolle.
- Wilson, E.O. en Willis, E.O. (1975). *Applied biogeography: the design of nature preserves*. In: Ecology and Evolution of communities, Cody, M.L. and Diamond, J.M. (editors). Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 522-534.
- Winter, T.C. (1978-a). *Numerical simulation of steady state three-dimensional groundwater flow near lakes*. In: Water Resources Research (14), nr. 2, 245-254.
- Winter, T.C. (1978-b). *Groundwater component of lake water and nutrient budgets*. In: Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie (20), 438-444.
- Winter, T.C. (1983). *The interaction of lakes with variably saturated porous media*. In: Water Resources Research (19), nr. 5, 1203-1218.
- Winter, T.C. (1986). *Effect of groundwater recharge on configuration of the water table beneath sand dunes and on seepage in lakes in the sandhills of Nebraska, USA*. In: Journal of Hydrology (86), 221-237.
- Winter, T.C. and Carr, M. R. (1980). *Hydrologic setting of wetlands in the Cottonwood Lake area, Stutsman County, North Dakota*. Water-Resources Investigations 80-99. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- Winter, T.C. en Ming-Koo, W. (1990). *Hydrology of lakes and wetlands*. In: The Geology of North America, Volume O-1, Surface Water Hydrology; Wolman, M.G. and Riggs, H.C. (editors). The Geological Society of America, Boulder, Colorado.
- Wirdum, G. van (1979). *Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex*. In: Proceedings and Information 25. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, 66-82.
- Wirdum, G. van (1980). *Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming*. In: Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels, Hooghart, J.C. (redactie). Rapporten en Nota's nr. 5. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Den Haag.
- Wit, C.T. de (1989). *Problemen van duurzaamheid in de landbouw*. In: Landbouwkundig tijdschrift (101), nr. 1, XXX
- Wit, N.H.S.M. de en Bleuten, W. (1988). *Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater in het noordelijk zandgebied (en de veenkoloniën)*. Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.
- Witte, J.P.M. en Meijden, R. van der (1989). *Ecosystemen van vochtige en natte standplaatsen in Nederland: verspreiding en verandering afgeleid uit het florabestand van Rijksberbarium en CBS en het bodemkundig bestand van het Staring Centrum*. Nota nr. 89.071. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Arnhem.
- Wolfert, H.P. (1991). *Beekmeandering en natuurontwikkeling: een geomorfologische benadering*. In: Landschap (8), nr. 4, 265-276.
- Wotton, H. (1624). *The elements of architecture*. Reproduced (circa 1897). F.A. Basette Company, Springfield, Massachusetts.
- Zagwijn, W.H. en Van Staalduinen, C.J. (Red., 1975). *Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Zeeuw, D. de en Albrecht, W.G (1990). *Duurzaam samengaan van landbouw, natuur en milieu*. Manifest en rapport van de werkgroep. De Zeeuw, Amsterdam.
- Zonneveld, J.I.S. (1981). *Vormen in het landschap: hoofdlijnen van de geomorfologie*. Spectrum, Utrecht.

- Zonneveld, J.I.S. (1985). *Levend land: de geografie van het Nederlandse landschap*. Bohn, Scheltema en Holkema, Utrecht.
- Zwart, F.N. (1989). *Nota verkenning van de ontwikkeling van de vitaliteit van het Nederlandse bos en de samenhang met omgevingsfactoren*. Bosbouwvoorlichtingsraad, Utrecht.

Curriculum Vitae

Michaël van Buuren werd op 29 november 1960 geboren te Utrecht. Na een reeks van kleuterscholen en lagere scholen in verschillende plaatsen in Nederland bezocht hij het Almere College te Kampen en de Rijksscholengemeenschap West-Friesland te Hoorn. In mei 1979 behaalde hij zijn VWO-b diploma. Daarna volgde de studie Cultuurtechniek-A aan de (toen nog) Landbouwhogeschool te Wageningen. In september 1986 studeerde hij af met een vakkenpakket bestaande uit Cultuurtechniek, Planologie, Landschapsarchitectuur en Natuurbeheer.

Zijn beroepsmatige carrière is begonnen met een aanstelling als tijdelijk medewerker in dienst van de Werkgroep Recreatie van de Landbouwniversiteit. Voor deze werkgroep heeft hij in 1986 - samen met Justus van den Berg - een tweetal studentenscripties over natuurgerichte recreatie in de Oostvaardersplassen tot een handzame publicatie omgewerkt. Na een periode van werkloosheid volgde in de eerste helft van 1987 een tijdelijk dienstverband bij de afdeling Landschapsarchitectuur van het Staatsbosbeheer in de provincie Noord-Brabant. Dit heeft geleid tot de publicatie van een Landschapsstructuurplan voor het gebied De Leyen tussen Tilburg en 's-Hertogenbosch.

In september 1987 komt hij wederom in dienst van de Landbouwniversiteit; een dienstverband dat - hoewel onzeker - nog steeds voortduurt. Aanvankelijk is hij als assistent in opleiding verbonden aan de Vakgroep Landschapsarchitectuur. Daarna fungeert hij als tijdelijk medewerker aan de (inmiddels voormalige) fusie-vakgroep Ruimtelijke Planvorming. Naast het onderzoek dat tot dit proefschrift heeft geleid, heeft hij andere werkzaamheden op het terrein van onderzoek en onderwijs verricht. Daarbij heeft hij zich breed georiënteerd op de ruimtelijke planvorming voor met name de rurale gebieden van Nederland. In deze periode worden - onder andere in samenwerking met ingenieursbureaus - bijdragen geleverd aan projecten met als onderwerpen de Hollandse Waterlinie, de Gebiedsvisie Salland, de waterwinning van Nederland en de landschappelijke aspecten van 'High-Tech' landbouw. In verschillende nationale en internationale fora heeft hij verslag gedaan van zijn onderzoeksactiviteiten. Momenteel is hij redacteur van het tijdschrift 'Landschap'.

Publicaties

- Berg, J.J., van den en Buuren, M. van (1987). *Opstap in de Oostvaardersplassen; natuurgerichte recreatie 'n nieuw perspectief*. Mededelingen van de Werkgroep Recreatie 5. Werkgroep Recreatie Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Aa, E. van der, Berg, M. van der, Buuren, M. van, Ensing, J., Kuiper, R., Nobbe, H. en Wingerden, W. van. (1989). *Naar een integraal beleid voor water, milieu en ruimte?; discussiebijdragen naar aanleiding van de zesde studiedag van de Werkgroep Landelijk Gebied*. Rapporten Werkgroep Landelijk Gebied, Nr. 1. Werkgroep Landelijk Gebied, Wageningen.
- Buuren, M. van (1989). *Naar een watersysteem-benadering voor ruimtelijke planning*. In: Naar een integraal beleid voor water, milieu en ruimte? Werkgroep Landelijk Gebied, WLG-reeks nr. 1, Wageningen, 47-58.
- Ampt, V., Buuren, M. van en R. Kuysters (1990). *Landinrichting, gewogen en te licht bevonden?* In: Maaiveld (5), nr.3, 16-22.
- Buuren, M. van (1991). *A hydrological approach to landscape planning; the framework-concept elaborated from a hydrological perspective*. Landscape and Urban planning 21, 91-107.
- Buuren, M. van, Vrijlandt, P. en Kerkstra, K. (1991). *Kleinschalig, verveven of casco?* Het landschap van de zandgebieden nader beschouwd. Landinrichting 31 (1), 1-18.
- Bolhuis, P. van en Buuren, M. van (1991). *Ruimtelijke kwaliteit en landinrichting*. In: Hoe duurzaam is ruimtelijke kwaliteit? Werkgroep Landelijk Gebied, WLG-reeks nr.3, Wageningen, 15-21.
- Aarsen, L.F.M., Ampt-Riksen, V. W.M.M, Bos, J., Buuren, M. van, Eweg, H.P.A. en Kuysters, H.M.J. (Eds., 1991). *Ruimtelijke planning in Wageningen; opvattingen in kaart gebracht*. Wageningse Ruimtelijke Studies 8. Permanente Contactgroep Ruimtelijke Organisatie, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Buuren, M. van and Kerkstra, K. (1993). *The framework concept and the hydrological landscape structure: a new perspective in the design of multifunctional landscapes*. In: Landscape Ecology of a Stressed Environment, C.C. Vos and P. Opdam (Eds.), IALE studies in Landscape Ecology. Chapman and Hall, London, 219-243.
- Buuren, M. van, Stalpers, L.J., Bolhuis, P. van, Vrijlandt, P. en Wassink, W. Th. (1993). *Voorbeeldplan NADORST; natuurontwikkeling en drinkwaterproductie via oeverinfiltratie in het Reggestelsel*. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Sectie Landschapsarchitectuur, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Stalpers, L.J. en Buuren, M. van (1993). *Voorbeeldplan NADORST; natuurontwikkeling en drinkwaterproductie via oeverinfiltratie in het Reggestelsel*. Deelrapport Hydrologie. Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Sectie Landschapsarchitectuur, Landbouwuniversiteit, Wageningen.
- Jansen, A.J.M. en Buuren, M. van (1993). *Hydro-ecologische analyse van en ontwikkelingsmogelijkheden voor de vegetatie in het gebied van het Voorbeeldplan NADORST*. KIWA rapport SWE93.013, KIWA / Landbouwuniversiteit, Nieuwegein.
- Buuren, M. van, Stalpers, L.J. en Bolhuis, P. van (1993). *Drinkwaterproductie NADORST; integratie met natuur en landschap*. Stedebouw en Volkshuisvesting, themanummer, 21- 25.
- Buuren, M. van, Stalpers, L.J., Bolhuis, P. van, Vrijlandt, P. Jansen, A.J.M. en Wassink, W. Th. (1993). *Voorbeeldplan NADORST; natuurontwikkeling en drinkwaterproductie via oeverinfiltratie in het Regge-stelsel*. Landschap 10 (4), poster artikel.

- Buuren, M. van (1994). *The hydrological landscape structure as a basis for network formulation: a case study for the Regge catchment (NL)*. In: Landscape planning and ecological networks, (Edward A. Cook and Hubert N. van Lier, Eds.). Elsevier, Amsterdam, 117-136.
- Buuren, M. van (1994). *Landschapontwikkeling en verdroging: een case study*. In: Groen 50 (5), 21-25.
- Alberts, W., Buuren, M. van, Dorp, D. van, Hoek, I.H.S en Klijn, F. (red.; 1994). *Ontsnippering*, themanummer Landschap 11 (3).
- Vroom, M.J., Kerkstra, K., Buuren, M. van and Wassink, W. Th. (1994). *Landscape planning and water management; the case of the Netherlands*. Ekistics 364-365, 10-21.
- Arts, G.H.P, Buuren, M. van, Jongman, R.H.G., Nowici, P., Wascher, D. en Hoek, I.H.S. (eds.; 1995). *Ecological networks*, special issue Landschap 12 (3).
- Buuren, M. van en Dirks, B. (1996). *Creatief met grond*. Kennisoverdracht over plattelandsontwikkeling van Landbouwniversiteit naar middelbaar agrarisch onderwijs. Vakgroepen Ruimtelijke Planvorming en Theoretische Productie-ecologie. Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Visser, R. de, Jansen, S., Engen, H. van, Gerwen, R. van, Wardenaar, K.J., Buuren, M. van en Kerkstra, K. (1996). *Marstempo. Gebiedsvisie Salland: een verkenning van de mogelijkheden voor natuur, bos en landschap*. VISTA, adviesbureau voor ruimtelijke planning, landschapsarchitectuur en ecologie / Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Ruimtelijke Planvorming, Amsterdam / Wageningen.
- Buuren, M. van, Hoek, I.H.S., Jalink, M.H., Klijn, F.H., Meuleman, A.F.M., Molenaar, W. en Piek, H. (1996). *Oppervlaktewater*. Themanummer Landschap. Landschap (13), nr. 3.
- Engen, H. van en Buuren, M. van (1996). *Marstempo: een natuurlijker waterritme voor Salland*. In: Landinrichting (36), nr. 8, 9-14.
- Ligtvoet, W., Van Buuren, M. van, Timmermans, J. en Vlist, M.J. van der (1997). *Waterwinnen met kwaliteit; haalbaarheidsstudie lange-termijn opties voor grote watereenheden*. Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v / Landbouwniversiteit. Deventer / Wageningen.