

ENERGIEPOTENTIES GRONINGEN

BASISRAPPORT

Eindrapport, versie 4.6



Energiepotenties Groningen

Basisrapport

Eindrapport, versie 4.6, juni 2009

geschreven door:

Prof.dr.ir. A.A.J.F. (Andy) van den Dobbelaar
Ir. S. (Siebe) Broersma
B. (Bram) van der Grinten
TU Delft, faculteit Bouwkunde, sectie Climate Design

Dipl. Ing. S. (Sven) Stremke M.A.
Wageningen Universiteit en Researchcentrum, Sectie Landscape Architecture

in opdracht van:

Provincie Groningen, afdeling Strategie en Omgevingsbeleid

gefinancierd door:

Provincie Groningen en gemeente Hoogezand-Sappemeer

INHOUDSOPGAVE

01	Inleiding	06
01.01	Aanleiding	06
01.02	Opbouw energiepotentie-rapporten	06
01.03	Energie- en klimaatgestuurde planning	06
	01.03.01 Klimaatverandering	06
	01.03.02 Energie-uitputting	07
01.04	De methodiek van energiepotenties	09
	01.04.01 Grounds for Change	09
	01.04.02 POP-energie	09
	01.04.03 Energiepotentiëstudie Almere	11
	01.04.04 Validatie	11
01.05	Aanpak van het energiepotentieonderzoek voor De Groene Compagnie	11
02	Basisinformatie Groningen	13
02.01	Klimaat	13
	02.01.01 Temperatuur	13
	02.01.02 Zon	14
	02.01.03 Wind	15
	02.01.04 Neerslag	16
02.02	Ondergrond	17
	02.02.01 Grondsoorten	17
	02.02.02 Diepe ondergrond	18
02.03	Grondgebruik	19
	02.03.01 Reliëf	20
	02.03.02 Waterbeheer	21
	02.03.03 Landschapstypen	21
	02.03.04 Natuur en landbouw	22
	02.03.05 Infrastructuur	22
02.04	Het huidige energiesysteem	23
03	Energiebronnen en -technieken	24
03.01	Zon	24
	03.01.01 Elektriciteit van de zon	24
	03.01.02 Warmte van de zon	25
03.02	Wind	26
03.03	Water	27
	03.03.01 Elektriciteit uit water	27
	03.03.02 Warmte uit oppervlaktewater en bodem	28
03.04	Biomassa	28
	03.04.01 Inleiding	28
	03.04.02 Voorwaarden en bedenkingen	29
	03.04.03 Biobrandstoffen	31
	03.04.04 Elektriciteit en warmte van biogas uit biomassa	32
	03.04.05 Voorbeelden toepassingen bio-energie	35
03.05	Ondergrond	37
	03.05.01 Technieken	37
	03.05.02 Warmtepompen	38
	03.05.03 Warmte- en koudeopslag (WKO)	39
	03.05.04 Geothermie	40
03.06	Warmte- en koudevraag en -aanbod	41
03.07	'Technische' energiebronnen	43
	03.07.01 Fossiele brandstoffen	43

	03.07.02	Waterstof	44
	03.07.03	Afval	45
	03.07.04	Nucleaire energie	45
03.08		Energiebesparende technieken in woningen	46
	03.08.01	Micro-WKK	46
	03.08.02	Decentrale sanitatie	46
04		Referenties	48

01 INLEIDING

01.01 Aanleiding

De gemeente Hoogezand-Sappemeer gaat samen met de Dienst Landelijk Gebied (DLG) en de provincie Groningen een ontwikkeltraject in waarbij de zuidzijde van Hoogezand-Sappemeer van een agrarisch landschap naar een recreatief woonlandschap getransformeerd zal worden. Uit de kwaliteitsambities die gaan gelden voor dit gebied, dat De Groene Compagnie genaamd is, blijkt dat de duurzame ontwikkeling een belangrijke rol speelt [Ontwikkelstrategie De Groene Compagnie, 2008].

In de lijn van deze ambities en idealen heeft de Provincie Groningen de TU Delft gevraagd om voor De Groene Compagnie een energiepotentiëstudie uit te voeren. Daarmee kan de definitieve ontwikkelstrategie van het gebied mede gestuurd worden door de (on)mogelijkheden voor specifieke energieopwekking of –afstemming binnen dit gebied.

01.02 Opbouw energiepotentie-rapporten

De gehele energiepotentiëstudie bestaat uit twee delen. Dit rapport bevat het eerste deel van het onderzoek en is het basisrapport. Het behandelt de algemene energiekennis: basisgegevens over onder andere klimaat, grondgebruik en ondergrond, die hier in algemene zin gelden voor de gehele provincie Groningen. Daarnaast bevat het algemene kennis over diverse energiebronnen- en technieken. Dit rapport vormt daarmee de grondslag voor energiepotentiëstudies van deelgebieden.

Het tweede deel van de energiepotentiëstudie is gericht op het specifieke deelgebied, in dit geval De Groene Compagnie in Hoogezand-Sappemeer. In dat rapport wordt eerst dieper ingegaan op basisinformatie die nodig is voor het bepalen van energiepotenties. Vervolgens wordt, verdeeld naar energievorm, ingegaan op de potenties van de verschillende energiebronnen en beschikbare energietechnieken. Uiteindelijk worden met behulp van deze energiepotenties energieconcepten voor verschillende wijken gemaakt, die aan de hand van voorbeelden in een planvoorstel voor het gebied geïllustreerd worden.

Hoe de energiepotentiëstudie is opgebouwd wordt verderop in dit hoofdstuk besproken.

01.03 Energie- en klimaatgestuurde planning

01.03.01 Klimaatverandering

Verwachtingen

Klimaatverandering is iets van alle tijden. De aarde maakt zijn eigen seizoenscyclus van ongeveer 40.000 jaar, en we zitten nu in de geologische zomer [Kroonenberg, 2006]. De afgelopen twee eeuwen is de temperatuurstijging die op basis daarvan mag worden verwacht extreem veel sneller gegaan dan ooit tevoren. Klimaatverandering is dan ook onmiskenbaar beïnvloed door de mens, zo heeft het IPCC recentelijk vastgesteld [IPCC, 2007]. In 2001 werd deze invloed nog betwijfeld [IPCC, 2001]. De klimaatverandering die de komende decennia wordt verwacht, noopt landen in deltagebieden tot maatregelen.

Al zouden we vanaf morgen stoppen met de uitstoot van CO₂, de na-ijleffecten zullen nog wel een eeuw duren. Het is daarom een illusie dat we ons de eerstvolgende 50 jaar tegen klimaatverandering

kunnen beschermen door maatregelen in de zin van CO₂-uitstootvermindering. Deze maatregelen zijn echter wel noodzakelijk voor de generaties die ons zullen volgen.

KNMI-scenario's gaan uit van 35-85 cm zeespiegelstijging in deze eeuw. Dat lijkt veel, maar er zijn ook tijden geweest van 2 m stijging in een eeuw. Bij sommige scenario's, waarbij landijs op Groenland en Antarctica afsmelt, is er een mogelijkheid dat de zeespiegel 6 meter zal stijgen. Nog weinig politici nemen dit scenario serieus, maar wetende dat de zee ook zo'n honderd meter lager heeft gelegen (tijdens ijstijden) praten we bij 6 meter eigenlijk nog steeds over marginale veranderingen. Bovendien blijkt de Groenlandse ijskap nu al veel sneller af te smelten dan voorzien, waarmee ook de verwachtingen van zeespiegelstijging naar boven kunnen worden bijgesteld.

Gevolgen voor Nederland

In een stabiele situatie kunnen de huidige zeedijken in Noord-Nederland een paar meter zeespiegelstijging wel aan, dus zeker een paar decimeter. Het probleem ontstaat echter in extreme situaties van storm en springtij of bij een superstorm, waarbij het water meters hoger kan komen dan normaal. De winters van 2006 en 2007 illustreerden dit: tot twee keer toe kwam het water in Delfzijl tot bijna 4 meter boven NAP. Als het basisniveau van de zee stijgt, zal de stormhoogte exponentieel toenemen. En dan hebben we een probleem.

Uitgangspunten voor energiepotentieonderzoek

Een energiepotentiëstudie zoals uitgevoerd voor De Groene Compagnie kan niet worden gedaan zonder medeneming van klimaatveranderingverwachtingen. Dat betekent dat de voorstellen die in het kader van dit project in zekere mate klimaatrobuust moeten zijn, rekening houdend met de veranderingen in het klimaat die waarschijnlijk zijn. Het doel van het onderzoeksproject is echter niet primair om klimaatadaptatie te ondersteunen, hoewel een duurzame energievoorziening dat indirect wel doet.

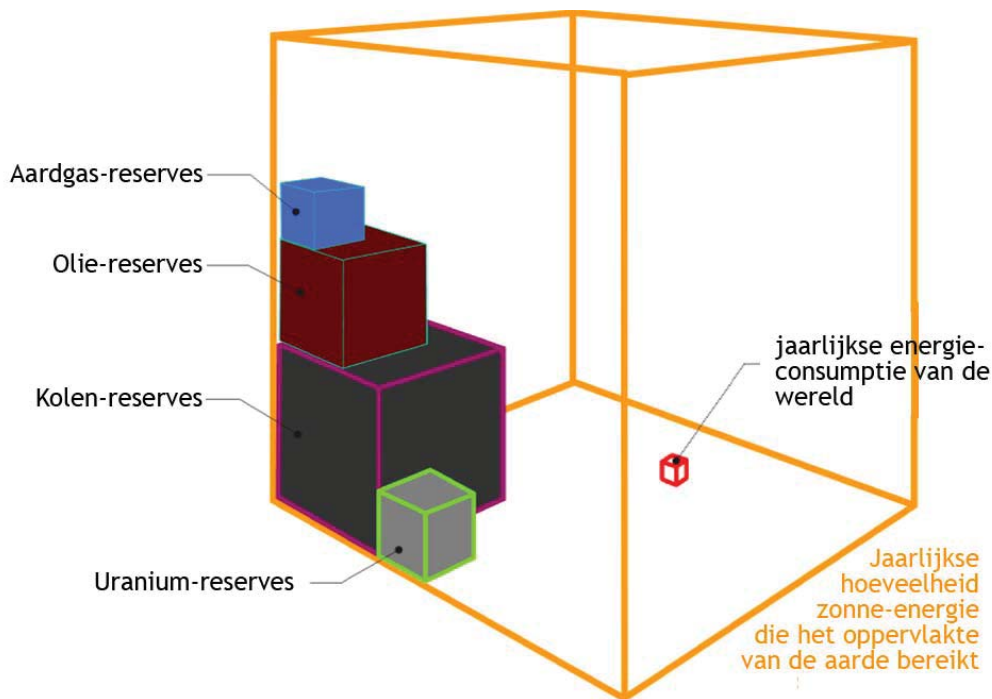
01.03.02 Energie-uitputting

Probleem

Behalve de uitstoot van broeikasgassen die gepaard gaat met het gebruik van fossiele energiebronnen (overigens meer dan alleen CO₂) zijn er andere milieuproblemen verbonden aan het energiegebruik. Daarbij valt te denken aan de mogelijke aantasting van landschappen bij winning, calamiteiten bij transport en de uitputting van energiebronnen. Vooral het laatste noopt de maatschappij tot nadenken over andere, duurzame energiebronnen. De prognoses voor de oliereserves worden regelmatig bijgesteld – al dertig jaar wordt een reserve van ongeveer veertig jaar genoemd – doordat nieuwe velden worden ontdekt en nieuwe winningstechnieken economisch mogelijk worden, wat voorheen misschien niet het geval was.

Hetzelfde gaat op voor aardgas, waarvan de reserves wereldwijd op een jaar of zestig wordt geschat. Steen- en bruinkool kunnen nog wel enkele honderden jaren worden gewonnen, maar de uraniumvoorraad lijkt ook niet langer mee te gaan dan 40 jaar.

Als we dus niet volledig terug willen naar een relatief vervuilende energievoorziening gebaseerd op steen- of bruinkool, dan zal binnen een jaar of 60 een duurzame energievoorziening bereikt moeten zijn. Het aandeel aan duurzame bronnen in de energievoorziening is om verschillende redenen wereldwijd echter niet meer dan een paar procent. Er zal dus een transitie in gang gezet moeten worden. In figuur 01 is de wereld energieconsumptie te zien in vergelijking met de aanwezige reserves van energie uit fossiele brandstoffen en de jaarlijkse irradiatie van de zon op aarde.



Figuur 01: Jaarlijkse energieconsumptie van de wereld in vergelijking met de aanwezige reserves van fossiele brandstoffen en jaarlijkse irradiatie van de zon [naar Krauter 2006]

Gevolgen voor Nederland

Met name voor Nederland, dat momenteel nog grotendeels draait op de aardgasvoorziening – die wat betreft de eigen bronnen over 25 jaar tegen zijn grenzen aan loopt – is het van belang te zoeken naar nieuwe duurzame alternatieven. Afhankelijk zijn van energiebronnen uit andere regio's die vanuit verschillende hoeken van de wereld bevraagd gaan worden, lijkt niet de meest veilige strategie. Nederland zal zich meer moeten richten op de eigen voorziening, zonder overigens internationale uitwisseling van energie te laten liggen. Deels kan meer zelfstandigheid worden bereikt door beter benutten van lokale energiepotenties die nu niet worden aangewend, door eigen opwekking van energie uit vernieuwbare bronnen, door innovatieve technologie en eenvoudigweg door besparingen.

Uitgangspunten voor het energiepotentieonderzoek

In verband met dezelfde problematiek van klimaat, energie en ruimte werd op het congres Stad van de Toekomst (6 december 2006, georganiseerd door de Provincie Zuid-Holland) tijdens de workshop Energieke Stad het volgende geconcludeerd:

- Het is goed om minder afhankelijk te zijn van andere regio's in de wereld, maar volledige zelfvoorziening is niet nodig of gewenst. Het meest haalbaar lijkt een alomtegenwoordig netwerk dat niet alleen op centrale opwekking of distributie is gebaseerd, maar ook op kleinere schaal kan worden gevoed door lokale zelfvoorzienende eenheden.
- Gecentraliseerde energiesystemen zijn goed voor gebieden met grote dichtheden en een goede infrastructuur, maar we moeten ook decentrale systemen durven te ontwikkelen op stads-, wijk- en woningniveau.
- We moeten van monofuel- naar multifuelsystemen: voor onafhankelijkheid, bedrijfszekerheid en om meer te halen uit lokale opwekking.
- Ruimtelijke planning moet worden gestuurd door energiepotenties op lokaal niveau en exergie (energiecascades). Energievraag en -aanbod moeten functioneel op elkaar worden afgestemd.
- Waterstof is een beter medium voor energieopslag en -transport dan huidige alternatieven. De waterstofeconomie is een schone, efficiënte economie, die duurzaam is als de waterstof duurzaam is opgewekt.

Aangezien Zuid-Holland met vergelijkbare vraagstukken kampt als Groningen, en omdat de conclusies voor een belangrijk deel overeenstemmen met andere studies [bijv. Timmeren, 2006; Noorman et al.,

2006; Roggema et al., 2006] was het voor dit onderzoek nuttig om genoemde conclusies voor de groene Compagnie in overweging mee te nemen.

Lokale kracht

Los van de internationale omstandigheden, die wellicht kunnen pleiten voor een meer onafhankelijke positie, zijn er op dit moment energiepotenties onbenut. In een maatschappij die in de loop der tijd niet minder energie consumeert, in een wereld waarin andere landen een economische inhaalslag maken en daarmee de energievraag doen toenemen, wordt het verstandig om op eigen bodem in ieder geval alle potenties te benutten of benutbaar te maken.

Zoals al besproken heeft het voor de klimaatverandering op korte termijn niet veel effect als we ons nu volledig richten op energiebesparing en vermindering van CO₂-uitstoot. Maar om binnen een jaar of vijftig op een duurzaam energiesysteem te zitten zal de transitie nu ingezet moeten worden. Daarom is in dit onderzoek in eerste instantie gekeken naar de potenties van vernieuwbare energiebronnen, en in tweede instantie naar die van minder duurzame of fossiele bronnen.

01.04 De methodiek van energiepotenties

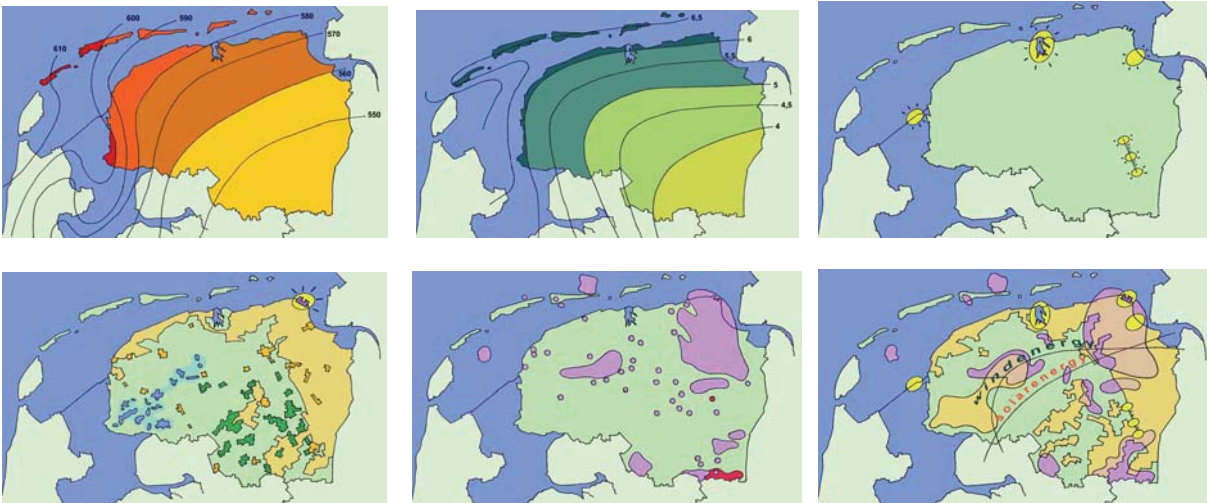
01.04.01 Grounds for Change

Tijdens het onderzoek van Grounds for Change [Noorman et al., 2006; Roggema et al., 2006] is de methodiek van energiepotentiekarten ontstaan. Dat zijn kaarten waarop wordt aangegeven waar verschillende energetische kansen liggen, gebaseerd op klimatologische, geofysische en cultuurtechnische eigenschappen van een gebied. In Grounds for Change werden voor Noord-Nederland een zonnepotentiekaart, een windpotentiekaart, een waterpotentiekaart, een biomassapotentiekaart en een ondergrondpotentiekaart gemaakt. De energiemixkaart ten slotte gaf een overlap van alle potentiekaarten bij elkaar. Zie figuur 02.

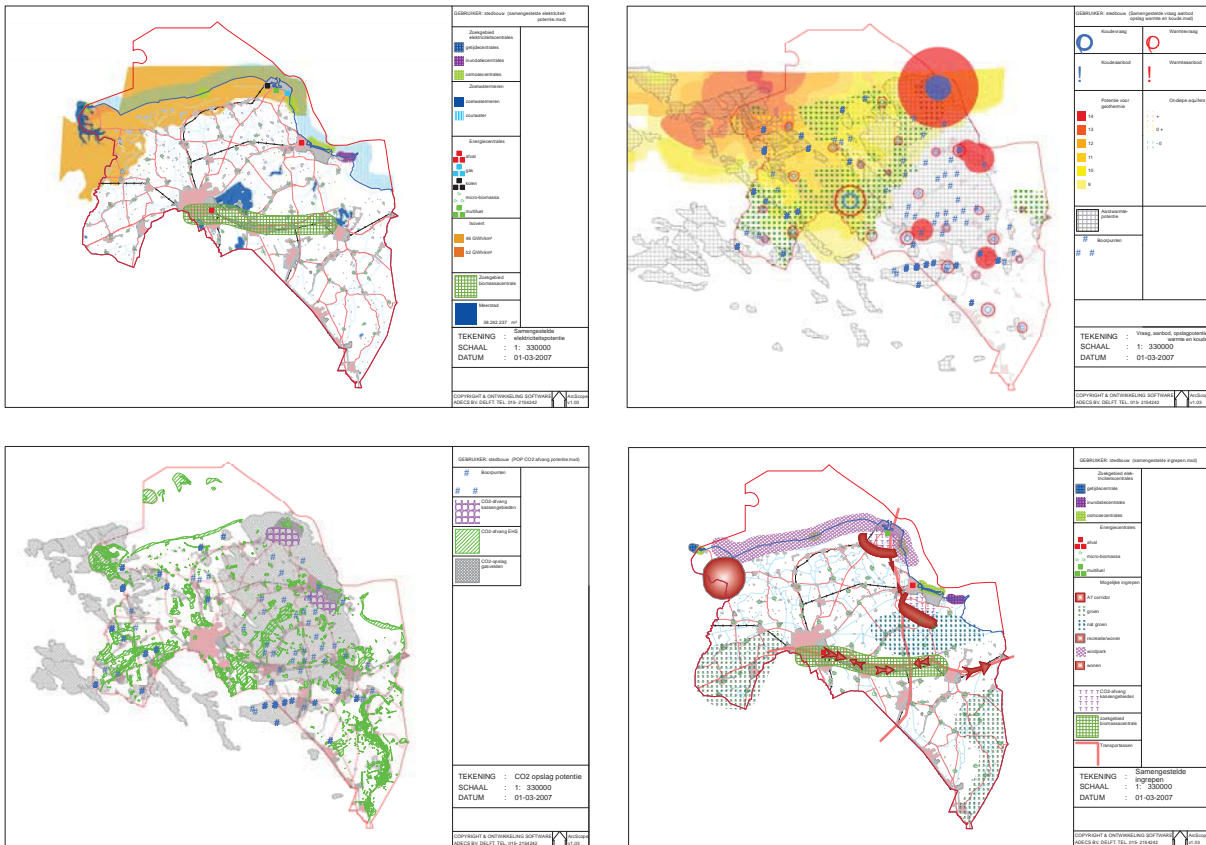
De energiepotentiekarten gaven vooral in de energiemixkaart een aardig beeld van hoe 'rijk' een streek is aan energiepotenties. Uit de energiemixkaart van Noord-Nederland bleek al dat het noordoosten van Groningen zowel geschikt is voor zon, wind, biomassa en gas uit de ondergrond. Grote delen van Drenthe daarentegen moesten zich beperken tot hoogstens biomassa.

1.4.2 POP-energie

In het nieuwe Provinciale Omgevingsplan (POP) van Groningen speelden energiepotenties ook een rol. Het zogenoemde POP-energieonderzoek [Dobbelsteen et al., 2007a] bood de mogelijkheid om de nog rudimentaire methode van Grounds for Change nader uit te werken en toe te spitsen op provinciale schaal. Daarvoor werd de methodiek ook enigszins aangepast: de potentiekaarten werden niet gebaseerd op de bron (zon, wind, water, etc.) maar op de energievorm die deze konden leveren (elektriciteit en warmte bijvoorbeeld). Op basis van deze energiepotentiekarten werden ingrepen voorgesteld in de ruimtelijke zin (puur gebaseerd op energie): waar de nieuwe woon- en kassengebieden het best kunnen worden ontwikkeld, wat de ideale plek voor een biomassacluster is, welke krachtcentrales waar geplaatst dienen te worden, etc. Figuur 03 geeft de overlapkaarten voor de energiepotenties van Groningen, evenals de ingrepenkaart.



Figuur 02: Energiepotentiekarten vanuit het Grounds for Change project, van links naar rechts en van boven naar onder: zonnepotentiekaart, windpotentiekaart, waterpotentiekaart, biomassapotentiekaart, ondergrondpotentiekaart en de energiemixkaart, een overlapkaart van alle voorgaande potentiekarten



Figuur 03: Energiepotentiekarten uit het POP-energieproject, van links naar rechts en van boven naar onder: potentiekaart voor elektriciteitsopwekking, voor warmte/koude en voor CO2-afvang, plus de kaart met voorgestelde ingrepen [Dobbelsteen et al., 2007a]

01.04.03 Energiepotentiëstudie Almere

Waar bij het POP-energieproject het energiepotentieonderzoek gedaan is voor een gehele provincie, is voor de gemeente Almere een basisonderzoek gedaan voor de regio Almere, waarbij een specifiek energiepotentieonderzoek gedaan is voor Almere-oost. Bij dit energiepotentieonderzoek is de methode op een kleinere regionale schaal getoetst. De energiepotentiekaarten en de planologische voorstellen in dit onderzoek zijn op de schaalverkleining aangepast en resulteerden in specifiekere oplossingen waarvan gebouwenclusters een voorbeeld zijn.



Figuur 04: Voorbeeld van voorgestelde ingreep Almere-oost met beelden van voorgestelde principes van energetisch gunstige gebouwclusters

01.04.04 Validatie

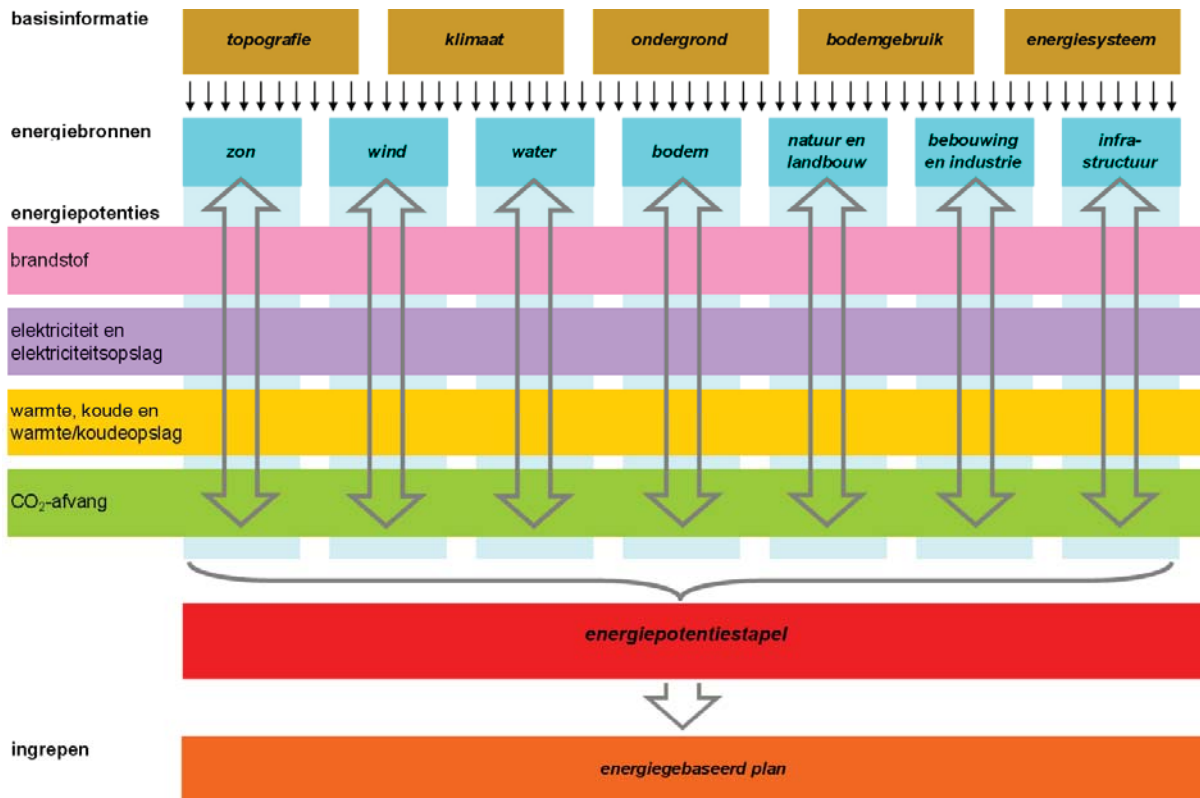
Over de methode van energiepotenties en de resultaten daarvan in Grounds for Change en het Omgevingsplan Groningen is wetenschappelijk inmiddels veel gepubliceerd [Dobbelsteen et al., 2008a; Dobbelsteen, 2008; Dobbelsteen et al., 2007b; Dobbelsteen et al., 2007c; Gommans & Dobbelsteen, 2007; Dobbelsteen et al., 2006a; Dobbelsteen et al., 2006b]. Ooit begonnen op regionale schaal, is de methodiek ook toepasbaar geworden op een lager schaalniveau: provincie, stad, wijk en zelfs gebouwen, waar het bekender staat onder de noemer 'smart & bioclimatic design' [Dobbelsteen et al., 2008b].

01.05 Aanpak van het energieonderzoek voor De Groene Compagnie

De energiepotentieonderzoeken zijn tweeledig geweest. Enerzijds is literatuur bestudeerd over recente ontwikkelingen en technieken in de energiemarkt, de plannen voor De Groene Compagnie, reeds verrichte studies en technische informatie over energiekenmerken. Anderzijds is gezocht naar kaarten die ondersteunend konden zijn voor de uitwerking van energiepotentiekaarten en de uiteindelijke ingreepvoorstellen. Figuur 05 geeft een schematisch overzicht van verschillende aspecten en kaarten waaraan tijdens dit onderzoek is gewerkt.

Allereerst is algemene informatie vergaard over de historie, de topografie, het klimaat, de geofysica, het landschap en het huidige energiegebruik (bovenste rij). Deze basisgegevens bieden mogelijkheden voor energieopwekking of -opslag. Vervolgens zijn voor verschillende energiebronnen -

zon, wind, water, bodem, natuur en landbouw, bebouwing en industrie en ten slotte infrastructuur (tweede rij) – de potenties verticaal uitgewerkt per energievorm: brandstof (derde rij), elektriciteit en elektriciteitsopslag (vierde rij), warmte, koude en warmte/koudeopslag (vijfde rij) en eventueel CO₂-afvang (zesde rij). De potentiekaarten zijn horizontaal per energievorm uitgewerkt. Alle potentiekaarten worden samengevoegd tot een energiepotentiestapel. Met behulp van deze energiepotentiestapel wordt uiteindelijk een energiegebaseerd planvoorstel gedaan.



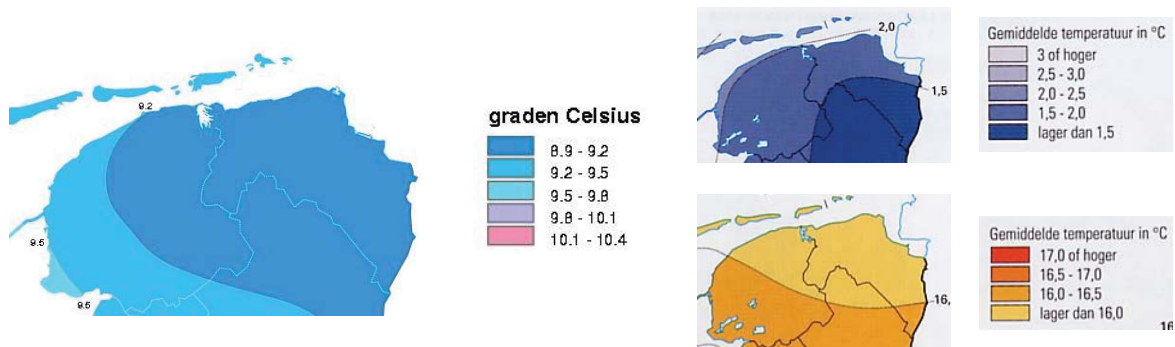
Figuur 05: Methodiek van de energiepotentiestudie

02 BASISINFORMATIE GRONINGEN

02.01 Klimaat

02.01.01 Temperatuur

De provincie Groningen ligt in de relatief koudere zone van Nederland, waar een gemiddelde temperatuur van 8,9 tot 9,2°C geldt (figuur 06). In de winter en zomer zijn de gemiddelde temperaturen voor Groningen 1,5-2,0°C respectievelijk 16,5°C.



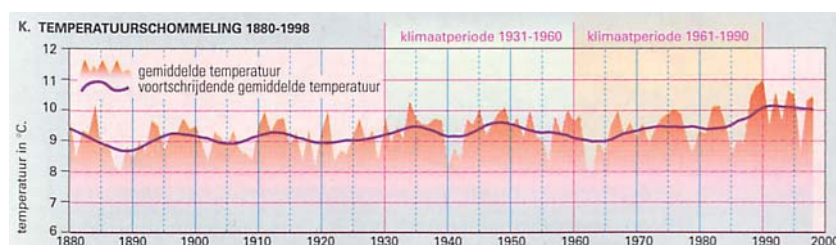
Figuur 06: Gemiddelde jaartemperaturen (links) [KNMI, 2007] en gemiddelde temperaturen in januari (rechtsboven) en in juli (rechtsonder) [Wolters Noordhoff, 2005]

Tabel 01 geeft een verdere specificering van de temperaturen gedurende het jaar.

Tabel 01: Temperatuurkarakteristieken door het jaar heen, voor Eelde [gebaseerd op KNMI]

jan	feb	mrt	mar	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	winter	lente	zomer	herfst	jaar
Temperatuur																
Gemiddelde temperatuur																
2.0	2.1	4.9	7.5	11.9	14.4	16.5	16.5	13.5	9.6	5.5	3.2	2.4	8.1	15.8	9.5	9.0
Gemiddelde minimum temperatuur																
-0.8	-0.8	1.2	2.7	6.5	9.1	11.3	11.1	8.8	5.6	2.5	0.5	-0.4	3.5	10.5	5.6	4.8
Gemiddelde maximum temperatuur																
4.4	5.0	8.6	12.2	17.0	19.4	21.4	21.9	18.2	13.5	8.4	5.5	5.0	12.6	20.9	13.4	13.0

Deze waarden van figuur 06 gelden voor de normaalperiode 1975-2005 en zijn ten opzichte van vandaag dus gebaseerd op wat oudere gegevens. Figuur 07 laat zien dat er de laatste decennia in de gemiddelde temperatuur een lichte stijging is opgetreden. Gezien de nog verwachte klimaatverandering zal de gemiddelde temperatuur verder toenemen. Dit heeft natuurlijk consequenties voor de behoefte naar warmte en koude en daarmee het gebruik van energiebronnen.

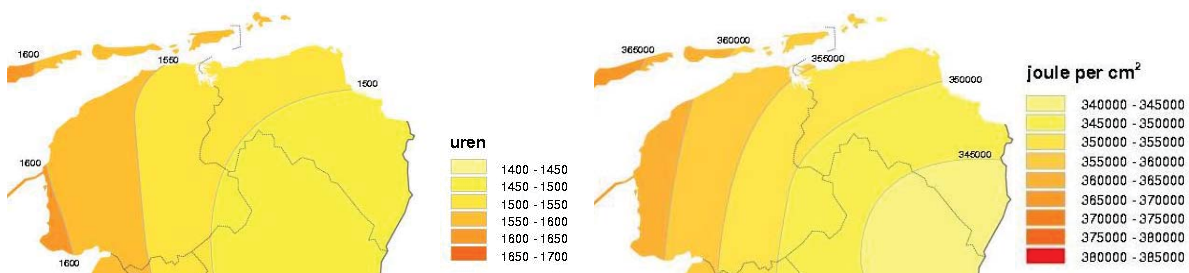


Figuur 07: De gemiddelde Nederlandse temperatuur sinds 1880 [Wolters Noordhoff, 2005]

De vraag naar koeling zal in de toekomst toenemen, vooral in verstedelijkte gebieden, waar de temperatuur buitenproportioneel zal stijgen, waarmee een vicieuze cirkel kan ontstaan. Meer warmte vraagt namelijk om koelinstallaties die weer aan de omgeving warmte afgeven en daarmee de vraag naar koeling doen toenemen. En dat zal tot een groter energiegebruik leiden omdat koeling per graad temperatuurverschil meer energie vraagt. Het is voor de toekomst daarom bijzonder belangrijk om op passieve – stedenbouwkundige en bouwkundige wijze – de behoefte aan koeling te voorkomen.

02.01.02 Zon

De provincie Groningen ligt in een voor Nederland net iets minder dan gemiddeld bezond gebied met 1450-1550 zonne-uren per jaar, de energie-intensiteit van de straling bedraagt rond de 350 kJ/cm², dit komt overeen met zo'n 972 kWh/m² ook net onder het Nederlandse gemiddelde, zoals figuur 08 toont.



Figuur 08: Gemiddelde jaarlijkse zonne-uren (links) en de energie-inhoud van zonnestraling (rechts) rondom Groningen [KNMI, 2007]

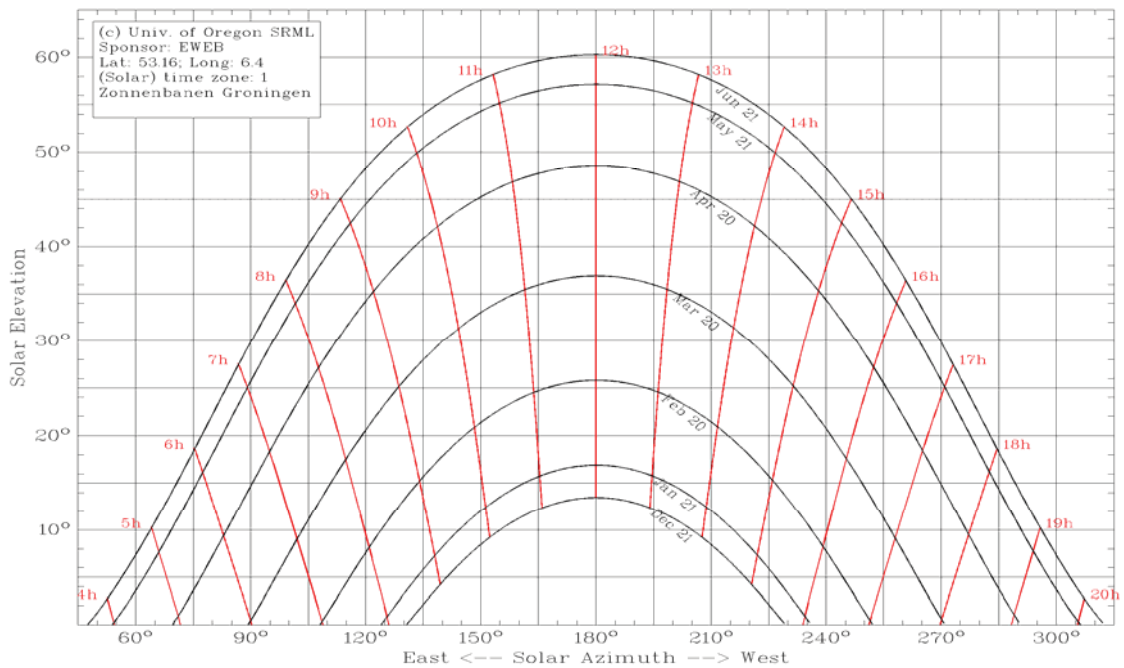
Tabel 02 geeft een nadere specificering van de zonnekarakteristieken. Vooral interessant is de instralende zonne-energie, die over een jaar genomen bijna 1000 kWh/m² bedraagt.

Tabel 02: Zonneschijnkarakteristieken door het jaar heen, voor Eelde [gebaseerd op KNMI]

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	winter	lente	zomer	herfst	jaar	
Zon																	
Globale straling in Joule/cm2																	
6505	12577	24140	38975	52587	52142	52601	46208	29812	17551	8084	4822	23904	115702	150951	55447	346004	J/cm2
2.1	4.0	7.6	12.4	16.7	16.5	16.7	14.6	9.4	5.6	2.6	1.5	7.6	36.7	47.8	17.6	109.6	W/m2
18	35	67	108	146	145	146	128	83	49	22	13	66	321	419	154	961	kWh/m2
Zonneschijnduur in uren																	
46.7	72.1	108.4	156.1	203.7	182.1	189.6	189.4	129.1	98.6	56.3	39.3	158.1	468.2	561.1	284	1471.4	h
Zonneschijnduur in procenten van de langst mogelijke duur																	
18	26	30	37	41	36	37	41	34	30	21	17	20	36	38	28	31	%

Voor een duurzaam stedenbouwkundig en architectonisch ontwerp zijn daarnaast kennis van de zonnebaan gedurende de seizoenen en de dag van groot belang. Figuur 09 geeft die zonnebanen voor 53° noorderbreedte, waarop (de stad) Groningen ligt. In de zomer bereikt de zon een maximale hoogte van ruim 60°, waarbij de zon van noordoost naar noordwest draait; op 21 december bereikt de zon een hoogte van maximaal 14°, met een loop van zuidoost naar zuidwest.

Dit lijkt triviaal, maar het is verbazingwekkend te merken dat ontwerpers meestal vergeten de noodpeil op hun tekeningen te zetten en in dat geval ook geen idee hebben hoe de zon zich ten opzichte van hun ontwerp beweegt. Met klimaatverandering, waar voorkomen van koeling steeds belangrijker wordt en energie zoals wij die gewend zijn te gebruiken steeds minder voorradig is, is begrip van de zon een eerste vereiste.



Figuur 09: Zonnebanen door het jaar heen, voor 53° noorderbreedte [University of Oregon]

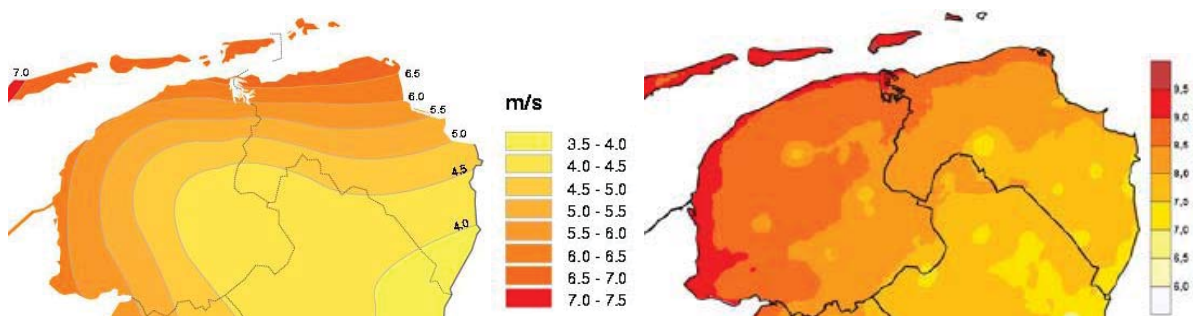
Uit zonnebanen is voor ieder moment op het jaar af te lezen, wat de zonnehoogtehoek en de azimuthhoek (zonnebreedtehoek, het exacte zuiden ligt op 180°) bedraagt, daarmee dus ook de hoogste zonnestanden in de zomer en de winter. Tevens is voor iedere dag het aantal uren zonlicht af te lezen.

Dit zijn allemaal belangrijke gegevens bij de toepassing van passieve en actieve zonne-energie.

De zonnebanen uit figuur 09 gelden voor de Provincie Groningen. Er geldt dat de zonnebaan van mei overeen komt met die van juli, die van april met augustus, die van maart met september, die van februari met oktober en die van januari met die van november.

02.01.03 Wind

Figuur 10 geeft twee kaarten voor de gemiddelde windsnelheid op 30 m hoogte (links) en op 100 m hoogte (rechts). De eerste is van belang voor het comfort op leefniveau en voor kleine, gebouwgebonden windturbines; de tweede gaat over de hoogte waarvandaan grote windturbines hun energie halen.



Figuur 10: Gemiddelde jaarlijkse windsnelheden rondom Groningen, op 30 m hoogte (links) [KNMI, 2007], en op 100 m hoogte (rechts) [SenterNovem, 2006]

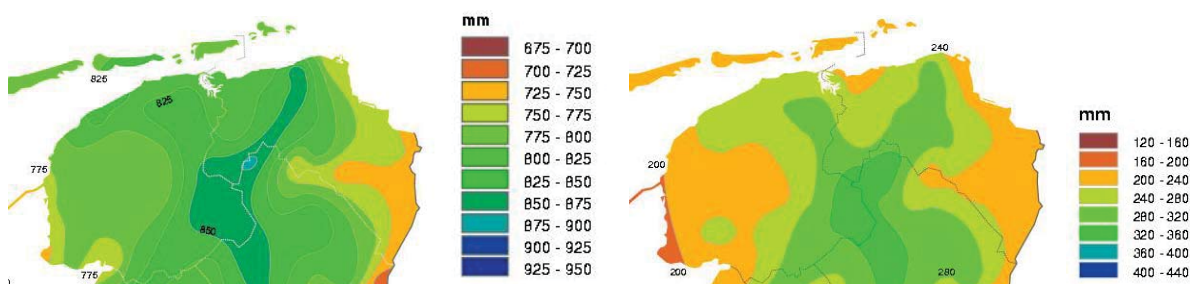
Tabel 03 geeft meer detailinformatie over de wind op 30m hoogte in Eelde.

Tabel 03: Windkarakteristieken door het jaar heen op 30m hoogte, voor Eelde [gebaseerd op KNMI]

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	winter	lente	zomer	herfst	jaar	
Wind																	
Gemiddelde windsnelheid in m/s																	
5.5	5.0	5.2	4.6	4.1	4.0	3.9	3.7	3.8	4.1	4.9	5.3	5.3	4.6	3.9	4.3	4.5	m/s
Aantal dagen met windsnelheid =>4 Bft																	
23	20	23	23	22	21	21	19	17	18	20	22	65	68	61	55	249	d

02.01.04 Neerslag

Neerslagpatronen (figuur 11) zijn van belang in het kader van klimaatkarakteristieken en wateroverlast. Het gevaar van zeespiegelstijging speelt ook in Groningen en toenemende afvoer van regenwater en verschillen in neerslag tussen de seizoenen zijn van belang voor de ruimtelijke inrichting en het energieregime in de regio.



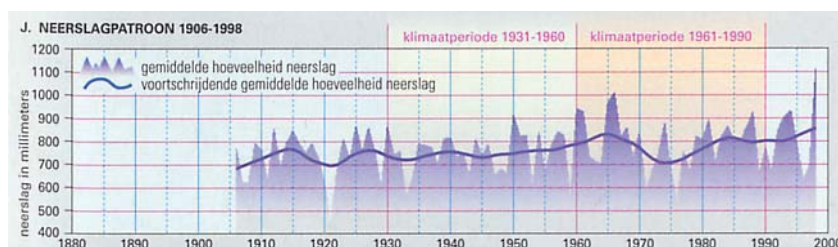
Figuur 11: Gemiddelde jaarlijkse neerslag (links) en het jaarlijkse neerslagoverschot (rechts) rondom Groningen [KNMI]

Tabel 04 geeft meer gedetailleerde informatie over neerslag gedurende het jaar.

Tabel 04: Neerslagkarakteristieken door het jaar heen, voor De Bilt [gebaseerd op KNMI]

jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	winter	lente	zomer	herfst	jaar	
Neerslag																	
Gemiddelde neerslaghoeveelheid (mm)																	
69.0	44.9	61.3	44.1	57.5	72.6	73.0	56.6	71.8	69.8	78.1	75.0	188.9	162.9	202.2	219.7	773.7	mm
Gemiddelde neerslagduur (h)																	
68.8	48.0	63.7	41.8	39.8	45.7	36.1	30.4	48.8	55.9	70.2	71.1	187.9	145.3	112.2	174.9	620.3	h
Gemiddelde neerslagduur (%)																	
9	6	9	6	5	6	5	4	7	8	9	10	8	7	5	8	7	%

Tabel 04 kon wel eens ingrijpend wijzigen onder invloed van de veranderingen in het klimaat. Gemiddeld neemt de neerslag toe (zie figuur 12). Algemene verwachtingen [KNMI, 2007] zijn drogere perioden in de zomer en nattere in het najaar en de winter. Dat kan voor de landbouw betekenen dat seizoensbuffering van neerslag moet plaatsvinden.

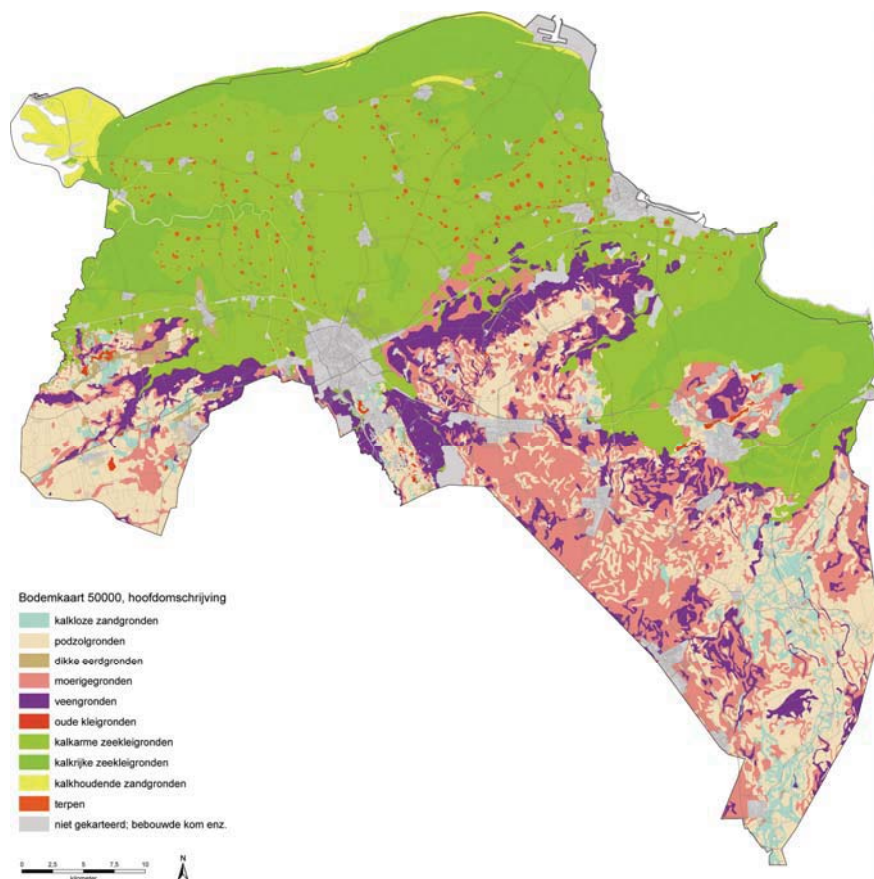


Figuur 12: Nederlandse neerslagstatistieken sinds 1880 [Wolters Noordhoff, 2005]

02.02 Ondergrond

02.02.01 Grondsoorten

De bodem in het noordelijk deel van Groningen bestaat grotendeels uit kleigronden. Het zuidelijke deel bestaat uit een mengeling van voornamelijk veen-, podzol- en moerige gronden. Podzolgronden zijn zandgronden waarvan de bovenkant uit een humusachtige laag bestaat. Moerige gronden bevatten een mengsel van zand en veen.



Figuur 13: Grondsoorten van de provincie Groningen [provincie Groningen]

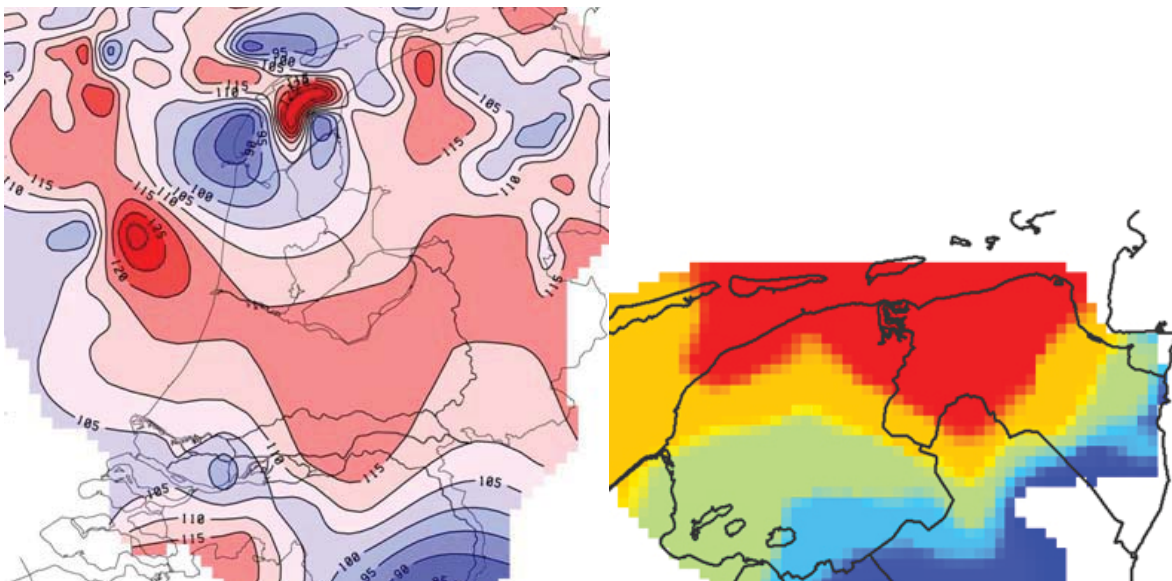
02.02.02 Diepe ondergrond

Uit figuur 14 blijkt dat er in de gehele provincie Groningen gas in de ondergrond aanwezig is. De gasvelden liggen op ongeveer 3 km diepte. Op de zuidelijke grens van de provincie bevinden zich kleine olievelden.



Figuur 14: Vergunningen voor winning van fossiele brandstoffen [NAM]

Op dezelfde diepte (3000 m) bevinden zich de Rotliegend aquifers, waarvan figuur 15 de temperaturen toont. Groningen heeft een temperatuur van rond 105°C, een prima temperatuur voor allerlei toepassingen, maar dat wil niet zeggen dat de potentie dan ook goed is, dat hangt onder andere af van de dikte van het watervoerende pakket. De figuur rechts geeft bijvoorbeeld de potentie om warmte te winnen uit deze diepe lagen, die is richting het noordwesten van Groningen bijzonder goed.



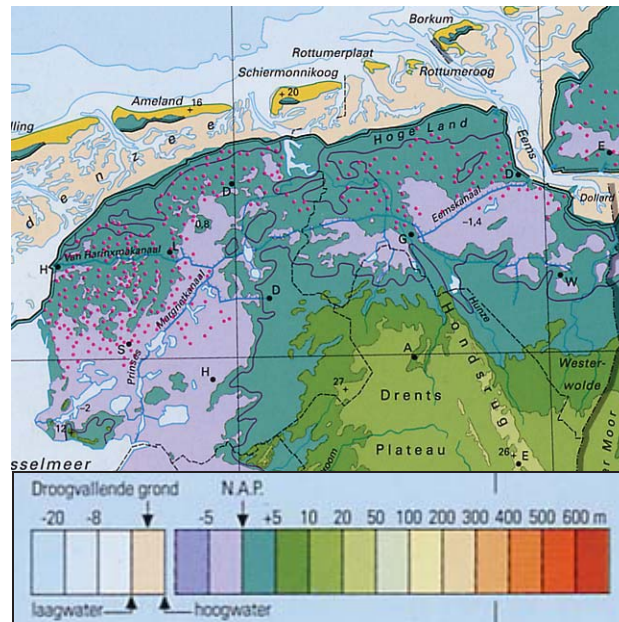
Figuur 15: temperaturen (in graden Celsius) op 3000 m diepte (links) [TNO Bouw en Ondergrond] en geschiktheid van de bodem voor aardwarmte uit diepe aquifers (rechts) [o.b.v. TNO en NAM]

Gasboorpunten die buiten gebruik zijn geraakt doordat de gasvelden uitgeput zijn, kunnen in de toekomst misschien ingezet worden om de warmte uit deze dieptes inzetbaar te maken.

02.03 Grondgebruik

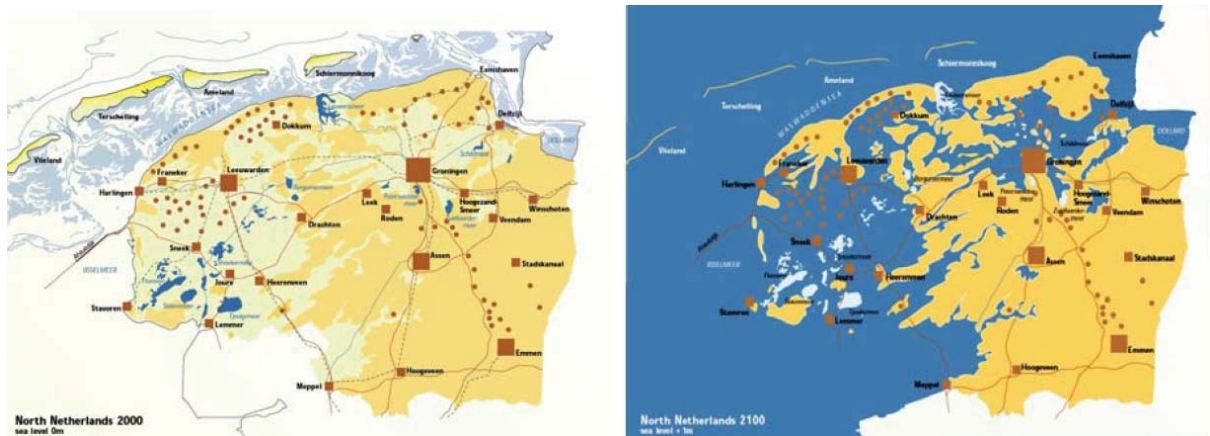
02.03.01 Reliëf

Figuur 16 geeft het reliëf van rondom Groningen. Groningen ligt grotendeels rondom het NAP. Het zuidoosten van de provincie is wat hoger gelegen.



Figuur 16: Reliëfkaart van Groningen [Wolters Noordhoff, 2005]

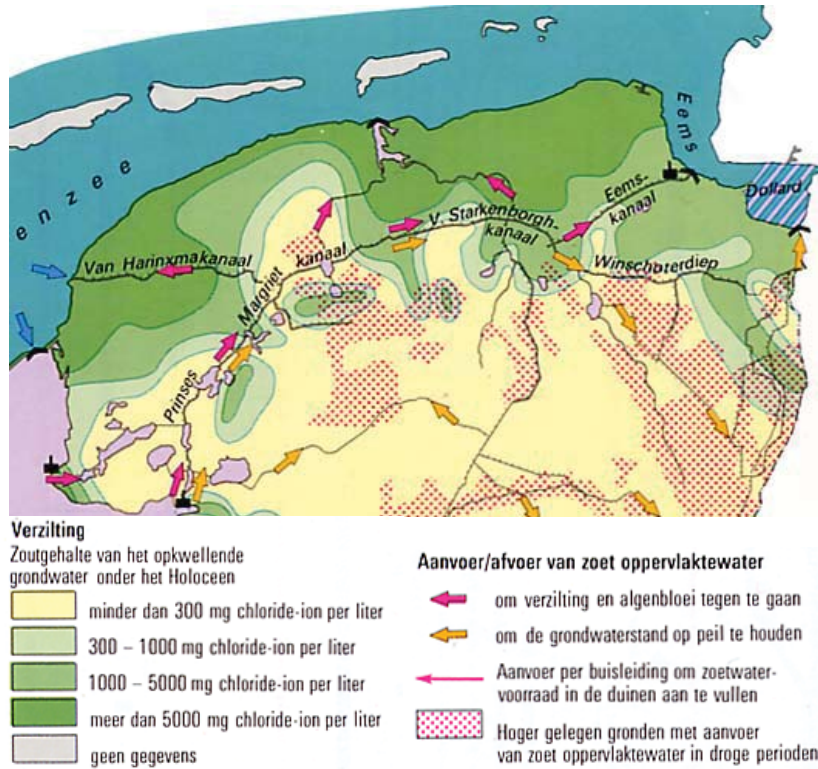
Volgens het International Panel of Climate Change is het zeer waarschijnlijk dat door de op handen zijnde klimaatverandering, die mede door de menselijke CO₂-uitstoot veroorzaakt wordt, de aarde enkele graden warmer zal worden en de zeespiegels hierdoor zullen stijgen [IPCC, 2007]. Ook voor de provincie Groningen kan dit verstrekkende gevolgen hebben, zoals onderstaande figuur toont. Grote delen van Groningen komen bij een dijkdoorbraak bij een gestegen zeespiegel onder water te staan.



Figuur 17: Links Noord-Nederland anno 2000, rechts, Noord-Nederland anno 2100 bij een zeespiegelsteiging van 1 meter, na dijkdoorbraak [Dobbelsteen, 2008]

02.03.02 Waterbeheer

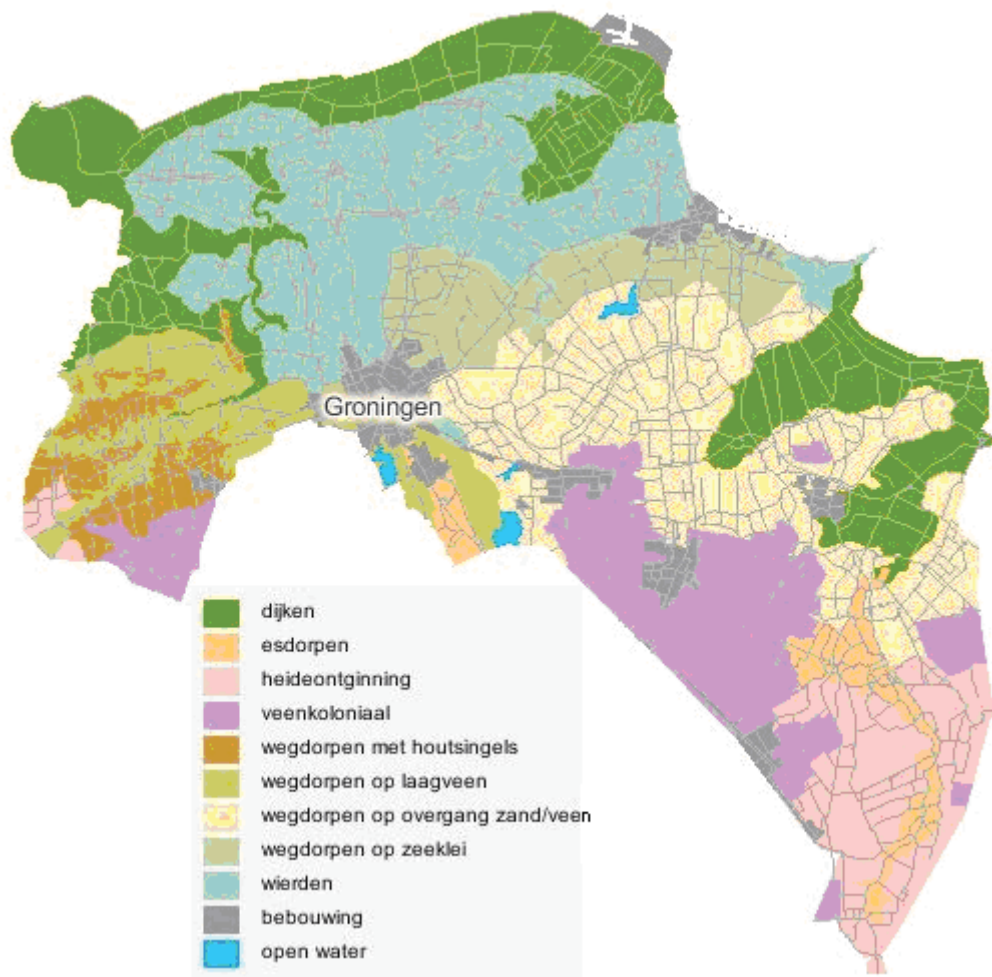
Figuur 18 geeft het principe van de waterhuishouding in Groningen. Het grondwater in het noorden bevat bijzonder veel chloride, dit wordt via het Eemskanaal en het Reitdiep afgevoerd naar de Eems en de Waddenzee. Om de grondwaterstand in het hoger gelegen zuidoosten op peil te houden, wordt hierheen zoet water aangevoerd.



Figuur 18: Waterhuishouding in Groningen [Wolters-Noordhoff, 2005]

02.03.03 Landschapstypen

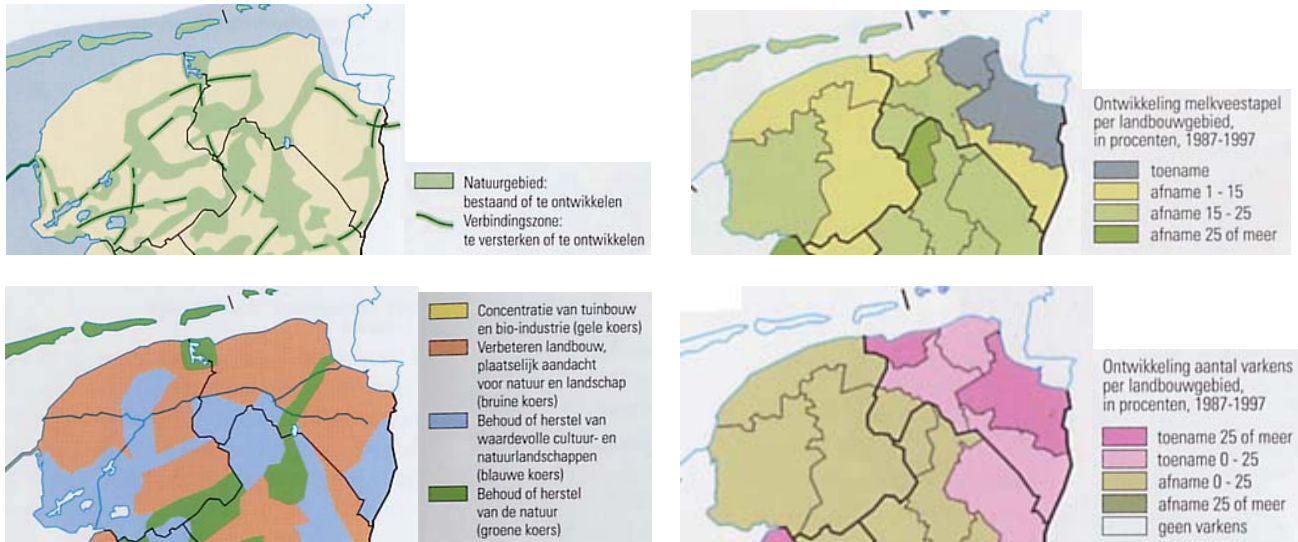
In figuur 19 zijn schematisch de landschapstypen van de provincie Groningen te zien.



Figuur 19: Landschapstypen in de gemeente Groningen

02.03.04 Natuur en landbouw

Van figuur 20 is vooral de rechterkant interessant. Terwijl in Nederland de veeveelt over het algemeen terugloopt, neemt in Groningen de hoeveelheid varkens toe en ook de melkveestapel in het noordoostelijk deel. Dit biedt mogelijkheden ten aanzien van de inzet van biovergistingsinstallaties en decentrale bio-warmte-krachtkoppeling.



Figuur 20: De ecologische hoofdstructuur (linksboven), koers landelijk gebied (linksonder), de ontwikkeling van de melkveestapel (rechtsboven) en van het aantal varkens (rechtsonder), alle Groningen [Wolters-Noordhoff, 2005]

02.03.05 Infrastructuur

De grootste spoorlijn in Groningen is de lijn van Groningen naar Zwolle en Utrecht. Daarnaast lopen ongeëlektrificeerde spoorlijnen van Groningen naar Leeuwarden, Delfzijl, Roodeschool en Nieuweschans. De A7 doorloopt Groningen van oost naar west, richting Heerenveen of Duitsland. Vanuit de stad Groningen loopt de A28 naar het zuiden richting Zwolle.

Figuur 21 geeft links de intensiteit van het wegverkeer in 1999, volgens de rechterfiguur is de groei van het verkeer op de A7 procentueel als een van de grootste toegenomen. Sinds 1999 is dit verder doorontwikkeld.



Figuur 21: Intensiteit van het wegverkeer (links) en de mate waarin wegverkeer is toegenomen in de laatste jaren (rechts) [Wolters-Noordhoff, 2005]

02.04 Het huidige energiesysteem

Energiemix

Nederlandse elektriciteit komt voor 93% uit fossiele bronnen (tabel 05); slechts een kleine 2% is duurzaam opgewekt. Van de ons omringende landen wekt Duitsland de meeste duurzame stroom op: 14%, maar ook België wekt meer duurzame stroom op dan Nederland: 9%. Frankrijk haalt zijn stroom voor 80% uit nucleaire centrales, maar voegt daar toch nog 12% duurzame stroom aan toe.

*Tabel 05: Energiemix van brandstoffen voor elektriciteit, in Nederland en zijn burens
[Capgemini, 2006]*

energiebron	Nederland	Frankrijk	Duitsland	België
gas	60%	3%	11%	25%
steenkool	30%	4%	22%	15%
bruinkool	0%	0%	25%	0%
olie	3%	1%	2%	0%
nucleair	4%	80%	26%	51%
water/wind/zon/biomassa	1%	12%	9%	4%
hydro (krachtcentrale)	1%	0%	5%	5%
andere	1%	0%	0%	0%

Bronnen NL: [The Western European Electricity Market Outlook, Reuters Business Insights, 2005] [The future of power generation, Reuters Business Insights, 2005] [Capgemini] [Projected cost of generating electricity, 2005] [Capgemini, European Energy Markets Observatory (EEMO), 2005]; Bronnen F: [Statistiques énergétiques France, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 2005] [Rapport d'enquête les prix de l'électricité, Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Énergie, 2004] [Capgemini, 2006]; Bronnen D: [Statistisches Bundesamt, 2003] [Energietechnische Gesellschaft im VDE (VDE ETG), 2005] [Power Intensity: Fraction of the electricity costs on the gross value added, Business Insights Reuters]; Bronnen B: [The Western European Electricity Market Outlook, Reuters Business Insights, 2005] [The Future of Power Generation, Reuters Business Insights, 2005] [Capgemini, 2006]

Interessant en gerelateerd aan de energiemix is dat de Nederlandse basisprijs het hoogst is van Europa, maar dat de belasting aan grootverbruikers echter nihil is [Capgemini, 2006]; bij andere landen liggen die belastingen veel hoger, vaak verbonden aan stimuleringsregelingen voor duurzame stroom. Het is dus een misvatting dat Nederland voorop loopt op het gebied van een duurzame energievoorziening.

Energievoorziening in breed perspectief

Nederland haalt zijn energie tegenwoordig al lang niet meer alleen uit fossiele bronnen van eigen bodem (aardgas, olie, kolen). Voorbeelden hiervan zijn Noorse waterstroom, stroom van Oekraïense kolen, Siberisch aardgas, Portugese en Spaanse zonnestroom en stroom van IJslandse geisers. Europa is tegenwoordig een groot netwerk van elektriciteits- en gasleidingen, en de verschillende landen zijn onderling afhankelijk van elkaar voor aanbod en afname van energie. Op intercontinentale schaal speelt daarbij ook het grootschalige transport over zee van kolen, olie en gas, de laatste in de vorm van *liquified natural gas*, LNG. Energie is een van de belangrijkste mondiale handelsgoederen.

03 ENERGIEBRONNEN EN -TECHNIEKEN

03.01 Zon

03.01.01 Elektriciteit van de zon

Technieken

Om elektriciteit uit zonnestraling te halen, kunnen photovoltaïsche cellen (PV-cellen) worden gebruikt, waarvoor verschillende varianten bestaan: polykristallijn, amorf of een mengvorm. Het rendement van panelen waarin deze cellen zijn opgenomen – er bestaan ook matten van amorfe folies – hangt af van het type. In laboratoria en optimale omstandigheden worden rendementen tot ongeveer 30% gehaald. De meest toegepaste PV-cellen zijn de polykristallijne siliciumcellen, deze hebben een praktisch rendement van rond de 15%; dit komt neer op een opbrengst van ongeveer 100 kWh per m² paneel per jaar (goed georiënteerd). PV-panelen hebben een wat lager rendement dan de individuele cellen. Bij amorfe siliciumcellen – die veel goedkoper zijn – is het rendement ongeveer 6%. Ter vergelijking: het maximale rendement van elektriciteit uit biomassa ligt rond de 0,5% (0,5% van de zonne-energie die de biomassa bereikt, wordt uiteindelijk stroom) [EPM Almere, 2008]. Door verdere doorontwikkelingen blijven de rendementen van de PV-cellen telkens stijgen terwijl de kosten per m² gestaag dalen.

Centrale zonnestroomproductie

Uitgerekend is dat als we heel Nederland theoretisch zouden volleggen met PV-panelen, wij daarmee de hele wereld van stroom zouden kunnen voorzien. In Nederland is op lange termijn het potentieel aan zonnepanelen 700 km² (huidige technieken); daarmee kan 58.000 GWh worden opgewekt: 15.500 GWh in de gebouwde omgeving en 42.500 GWh op overige locaties [KPMG, 1999]. Dit is momenteel alleen een onbetaalbare oplossing.

Decentrale zonnestroomproductie

Ondanks een beperkte energiedichtheid van zonnestraling en een PV-omzettingsrendement van ongeveer 15%, kan elektriciteit van de zon een belangrijke rol spelen in de energievoorziening van decentrale, kleinschalige kernen en gebouwen. Een gemiddeld huishouden verbruikt jaarlijks ongeveer 3500 kWh. Veel daken hebben voldoende ruimte om 35 m² aan zonnepanelen te plaatsen, wat in de volledige elektriciteitsvraag kan voorzien. Voor individuele boerderijen kan een combinatie van PV-panelen en kleine windturbines al voor een groot deel voorzien in de elektriciteitsbehoefte. Met de toepassing van thermische PV-panelen (PVT-panelen) kan bovendien warmte worden gewonnen.

Aangezien PV-panelen primair laagspanning van 12 V opwekken, het transport hiervan tot relatief grote spanningsverliezen leidt en omzetting naar 220V wisselspanning rendementsverlies oplevert, verdient het aanbeveling om meer onderzoek te doen naar de mogelijkheden van gebouwen die volledig of grotendeels op laagspanning functioneren. Dit temeer daar veel elektrische apparaten tegenwoordig adapters nodig hebben die netspanning weer omzetten naar lage gelijkspanning, wat niet nodig zou zijn als lokaal laagspanning beschikbaar is. Er zijn aan de TU Delft afstudeerprojecten geweest die het realiseren van een laagspanningswoning of –kantoor als onderwerp hadden.

Potentieel

Het potentieel van te produceren elektriciteit uit zonnestraling met huidige technieken volgt hier.

De globale jaarlijkse zoninstraling per vierkante meter horizontaal vlak ligt in Groningen rond de 965 kWh/m², dit komt overeen met een vermogen van $(965 \cdot 10^3 \text{ Wh} / 8766 \text{ h} =) 110 \text{ W/m}^2$. Per hectare is dit 1108 kW. Behalve het omzettingsrendement van een (kristallijne) PV-cel (15%) zijn er verschillende factoren die het totale potentieel verminderen [Broersma, 2008]:

- redelijk optimale oriëntatie: 95%

- daadwerkelijk oppervlak van PV-cellen in panelen: 90%
 - mismatchfactor (opbrengstverliezen door te hoge temperatuur en beschaduwing): 90%
 - factor voor verliezen in kabels en bij de inverter (omzetter van DC naar AC): 85%
- Zo haalt een PV-dak uit het vermogen van 1108 kW/ha: $(0,15 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,85 \cdot 1108 =)$ 109 kW/ha, of 10,9 W/m² (in energietermen komt dit neer op een kleine 100 kWh/m²). Als zonnestroom wordt opgeslagen (bijvoorbeeld in batterijen) blijft daar nog 40-70% van over.
- Samenvattend het realistisch potentiële vermogen per hectare:
- 109 kW/ha indien direct gebruikt
 - 43-76 kW/ha inclusief opslag

Het potentieel van zonnestroom in open velden en op daken in de bebouwde omgeving kan als volgt worden berekend (SI-eenheden, dus oppervlakte in m²):

$E_{z\text{on,PV}} =$	96 kWh/jaar*m ²	(10.9 W/m ²)
-----------------------	----------------------------	--------------------------

Toepassingsmogelijkheden

PV zonnepanelen kunnen op vlakke en schuine daken toegepast worden. Andere plaatsingsmogelijkheden zijn boven parkeerplekken, in PV-parken en in gevelglas. De optimale positionering van de panelen in Nederland is op 36° graden t.o.v. het horizontale vlak, op het zuiden gericht. Hier kan redelijk ver van afgeweken worden om nog een goede opbrengst te krijgen. Een helling van 50° op het zuidwesten gericht heeft nog 90% van de opbrengst van de optimale oriëntatie. Voor optimale benutting van de modules bij een plat dak, kan ongeveer 1/3 van het oppervlak van het dak met PV worden bekleed, zodat er geen noemenswaardige 'mismatch' door schaduw optreedt. Direct opvoeren van de opgewekte elektriciteit aan het net heeft de voorkeur maar vereist flexibele aanbieders van netstroom.

Onlangs heeft de minister van VROM bekend gemaakt dat de succesvolle regeling voor opbrengstvergoeding voor zonnestroom (een vast bedrag per opgewekte kWh) wordt vervolgd. De subsidie was binnen een paar maanden op, maar krijgt dus een vervolg, waarmee het voor particulieren interessant blijft om te investeren in PV.

03.01.02 Warmte van de zon

De 110 Watt per vierkante meter die Groningen gemiddeld van de zon ontvangt kan behalve voor de elektriciteitsvoorziening ook direct worden gebruikt als warmte voor gebouwen, via passieve zonne-energie (het vangen van zonnestraling via glas en massa in het gebouw) of actieve thermische zonne-energie (via een zonnecollector). Het Rijk wil in 2020 1 miljoen zonneboilers geplaatst hebben. Reeds genoemd zijn PVT-panelen, die winning van zowel elektriciteit als warmte van de zon mogelijk maken.

Potentieel

Het potentieel aan zonnewarmte is thermodynamisch gezien ongeveer 60%, dus $(0,6 \cdot 1140 =)$ 684 kW/ha. Praktijkrendementen liggen daaronder, tussen 350 en 500 kW/ha (35-50 W/m²). De efficiëntie van de toepassing hangt sterk af van de lokale omstandigheden (oriëntatie en belemmeringhoeken door bebouwing en groen).

Per gemiddelde zonneboiler wordt ongeveer 200 m³ aardgas bespaard. Dat komt neer op 1780 kWh_{pr} of 6,4 GJ totaal per jaar per huishouden.

Het potentieel op daken en in het veld kan als volgt worden bepaald:

$E_{z\text{on,thermisch}} =$	350 kWh _{pr} /jaar*m ²	(40 W/m ²)
------------------------------	--	------------------------

Toepassingsmogelijkheden

Zonneboilers kunnen net als PV op vlakke en schuine daken worden geïnstalleerd. Schuine daken bij voorkeur 36° t.o.v. horizontaal, idealiter naar het zuiden gericht maar 45° afwijking is acceptabel. Voor optimale benutting van de modules kan weer ongeveer $1/3$ van een plat dak met zonneboilers worden bekleed.

03.02 Wind

Technieken

Om elektriciteit uit wind te kunnen halen bestaan er twee soorten turbines: weerstandgedreven en liftgedreven turbines. De laatste – waaronder moderne windmolens en kleine turbines zoals de Turby en Darraeus – hebben een grotere opbrengst. De meeste grote windturbines die momenteel worden geplaatst in windparken hebben ieder een maximaal vermogen van 1 of 2 MW, met een rotordiameter tot 100 m. Op zee zijn nog grotere molens mogelijk met een rotor van 150 m, en deze hebben een vermogen van 5 MW. Denemarken (23% van de totale elektriciteitsvraag komt daar uit windenergie) heeft al veel van deze reuzen in het water staan. Kleinere windturbines zijn geschikt om in de gebouwde omgeving te plaatsen, vooral bij afgezonderde kernen of boerderijen.

Grote windturbines

De opbrengst van een windturbine is zeer gevoelig voor de windsnelheid, omdat deze evenredig is met de 3^e macht van die windsnelheid. Grotere turbines bevinden zich op grotere hoogte en dus in een windrijker omgeving, wat een belangrijke reden is voor de daling van de opwekkingsprijs met de turbinegrootte.

Het vergt een complexe evaluatie om de potentiële opbrengst op locatie te berekenen, gegeven niet alleen de gemiddelde windsnelheid, maar ook de windfrequentieverdeling. Bovendien moet rekening gehouden worden dat een beperkt aantal turbines op een gebied kunnen staan om elkaar niet (te veel) te beïnvloeden. Ter indicatie een tabel naar meetgegevens uit 'cijfers en tabellen 2007'.

Tabel 06: Gemeten jaarlijkse opbrengsten uit wind per hectare [naar 'cijfers en tabellen 2007', 2007]

Diameter (m)	P _{max} (MW)	Opbrengst (MWh)	Opp./turbine (ha)	N _{turb./ha}	MWh/ha
		goede locatie (8,5 m/s)	(afstand turbines: 5xDiameter)		
18	0.08	200	0.8	1.23	247
30	0.25	600	2.3	0.44	267
40	0.5	1100	4.0	0.25	275
55	1	2000	7.6	0.13	264
80	2	4400	16.0	0.06	275

Rekening houdend met een minimale afstand tussen verschillende windmolens, van 5 maal de diameter van de turbine is aan de hand van gemeten gegevens de potentieel haalbare opbrengst per hectare bepaald bij volledige bezetting van een gebied. In tabel 6 is te zien dat voor al de grotere turbines, die ongeveer op dezelfde hoogte (100m) hun wind vangen, een maximale opbrengst van 275 MWh/ha op een goede locatie hebben. Hierbij wordt uitgegaan van een jaarlijks gemiddelde windsnelheid van 8,5 m/s.

Met deze gegevens kan voor iedere locatie bepaald worden wat daar de te verwachten opbrengst zal zijn aan de hand van de evenredigheid van de windsnelheid tot de derde macht en de opbrengst.

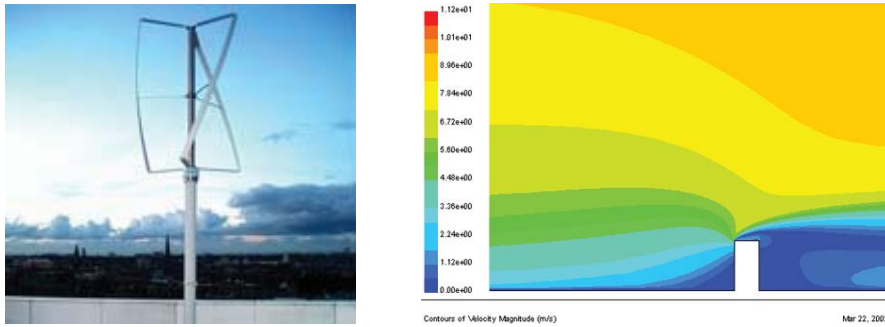
De gemiddelde windsnelheid in Groningen bedraagt zo'n 8 m/s, de potentiële opbrengst is hiermee 228 Mwh/ha. Aan de kust zijn de gemiddelde snelheden aanmerkelijk hoger dan in het binnenland en zijn de potenties per turbine dus ook veel hoger.

Kleinschalige windturbines

De maximale hoeveelheid elektrische energie die meer in de bebouwde omgeving, op 30m hoogte op te wekken is d.m.v. kleine windturbines is lastiger te bepalen. Op deze hoogte worden weer andere turbines ingezet, waarvan lastiger te bepalen is hoeveel er per hectare geplaatst kunnen worden. Teruggerekend met de gegevens van tabel 6, zou bij een windsnelheid van 5 m/s, die gemiddeld voor Groningen geldt op 30m, de potentiële elektrische energie uit wind ongeveer 56 MWh/ha bedragen. Binnen deze context is het echter logischer om naar de potentiële opbrengst per windturbine te kijken.

Een geschikte kleine windturbine die boven op gebouwen toepasbaar is, is de 'Turby', een turbine met verticale as die vrijwel ongevoelig is voor de windrichting. Deze levert op de lagere hoogte

binnen de bebouwde kom nog relatief goede opbrengsten door de verhoogde turbulentie. Een Turby kan, goed gepositioneerd, jaarlijks 5000 kWh opwekken. Figuur 22 toont een Turby en de verhoogde turbulentie en windsnelheid op een gebouw.



Figuur 22: Links een Turby, rechts schematisch de verhoogde windsnelheden op daken [www.Turby.nl]

Het potentieel van wind met grote turbines (100 m hoog, 2 MW) in het vrije veld en kleine in de bebouwde omgeving kan als volgt worden bepaald:

$$P_{\text{wind,groot}} = N_{\text{turbine}} * 0,44 \text{ [MW]} \quad \text{of} \quad P_{\text{wind,vrij}} = A * 27,5 \text{ [W]}$$

$$P_{\text{wind,klein}} = N_{\text{turby}} * 5 \text{ [kW]} \quad \text{of} \quad P_{\text{wind,klein}} = A * 6 \text{ [W]}$$

Spanningsnetten

De structuur van hoog-, midden- en laagspanningsnetten heeft consequenties voor de mogelijkheden voor terugleveren van lokale productie aan het net. Terugleveren moet plaatsvinden op het gegeven spanningsniveau en mag qua vermogen niet het maximaal lokaal inpasbare vermogen overschrijden. Zo bleek het in het verleden niet mogelijk om windturbines van circa 100 kW maximaal vermogen in te passen op de laagspanningsnetten op het platteland. In het stedelijke laagspanningsnet kunnen dergelijke vermogens dan zonodig ingezet worden voor het extra gebruik van warmtepompen of koelapparaten.

Hogere vermogens vergen dus aanpassing van het laagspanningsnet en upgradering van de transformatoren of een directe verbinding met het middenspanningsnet (leiding en aansluiting). Derhalve bepaalt de nabijheid van middenspanningsleidingen mede het potentieel van solitaire grotere windturbines. Voor windparken wordt in ieder geval een eigen aansluiting gerealiseerd, maar de schaalgrootte maakt deze ook financierbaar.

03.03 Water

03.03.01 Elektriciteit uit water

Er bestaan verschillende technieken waarmee energie, in de vorm van elektriciteit kan worden gewonnen uit water.

De meest bekende techniek heeft te maken met het halen van kracht uit waterverplaatsing, waarbij dat door hoogteverschillen, natuurlijke stroming, getijden of golven kan gebeuren. Elektriciteit kan worden opgewekt via turbines, schoepenraden of vijzels. Deze techniek levert middelhoge spanningen op.

Een tweede techniek, minder bekende techniek is gebaseerd op het potentiaalverschil tussen zout en zoet water. Hierdoor kan een elektrische stroom worden geïnitieerd via een membraan. Deze techniek levert laagspanning op.

03.03.02 Warmte uit oppervlaktewater, bodem en afvallucht

Aan de oppervlakte kan theoretisch gezien overal warmte of koude worden onttrokken aan de bodem of het oppervlaktewater. De lokale effecten (verstoring van ecosystemen aan de oppervlakte of in de ondergrond) moeten daarvoor worden onderzocht. Naast de genoemde potenties is op het lage schaalniveau warmteterugwinning uit afvallucht (bijvoorbeeld van gebouwen, kassen en industriële processen) mogelijk via warmtewisselaars of warmtepompen. Een recentere ontwikkeling is het terugwinnen van warmte uit afvalwater, eveneens via warmtewisselaars of warmtepompen. In hoofdstuk 03.05 komt over deze technieken meer aan de orde.

Minder gebruikelijk is de nog nauwelijks toegepaste warmte- of koudeonttrekking uit of opslag van warmte in wegen, parkeerterreinen en platte daken. De Urban Environment groep aan de universiteit van Wageningen heeft daar meer studie naar gedaan.

03.04 Biomassa

03.04.01 Inleiding

Uit biomassa kan op diverse manieren, met diverse conversietechnieken verschillende vormen van energie opgewekt worden. Het kan via biogas naar warmte en elektriciteit omgezet worden via bio-warmtekrachtkoppelingen (bio-WKK) maar het kan ook worden verwerkt tot brandstoffen (via bioraffinage en bio-ethanolfabrieken).

Biomassa

Biomassa omvat de biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen uit de landbouw – met inbegrip van plantaardige en dierlijke (dus ook menselijke) stoffen -, de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, evenals de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval. Materiaal voor bio-energie kan dus van afval of op energie gerichte plantages komen.

De inzet van biomassa heeft milieu- en economische voordelen: het is bij hernieuwde aanplant CO₂-neutraal, verschaft werkgelegenheid waar de behoefte het grootst is en het biedt werkzekerheid voor boeren. In algemene zin kan landbouw bij gevarieerde aanplant bijdragen aan biodiversiteit en bij verstandig beheer de bodem en het grondwater beschermen, en dat kan dus ook gelden voor energiegewassen.

Biomassa uit reststromen

Biomassa uit afval, dus reststromen, is biomassa dat niet primair geproduceerd is om energie uit te winnen. Deze reststromen bestaan uit mestafval, organisch afval uit de natuur en landbouw, zoals takken, ander hout, bermgras en landbouwresten van gewassen. Via verschillende vergassings- en vergistingstechnieken kan hier biogas uit geproduceerd worden. Houtige resten kunnen verbrand worden en warmte leveren.

Biomassa uit gewassenteelt

Er zijn verschillende gewassen die met het primaire doel om energie uit te winnen, verbouwd kunnen worden. Afhankelijk van de weersomstandigheden en bodemsoorten zijn er drie typen biomassa: jaarlijks wisselend, eeuwig groeiend en korte cyclus. Koolzaad, vlas, papaver, zonnebloem, tarwe, miscanthus (olifantsgras), gewoon riet en suikerbiet zijn voorbeelden van gewassen die kunnen worden verbouwd als grondstof voor bio-energie. Henna kan als nieuwe soort in de rotatiecyclus worden opgenomen vanwege het multifunctionele gebruik. Tarwe, suikerbiet en vlas zijn flexibele bronnen voor productie van voedsel, bouwmaterialen, textiel en chemicaliën. Bijproducten kunnen worden gebruikt voor bio-energie. Wilgen en populieren kunnen dienen als kavelbegrenzing, terwijl hun snoeihout kan bijdragen aan biocentrales. Genoemde soorten gedijen op verschillende bodems.

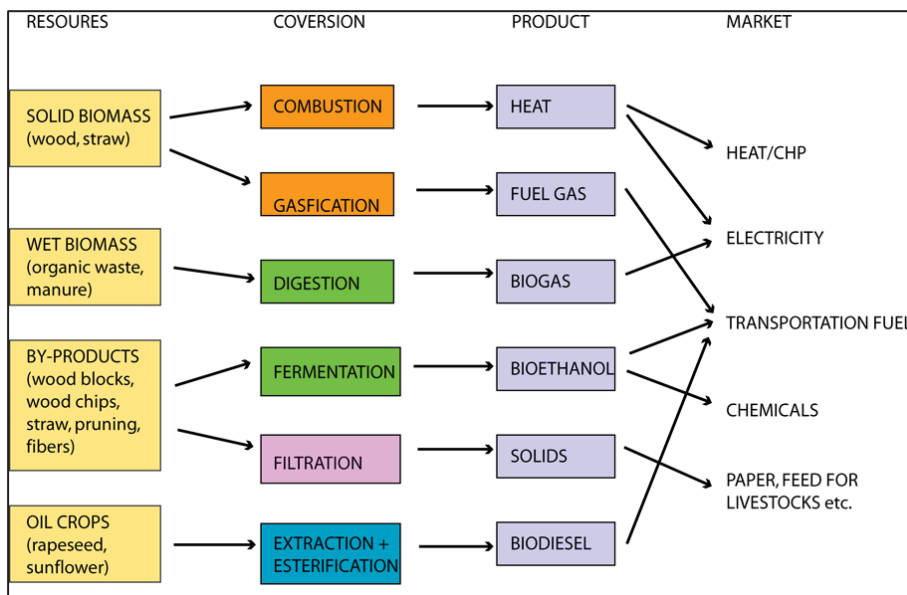
Vingergras (*Panicum virgatum*) heeft bepaalde voordelen vergeleken met andere eerste-generatie biomassagewassen, het heeft een uitgebreide wortelstructuur dat de bodem stabiliseert en nutriënten en CO₂ in de ondergrond opslaat. [NOST network, 2008]

Mogelijkheden van omzetting biomassa naar energie

Figuur 23 geeft de verschillende mogelijkheden van inzet van biomassa in de energievoorziening. Om energie te kunnen produceren uit biomassa zijn verschillende technieken toepasbaar bij de verschillende soorten van biomassa. Afhankelijk van de techniek en soort biomassa, kunnen installaties voor voorbehandeling van de biomassa, biovergistings- en biovergassingsinstallaties om biogas op te wekken, biomassaverbrandingsinstallaties of warmtekrachtkoppelingen ingezet worden om elektriciteit en warmte op te wekken of een bioraffinaderij om biobrandstoffen te produceren.

Dit alles kan grootschalig maar ook kleinschalig is veel mogelijk. Een biovergistingsinstallatie samen met een bio-WKK, kan al worden gevoed door 200 koeien en wat biomassa uit reststromen als covergistingsproduct en genoeg elektriciteit leveren voor 250 huishoudens.

Onderstaande figuur toont schematisch verschillende conversietechnieken en eindproducten in de biomassaketten.



Figuur 23: De biomassaketten [Roggema et al., 2006]

Biobrandstoffen (behalve biogas) zullen vooral gebaseerd zijn op oliegewassen en suiker. Op termijn kunnen dat aardappelen, suiker of voederbieten zijn die beter aangepast zijn op marginale of verzilte gronden. Kansen voor de Nederlandse landbouw liggen vooral in de verbouw en zaadlevering van elitegewassen. Daarvoor moeten nog flinke stappen gezet worden in de groene biotechnologie.

03.04.02 Voorwaarden en bedenkingen

Energiebalans

Een van de belangrijkste aandachtspunten bij biomassateelt voor de energievoorziening is de balans tussen de energieopbrengsten uit biomassa en de energie ten koste waarvan dat gaat. Van de uiteindelijke opbrengsten moet de benodigde energie voor de teelt, het transport en de verwerking worden afgetrokken. Aangezien de uit biomassa maximaal winbare energie niet meer dan 2% van de erop gevallen zonne-energie is [Jong & Dobbelsesteen, 1999], zijn de marges klein en mag dus kritisch worden gekeken naar de netto-opbrengsten.

Rudy Rabbinge, hoogleraar aan Wageningen UR, stelt dat om alleen al aan de Europese bijmengdoelstelling voor brandstoffen te voldoen (5,75 procent in 2010), men de helft van Nederland met koolzaadvelden zou moeten bedekken. De consequenties van een bio-ethanolfabriek die draait op suikerbieten zijn al genoemd: een aanzienlijke uitbreiding van het bietenareaal. Daarmee zou het landbouwgebied monofunctioneel en kwetsbaar worden.

Toelevering

Voor bio-elektriciteit en biobrandstoffen zijn grote hoeveelheden biomassa nodig. De hoeveelheid van biomassa in Groningen is beperkt, maar import van elders en transport over langere afstand moet met skepsis worden benaderd. Dit aangezien de energie-inhoud van biomassa al gering is en transport over te lange afstand kan leiden tot een marginaal energievoordeel.

Bio-energie vs. voedselproductie

Landbouwgrond die voor voedselproductie is bedoeld zou niet ingezet behoren te worden voor de productie van eerste-generatie biomassa bedoeld voor energie. De grond die verloren gaat voor voedselproductie zal elders weer worden geclaimd door bijvoorbeeld ontbossing, daarbij wordt door de grondgebruikveranderingen meer CO₂ geproduceerd dan we in 30 jaar kunnen besparen met biomassa! Bovendien zullen de voedselprijzen meer aan de energieprijzen gekoppeld worden waarbij de armste lagen van de bevolking meer benadeeld worden.

Distributie

Grootschalige export van opgewekte energie uit biomassa kan via het elektriciteitsnet en het gasnet. Landvervoer van onverwerkte biomassa en biobrandstoffen zou op dit moment stoelen op wegvervoer, wat in combinatie met persoonlijk vervoer tot knelpunten zou kunnen leiden. Daarnaast wordt het milieu belast door het wegverkeer, door de benodigde energie en vrijkomende emissies. Daarom is het ook wenselijk om in te zetten op milieuvriendelijker doortransport. Daarbij kan worden gedacht aan (binnen)scheepvaart, transport via rails of wegtransport. Een geheel duurzame oplossing zou het zijn wanneer dit transport gebaseerd is op waterstof en brandstofcellen. Voor dat laatste zou in Groningen waterstofproductie of tenminste -distributie moeten plaatsvinden.

Maximale afstand

In Finland wordt hout(achtige) biomassa over niet meer dan 80 km getransporteerd, vanwege de economische efficiëntie. In de Verenigde Staten wordt eerste-generatie vingergras (*Panicum virgatum*) over maximaal 40 km vervoerd naar een vergistinginstallatie.

Veen

In Finland wordt veen beschouwd als een vernieuwbare bron, maar de EU zet op veen een *carbon tax* omdat het duizenden jaren kost om deze te herstellen.

LS9

De Verenigde Staten, waarvoor brandstofzekerheid en -onafhankelijkheid het primaire belang zijn, werken aan vervangende grondstoffen voor ruwe olie, genaamd LS9, die gebaseerd zijn op biomassa maar net zoveel CO₂ produceren als fossiele energiebronnen [NOST network, 2008].

Landbouwgebieden

Door de teeltwisseling die boeren toepassen is het niet mogelijk een bepaald stuk grond aan een bepaald gewas toe te kennen. In gebieden met veel biomassa kan middels bio-energie worden voorzien in de eigen behoefte van elektriciteit, biobrandstoffen en warmte. De landbouw kan naast voedsel ook energiegewassen verbouwen.

Bij kleine decentrale biovergistinginstallaties met WKK kan onderscheid worden gemaakt tussen biovergisting van biomassa voortkomend uit gewassen alleen, vergisting van mest alleen, of vergisting van mest gecombineerd met gewassen. In Groningen zijn alle drie de opties mogelijk, afhankelijk van het aanbod.

Door het plaatsen van deze decentrale biovergistingsplekken bij de bebouwingskernen in dit gebied en koppeling of aanleg van warmwaternetten kunnen deze kernen wat warmte betreft onafhankelijk worden. Het meest voor de hand ligt het om dergelijke warmtenetten bij nieuwbouw aan te leggen.

03.04.03 Biobrandstoffen

Biogas

Biogas wordt momenteel in bijna alle gevallen van mestvergisting lokaal middels warmtekracht koppeling (WKK) omgezet naar 'groene stroom' en/of warmte. Het elektrisch rendement is ongeveer 35-39 % afhankelijk van de kwaliteit en vermogen van de installatie. Als de warmte ook benut wordt, is een aanzienlijk hoger (totaal-)rendement haalbaar.

Een andere benadering is het opwaarderen van biogas tot aardgaskwaliteit (zgn. groen gas of bio Substitute Natural Gas (bio-SNG) en dit groene gas in te leiden in het aardgasnet van de Gasunie of een energiedistributiebedrijf. Dit sluit aan bij de ambities van het Platform Nieuw Gas dat als ambitie heeft geformuleerd om in 2030 20% van het aardgas door groen gas te vervangen. Deze omvang is gekozen om te illustreren dat de bijdrage van groen gas aanzienlijk kan zijn en geldt vooral als richtpunt.

Het inbrengen van biogas in het aardgasnetwerk is niet nieuw, in Oostenrijk wordt sinds medio 2006 biogas opgewaardeerd tot groen gas en ingebracht in een lage druk net. De transportverliezen van (aard)gas zijn lager dan die van elektriciteit en in het gasnet is er bovendien de mogelijkheid van bufferen. Een economische voorwaarde is wel dat er een bepaalde hoeveelheid gas per dag geleverd moet worden.

Naast het opvoeren van biogas aan het gasnet kan het ook als brandstof gebruikt worden in voertuigen die op CNG (Compressed Natural Gas) en Biogas kunnen rijden. Hiervoor moet het wel, net als bij aardgas tot ongeveer 200 bar gecomprimeerd worden, wat ook weer energie kost.

Bio-ethanolproductie

Bij bio-ethanolproductie wordt onderscheid gemaakt tussen eerste generatie en tweede generatie bio-ethanol. De eerste draait op ruwe landbouwproducten zoals suikerbieten, terwijl de tweede reeds geraffineerde biologische producten gebruikt voor de productie van ethanol. Een tweede-generatie bio-ethanolfabriek kan zo draaien op reststromen uit de agro-industrie. Stro en houtpallets zijn daarbij voorbeelden van bronnen. Een tweede-generatie ethanolcentrale heeft zuiver CO₂ als restproduct, dat kan worden opgeslagen in de bodem en is dan een CO₂-sink of het kan aan kassen geleverd worden. Eerste generatie ethanol uit suikerbieten levert in Nederland ongeveer 5700 liter per hectare.

Biodiesel

Biomassa kan ook geteeld worden met als primaire doel hier biobrandstof in de vorm van biodiesel uit te winnen. Het verbouwen van koolzaad voor koolzaadolie is het bekendste voorbeeld in Nederland. In Nederland levert een hectare koolzaad ongeveer 1250 liter olie op. Naast deze biodiesel blijft er een grote hoeveelheid perskoek over die als veevoer ingezet kan worden of mogelijk nog vergist of vergast kan worden en dan biogas oplevert.

Bioraffinage

Bij bioraffinage wordt biomassa omgezet in verschillende bruikbare grondstoffen zoals vezels, suikers, eiwitten, alcoholen en andere chemicaliën. Verschillende van deze grondstoffen kunnen vervolgens in andere processen worden gebruikt om energie uit op te wekken. Bioraffinage van hout en gras is in ontwikkeling. Deze wijze van energie uit biomassa winnen valt onder de tweede generatie biomassa.

Algen

Energie opgewekt uit algen lijkt een biomassatechnologie met grote potenties. Algen kunnen vele malen meer energie produceren dan reguliere landbouwgewassen. Op dit moment staan de productieprocessen nog in de kinderschoenen en kosten de technieken om de energie vrij te krijgen

nog veel geld en energie. Er wordt echter veel onderzoek naar de productieprocessen gedaan en er bestaan goede verwachtingen.

Uit de algen is biodiesel te produceren. Uit resultaten van proefprojecten lijken producties van 15.000 tot 20.000 liter biodiesel per hectare mogelijk. Interessant van algen is dat zijn twee keer zoveel energie produceren als 10% afvalwater wordt toegevoegd aan het water waarin ze verkeren.

Tabel 07 toont van enkele energiegewassen de opbrengst en energie-inhoud van de geproduceerde biobrandstoffen. Hierbij moet vermeld worden dat voor koolzaad alleen de geproduceerde koolzaadolie wordt bedoeld. Uit de overgebleven koolzaadkoek valt nog een hoeveelheid biogas te winnen die een vergelijkbare energetische inhoud heeft.

Tabel 07: Opbrengsten van biobrandstoffen uit energiegewassen per hectare [naar www.wur.nl]

	oogst (kg/ha)	opbrengst (l/ha)	energie-inhoud		
			(MJ/l)	(GJ/ha)	(MWh _{pp} /ha)
koolzaad*	4000	1250	32	40	1.1
suikerbiet		5700	21	120	3.3
algen		20000	32	640	17.8

*Alleen brandstofproductie (koolzaadkoek nog vergistbaar)

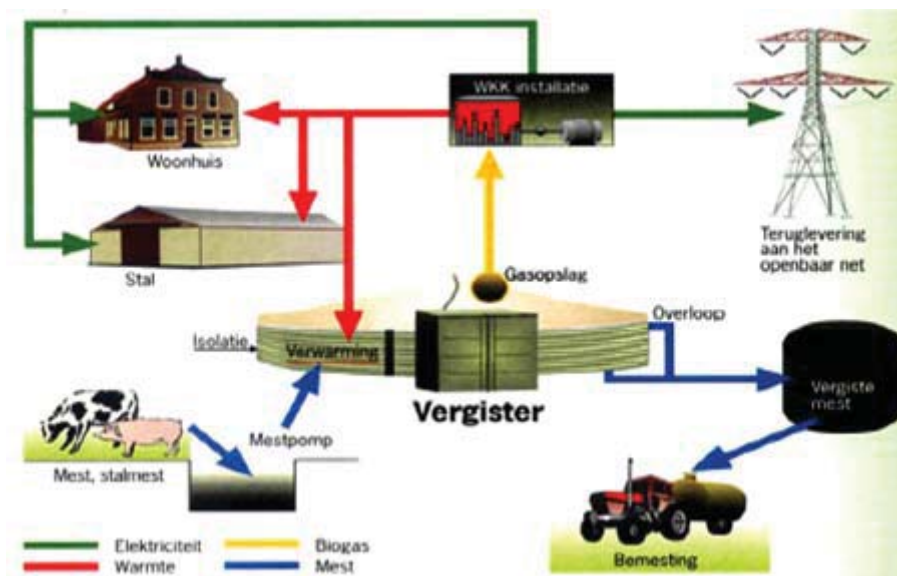
03.04.04 Elektriciteit en warmte van biogas uit biomassa

Biovergisting, -vergassing en bio-WKK's

Mest van bijvoorbeeld koeien samen met restproducten uit de landbouw of voedselresten kunnen door middel van vergisting of vergassing nuttig worden ingezet in het energiesysteem, waarbij via biogas, warmte en elektriciteit kan worden geproduceerd (zie figuur 24). Warmte en elektriciteit wordt geproduceerd wanneer dit biogas in een WKK wordt verbrand.

Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen een kleinschalige installatie, voor mest van het agrarische bedrijf zelf, en een grootschalige installatie, voor mest van meerdere bedrijven. Grootschalige installaties mogen worden geplaatst binnen bedrijventerreinen, nabij glastuinbouw en op RWZI-terreinen. Het vergunningstraject voor deze installaties verschilt.

Een vergistinginstallatie kan al rendabel zijn bij ongeveer 4.000 m³ mest per jaar [KNN Milieu, 2006]. Met co-vergisting kan dit minder zijn.



Figuur 24: Principe van warmte- en elektriciteitsopwekking uit mestvergisting [KNN Milieu, 2006]

In tabel 08 zijn de mestproductie en de potentiële biogasopbrengsten hiervan, van verschillende diersoorten af te lezen. Deze soorten mest zijn allen geschikt om vergist (of vergast in geval van kippenmest) te worden.

Tabel 08: Biogas-opbrengst en mestproductie (pluim)vee [naar: IKC-landbouw, 1996; www.mestverwerking.wur.nl, 2009; mestbeleid 08/09, 2008; www.kennisakker.nl, 2009]

	Droge Stof	Organische Stof	Biogas Opbrengst	Biogas Opbrengst	mestproductie
	(%)	(%)	(m ³ CH ₄ /kg ds)	(m ³ /ton mest)	ton/dier.jaar
Melkveemest vast	25	15	0.12 - 0.20	24	11 - 15.6
Melkvee drijfmest	9	6	0.12 - 0.21	10.2	21.8 - 31
Vleesveemest vast	25	15	0.12 - 0.20	24	3.6 - 7.6
Vleesvee drijfmest	9	6	0.12 - 0.21	10.2	7.2 - 14.4
Kippenmest vast*	52	37	0.21 - 0.30	96	0.016 - 0.03
Kippen drijfmest	15	9	0.21 - 0.30	23.4	0.02 - 0.04
Varkensmest vast	23	16	0.22 - 0.30	41.6	1.22 - 2.2
Varkens drijfmest	7	5	0.14 - 0.30	11	1.22 - 3.6

* bij geforceerde droging

De energie-inhoud van biogas is lager dan die van aardgas en bedraagt ongeveer 50%-70% van aardgas en komt hiermee op ongeveer 19 MJ/m³ of 5,2 kWh (aardgas bezit 31,5 MJ/m³ of 8,8 kWh), aardgas bestaat voor 82% uit methaan (CH₄) waar de energie zich in bevindt. Biogasopbrengsten worden ook vaak uitgedrukt in de m³ methaan, dan is de energetische waarde per m³ weer hoger dan aardgas: 38,4 MJ/m³ of 10.7 kWh.

Biogas	= 4,4 - 6,0 kWh/m ³	(15,8-22 MJ/m ³)	
Aardgas	= 8,8 kWh/m ³	(31,5 MJ/m ³)	(82% CH ₄)
Methaan	= 10,7 kWh/m ³	(31,5 MJ/m ³)	

Ook de menselijke mest is vergistbaar. Er zijn hiervan minder goed gegevens te vinden. Onderstaande gegevens zijn gemeten bij een voorbeeldproject waar de menselijke faecaliën m.b.v. vacuümtoiletten en een centraal verzamelsysteem verzameld worden. Hierbij wordt ook het organische keukenafval bijgevoegd. Onderstaande productie bestaat dus uit mest samen met speelwater en organisch keukenafval. De biogasproductie is hier uitgedrukt in m³ methaan.

Tabel 09: Biogas-opbrengst uit menselijke mest [Afwalwater ontketend, 2005]

	productie p.p.p.d.	prod. p.hh.p.jr	biogas opbrengst	biogas opbr. P. hh.
	m ³	m ³	m ³ CH ₄ /ton	m ³ CH ₄
menselijke fecaliën + keukenafval	0.007	6.4	4.3	27.5

Co-vergisting

Onder co-vergisting wordt verstaan het produceren van biogas uit de vergisting van dierlijke meststoffen samen met organische producten, zoals energiegewassen, gewasresten en organische reststromen van levensmiddelen.

Het economische en procestechische rendement van een mestvergistingsinstallatie kan aanzienlijk worden verbeterd door toepassing van co-vergisting.

In tabel 10 staan enkele gegevens vermeld over de biogasopbrengsten door co-vergisting uit organische reststromen van akkerbouw. In tabel 11 staan enkele gegevens vermeld over de biogasopbrengsten door co-vergisting uit gewasenteelt. De biogasopbrengsten in de tabellen zijn uiteindelijk in m³ methaan (CH₄) per ton product of per hectare gegeven. Deze biogasopbrengsten zijn berekend in een model aan de hand van chemische samenstellingen.

Tabel 10: Biogas-opbrengst uit organische reststromen van akkerteelt [Kennisbundeling co-vergisting, 2005]

	Droge Stof	Org. droge stof	Biogas opbrengsten		
	(%)	(%)	(m ³ /kg ds)	(m ³ CH ₄ /kg ds)	(m ³ CH ₄ /ton product)
fruitresten	22	98	0.52	0.06	59
groenteafval	15	76	0.50	0.04	39
koolzaadkoek	89	92	0.61	0.28	279
aardappelschillen	11	92	0.61	0.03	34
suikerbietenpuntjes	20	95	0.69	0.07	71

Tabel 11: Biogas-opbrengst uit gewassenteelt als co-vergistingmateriaal [www.agriholland.nl]

	Droge Stof	Org. stof	kg/ha	Biogas opbrengsten		
	(%)	(%)		(m ³ CH ₄ /kg os)	(m ³ CH ₄ /ton product)	(m ³ CH ₄ /ha)
snijmaïs	30	95	70000	0.25 - 0.42	71 - 120	5000 - 8400
aardappelen	35	91	45000	0.37 - 0.61	118 - 194	5300 - 8700
suikerbieten	26	82	60000	0.35 - 0.63	75 - 134	4500 - 8100

Biomassaverbrandingsinstallatie

Het aandeel droge stof van biomassa uit reststromen, over het algemeen de houtige resten uit het landschap, kunnen in een biomassaverbrandingsinstallatie naar elektriciteit en warmte worden omgezet. Het elektriciteitsrendement ligt over het algemeen wat lager dan een gas- of kolengestookte centrale. Kleine centrales (<10MW_e) hebben een elektrisch rendement van rond de 20% met daarnaast een thermisch rendement van ongeveer 35%. Een grotere biomassaverbrandingsinstallatie kan een groter elektrisch rendement krijgen door de opgewekte (rest)warmte nog weer naar elektriciteit om te zetten, het elektrisch rendement ligt dan op ongeveer 30% en de centrale levert geen thermische energie [Energie à la carte, 2008].

Onderhoud aan natuur levert voor verschillende landschapstypen een bepaalde hoeveelheid aan bruikbare biomassa die inzetbaar is in een biomassaverbrandingsinstallatie. Onderstaande tabel toont de primaire energie-inhoud van biomassa-reststromen. Deze energie-inhoud moet nog omgezet worden met de bijbehorende rendementsverliezen.

Tabel 12: Potentieel van verschillende bronnen van biomassa uit reststromen [energie a la carte, 2008]

	Gj/ha	MWh _{pr} /ha
drasland	16.5	4.6
loofbosjes/boschages	17	4.7
bosonderhoud	68	18.9

Warmtekrachtkoppeling (WKK) en biomassaverbranding

Elektriciteitscentrales hebben een elektrisch rendement van ca 40%, de rest van de energie uit de gebruikte brandstoffen komt vrij als (rest)warmte en wordt meestal geloosd. Deze warmte kan ook voor andere toepassingen gebruikt worden. M.b.v. een WKK kan deze warmte geproduceerd worden waar er vraag naar is. Bij een decentrale warmtekrachtkoppeling is de productie meestal aangepast aan de warmtevraag. De elektriciteit die zelf niet gebruikt wordt, wordt dan aan het elektriciteitsnet geleverd. Decentrale WKK wordt onder andere toegepast in de glastuinbouw. Daarbij wordt naast warmte ook CO₂ uit de centrale gebruikt.

Bij de productie van biogas kan deze energie ingezet worden in een (bio-)WKK en komt naast elektriciteit dus ook warmte vrij die lokaal ingezet kan worden. Dit kan met behulp van warmtenetten in de directe omgeving van de centrale worden getransporteerd en bijvoorbeeld in woningen worden gebruikt. Deze warmtenetten kunnen slechts beperkte lengtes hebben om te grote transportverliezen

tegen te gaan. Dit betekent dat mestvergisters vooral voor lokale gemeenschappen kunnen worden ingezet, of dat kleinschalige nieuwbouwwontwikkelingen nabij mestvergistingsinstallaties kunnen worden gelegen. De afstand van een mestvergistingsinstallatie tot omwonenden moet in verband met geluid en geur minimaal 250 meter zijn. De WKK kan ook verder van de mestvergistingsinstallatie worden geplaatst, dan moet het biogas via gasleidingen van de vergistingsinstallatie naar de WKK getransporteerd worden.

Bij de aanvraag van een mestvergistingsinstallatie wordt ook geïnventariseerd of er een tekort aan warmte in de buurt van de aanvrager is, of er een potentiële afnemer aanwezig is en of een eventueel overschot aan warmte anders kan worden afgezet. Daarnaast is het van belang te weten of er een potentiële vraag bestaat naar (bio)gas, elektriciteit en digestaat (nat restproduct dat als bemesting kan worden gebruikt). Digestaat kan deels door de veehouder zelf worden gebruikt maar ook door akkerbouwers en combibedrijven (bedrijven met zowel vee als akkerbouw). Dit pleit voor een menging van agribedrijven en woningen in de buurt van veehouderijen: dus niet alleen veehouderijen, maar ook woningen en akkerbouwers die gebruik kunnen maken van de producten van mestvergisting.

Bij een grote biomassaverbrandingsinstallatie wordt in eerste instantie warmte geproduceerd waarbij de geproduceerde stoom m.b.v. een turbine elektriciteit kan produceren. De overgebleven (rest)warmte kan ook weer lokaal ingezet worden.

Er bestaan ook kleine en grotere houtgestookte centrale verwarmingsinstallaties die geschikt zijn om losse woningen of wijken te verwarmen. Deze biomassaverbrandingsinstallaties gebruiken houtsnippers of houtpallets en kunnen volledig automatisch zijn.

03.04.05 Voorbeelden toepassingen bio-energie

Vergassingsinstallatie op kippenmest in Tzum

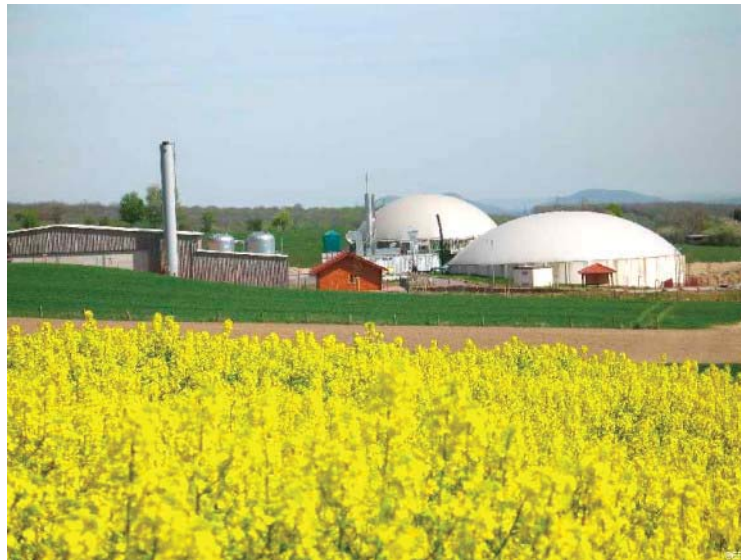
In het dorp Tzum in Friesland, wordt sinds 2006 kippenmest vergast in een biovergassingsinstallatie die biogas produceert. De vergassingsinstallatie heeft een maximaal vermogen van 2,25 MW (0,25 MW_e en 2,0 MW_{th}) [www.eneco.nl].

7000 ton kippenmest wordt hierin jaarlijks in biogas omgezet. Het hieruit opgewekte biogas heeft eenzelfde energetische inhoud als 300.000 m³ aardgas. Onafhankelijk van wat hiermee gedaan wordt (WKK of voor verwarming), levert dit de genoemde besparing in aardgas.

Biogasinstallatie Jühnde

Het grootste deel (70%) van het Duitse 800 inwoners tellende dorp Jühnde (Figuur 25) wordt sinds 2005 volledig van energie voorzien, die opgewekt is uit biomassa. Een biovergistingsinstallatie produceert biogas uit mest van 400 koeien, 1400 varkens met daarnaast biomassa voor co-vergisting van energiegewassen geteeld op 180 hectare. Dit komt gezamenlijk neer op ongeveer 9000 ton gier en 12000 ton biomassa. De biomassa wordt op ongeveer 15% van het omliggende land verbouwd.

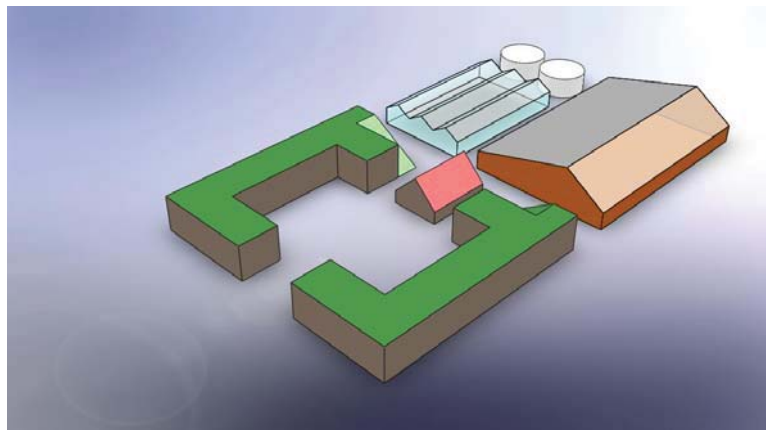
Het biogas wordt in een WKK omgezet naar jaarlijks 4 tot 5 miljoen kWh elektriciteit en daarnaast warmte. De elektriciteitsproductie is hiermee meer dan het dubbele van de vraag in het dorp, het overige deel wordt aan het net teruggeleverd. De geproduceerde warmte dient voor de verwarming van de woningen in het dorp. Dit wordt via een 5 km lang warmtenet naar de woningen getransporteerd. Een houtkachel van 550 kW levert daarnaast nog warmte in de koudste periode van het jaar. Het benodigde hout hiervoor komt uit onderhoud van de nabij gelegen bossen. [www.bioenergiedorf.info]



Figuur 25: Biogasinstallatie te Jühnde [www.bioenergiesdorf.info]

Boerderijcluster

Een bijzondere extra toepassingsmogelijkheid voor energie uit biomassa zijn boerderijclusters of – hoven, zoals in die een plaats kregen in de energiepotentiëstudie van Almere-Oost (figuur 26). De energiepotentie hiervan bestaat uit het omzetten van rioolslib van aanliggende woningen plus mest of plantaardig afval van het boerenbedrijf (niet uitgaande van energiegewassen) in elektriciteit en warmte.



Figuur 26: Boerderijcluster [Energiepotentiëstudie Almere-Oost, 2008]

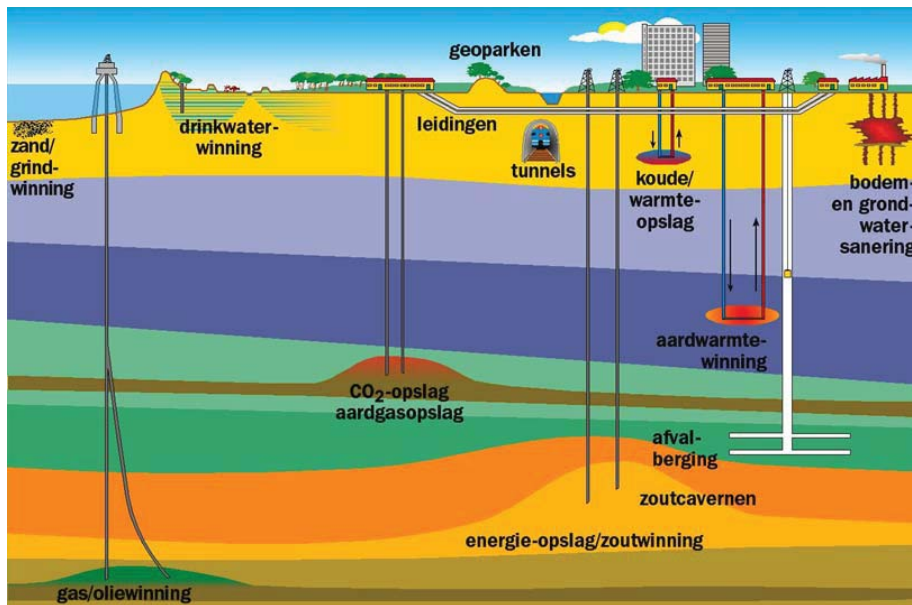
Het energetisch potentieel van een boerderijhof door biomassa kan als volgt worden bepaald:

$E_{\text{boerderijhof}} = 1.5 \cdot N_{\text{koeien}} + 0.3 \cdot N_{\text{huishoudens}} \text{ [MWh}_{\text{pr}}\text{]}$

03.05 Ondergrond

03.05.01 Technieken

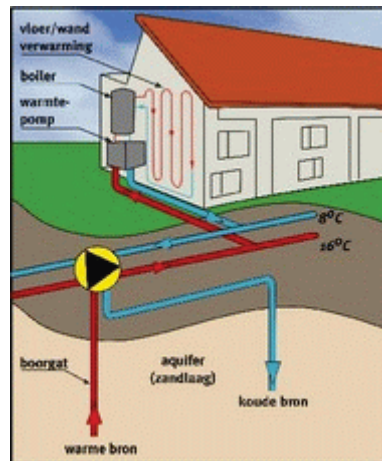
Er zijn veel mogelijkheden om warmte of koude te winnen uit de bodem, het grond- of oppervlaktewater of zelfs de lucht. Bij deze energie-uitwisseling kan gebruik worden gemaakt van warmtepompen en/of warmtewisselaars of aquifers kunnen dienen als opslag voor (elders opgewekte) warmte en koude. Uit de diepere ondergrond kan de warmte die zich daar bevindt via boorputten naar boven gehaald worden.



Figuur 27: Mogelijkheden van de ondergrond [TNO Bouw en Ondergrond]

Figuur 27 geeft een overzicht van mogelijkheden waarmee de ondergrond kan worden ingezet in de energie-, water- en grondstoffenvoorziening. De ondergrond biedt in algemene zin de volgende mogelijkheden voor warmte-uitwisseling:

- warmte en koude uit oppervlaktewater, grondwater, of de ondergrond tot ongeveer 50 m diepte, via warmtewisselaars en warmtepompen
- warmte- en koudeopslag in aquifers in de ondiepe ondergrond tot ongeveer 150 m, aquifers zijn geen bronnen van duurzame energie maar kunnen gebruikt worden om duurzaam opgewekte warmte (van bijv. zonnecollectoren) in op te slaan
- aardwarmte (20-60°) uit of warmteopslag in aquifers in de middeldiepe ondergrond (100 m-1 km)
- energie- en CO₂-opslag in zoutvelden in dezelfde middeldiepe ondergrond
- aardwarmte (60-130°) uit aquifers, gas en zoutvelden in de diepe ondergrond (1 km en dieper)
- gas- en CO₂-opslag in lege aardgasvelden in deze diepe lagen



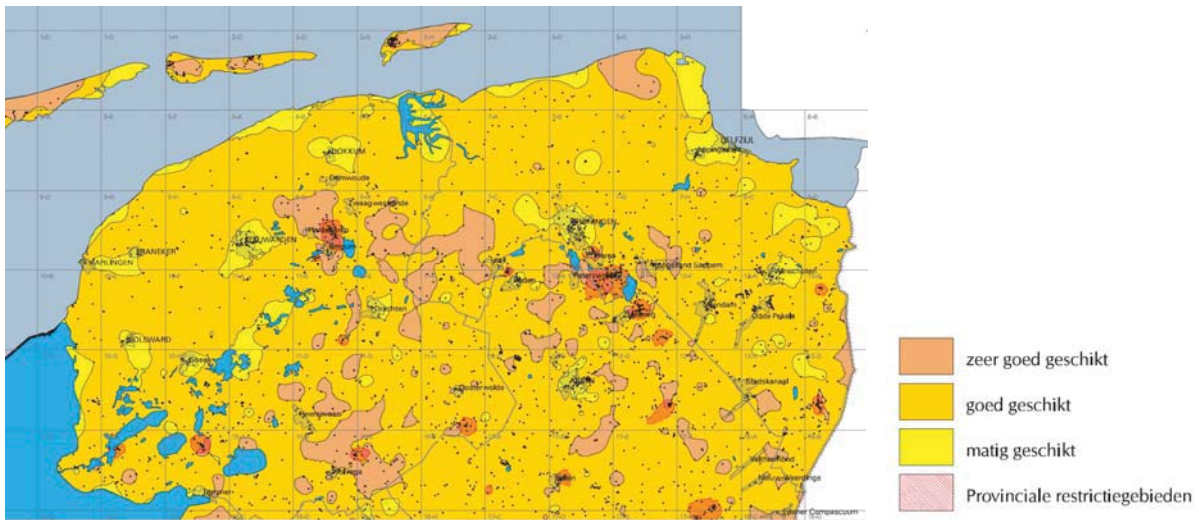
Figuur 28: Illustratie van warmte- en koudeopslag in een aquifer in de bodem, één bron voor koudeopslag en één voor de warmte-opslag

03.05.02 Warmtepompen

In een warmtepomp wordt warmte van een lager naar een hoger temperatuurniveau gebracht. Dit gebeurt met een techniek, zoals die ook in koelkasten wordt gebruikt maar dan omgekeerd. Een warmtepomp heeft dus altijd een bron met een bepaald (laag) temperatuurniveau nodig en gebruikt meestal alleen elektriciteit. Deze kan natuurlijk uit duurzame bron aangeleverd worden. Dat kan decentraal (per woning, blok, wijk, dorp of streek) of centraal (netwerk van de regio) worden gedaan. De bron van een warmtepomp kan bestaan uit de bodem (het water hierin) maar ook uit buitenlucht of oppervlaktewater. Ook kan restwarmte worden benut uit bijvoorbeeld afvalwater en ventilatieretourlucht. Een warmtewisselaar is met deze bron verbonden om de warmte op te nemen (of af te staan)

Een warmtepomp is geen (duurzame) energiebron maar een relatief energiezuinige techniek waarbij wel gebruik gemaakt wordt van warmte uit de ondergrond die wordt opgewaardeerd. Het rendement van een warmtepomp wordt vaak uitgedrukt in COP (Coëfficiënt of Performance). Dit is de verhouding tussen de afgegeven energie en de opgenomen (elektrische) energie, gebruikelijke waarden liggen tussen 1 en 10. Hierbij moet bedacht worden dat de pomp elektrische energie gebruikt die al een omzettingrendement van 39% (in gasgestookte elektriciteitscentrale) gehad heeft. Dit betekent dat de COP minimaal 2,54 moet bedragen om even zuinig als een conventioneel verwarmingssysteem (op gas) te zijn. Daarbij moet ook rekening gehouden worden met de extra investeringen van een warmtepomp en warmtewisselaar. Toch zijn COP's van 6 -10 goed haalbaar. Er geldt, hoe lager het verschil tussen bron en warmte-afgiftepunt, hoe minder (pomp)energie nodig is. Warmtepompen zijn dan ook bijna altijd gekoppeld aan een lage temperatuur verwarmingssysteem (LV).

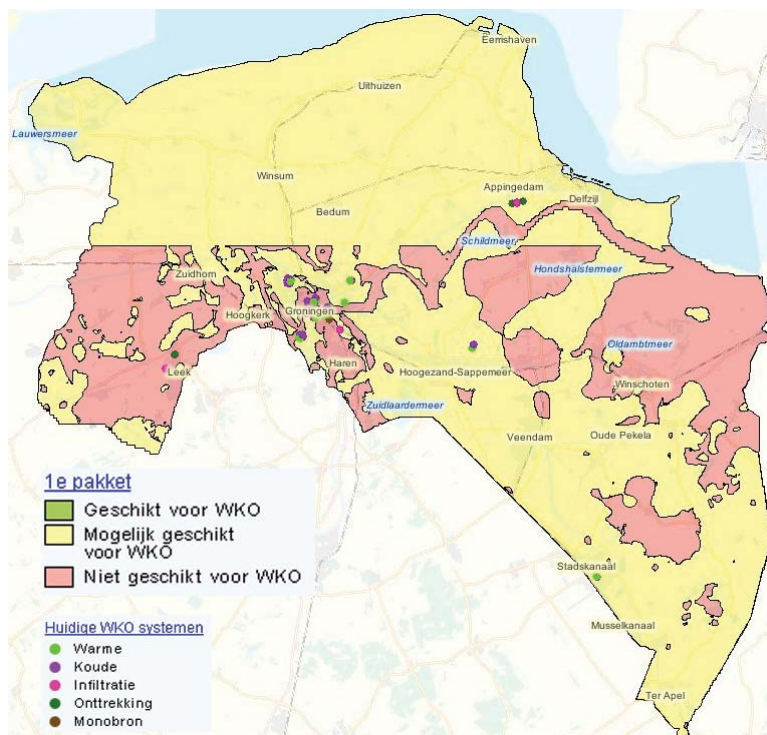
Figuur 29 geeft de geschiktheid van de bodem aan voor toepassing van verticale bodemwarmtewisselaars in de provincie Groningen. Deze halen hun warmte uit een diepte tot 50m. In principe is het overgrote deel van de provincie geschikt voor de inzet van deze warmtewisselaars.



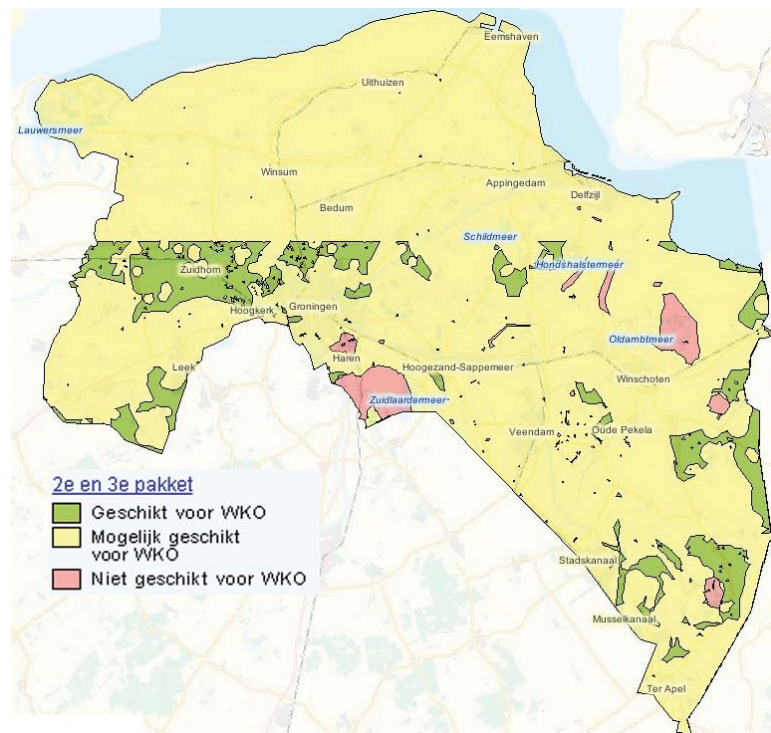
Figuur 29: Bodemgeschiktheidskaart voor verticale bodemwarmtewisselaars [IF Technology]

03.05.03 Warmte- en koudeopslag (WKO)

Warmte- en koudeopslag wordt ook wel seizoensbuffering genoemd. Met behulp van aquifers kan in de zomer opgewekte warmte worden gebufferd tot de winter wanneer de vraag ernaar groot is. In figuur 30 en 31 is de geschiktheid van de mogelijkheden van warmte- en koudeopslag in ondergrondse aquifers of watervoerende pakketten te zien. Deze informatie komt uit een onderzoek dat de provincie heeft laten doen. Onduidelijk is nog waarom gegevens van het noordelijke deel van de provincie ontbreken.



Figuur 30: Geschiktheid van WKO in het eerste watervoerende pakket [www.provinciegroningen.nl]



Figuur 31: Geschiktheid van WKO in het 2^e en 3^e watervoerende pakket [www.provinciegroningen.nl]

WKO wordt vaak ingezet bij de aanwezigheid van restwarmte. Het aanbod van deze warmte kan opgeslagen worden in de aquifers en opgepompt worden wanneer de vraag ernaar is. Vaak is WKO gecombineerd met een warmtepomp om de temperatuur uit de bodem op te waarden.

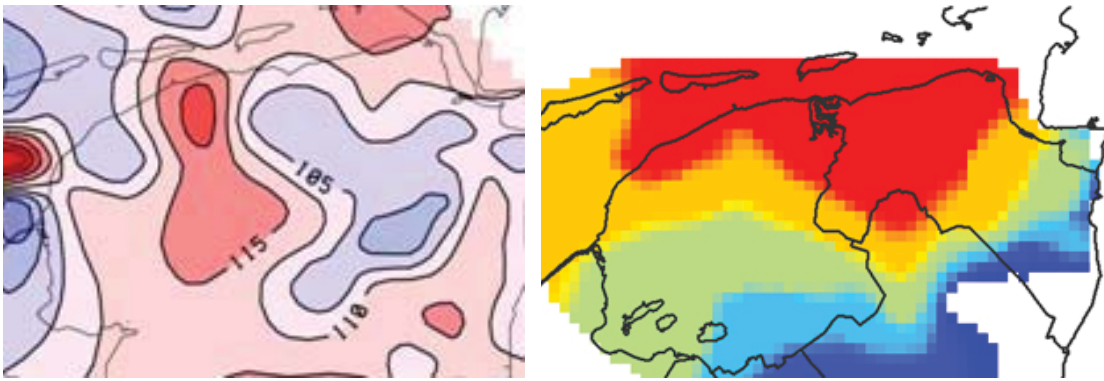
Voor een compleet verwarmings- (en/of koelings)systeem van bron tot en met afnemer, is net als bij warmtepompen een COP te geven. In de EPN wordt vaak uitgegaan van een COP van 11 a 12. Dit kan verschillen per systeem. Dit zegt echter nog niets over de verhouding van afgegeven warmte (of koude) t.o.v. de opgenomen warmte (of koude) uit de bron. Dit rendement hangt van de opbouw van de ondergrond af waarin de aquifer zich bevindt. In de literatuur is niet veel bekend over deze rendementen. De orde van grote van dit rendement ligt op 50%.

03.05.04 Geothermie

Met geothermie wordt de warmte in de diepere ondergrond bedoeld. Wanneer deze warmte opgepompt wordt kan deze ingezet worden in de energiehuishouding van huishoudens of bijvoorbeeld kassen. Bij zeer hoge temperaturen uit de ondergrond kan een stoomturbine hieruit zelfs elektriciteit opwekken.

Om de warmte uit de grond te winnen, wordt gebruik gemaakt van het warme water dat ligt opgeslagen in watervoerende lagen in de ondergrond, op diepten waar de temperatuur hoog genoeg is. Vanaf circa 1,8 kilometer in de aardbodem zijn er watervoerende lagen in onze regio warm genoeg om water van 70 °C of meer te produceren, vanaf circa 3 kilometer diepte zijn er temperaturen die ook geschikt zijn om elektriciteit te produceren.

In figuur 32 is links te zien wat de temperaturen zijn op 3000 meter diepte. De aanwezige temperaturen zeggen niet alles over de geschiktheid om geothermie te gebruiken, er moeten ook watervoerende lagen van voldoende dikte aanwezig zijn om hier efficiënt gebruik van te kunnen maken. De geschiktheid is in figuur 31 af te lezen.

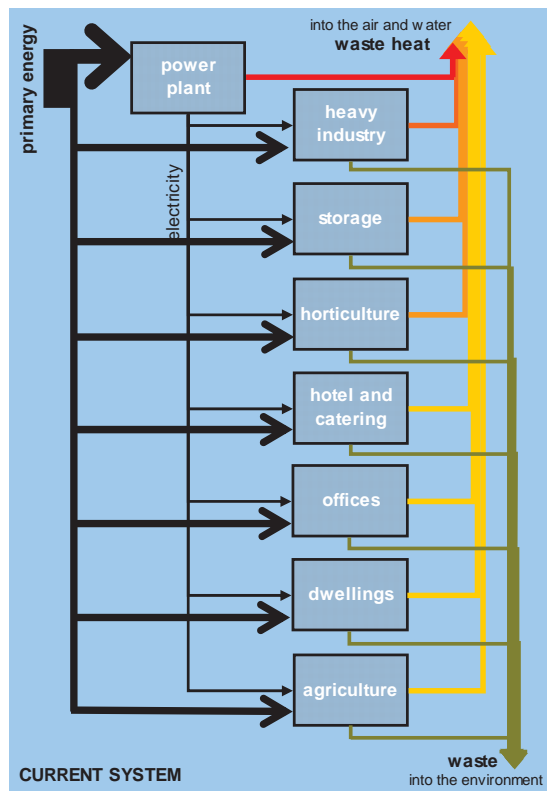


Figuur 32: Temperaturen (in graden Celsius) op 3000 m diepte (links) [TNO Bouw en Ondergrond] en geschiktheid van de bodem voor aardwarmte uit diepe aquifers (rechts) [o.b.v. TNO en NAM]

03.06 Warmte- en koudevraag en –aanbod

Technieken

Een interessante effectieve manier om energie en CO₂-uitstoot te verminderen is niet door op de efficiëntie van aparte processen te concentreren, maar door te proberen zoveel mogelijk processen te voorzien van energie in dezelfde energieketen die gebaseerd is op een bepaalde hoeveelheid primaire energie.



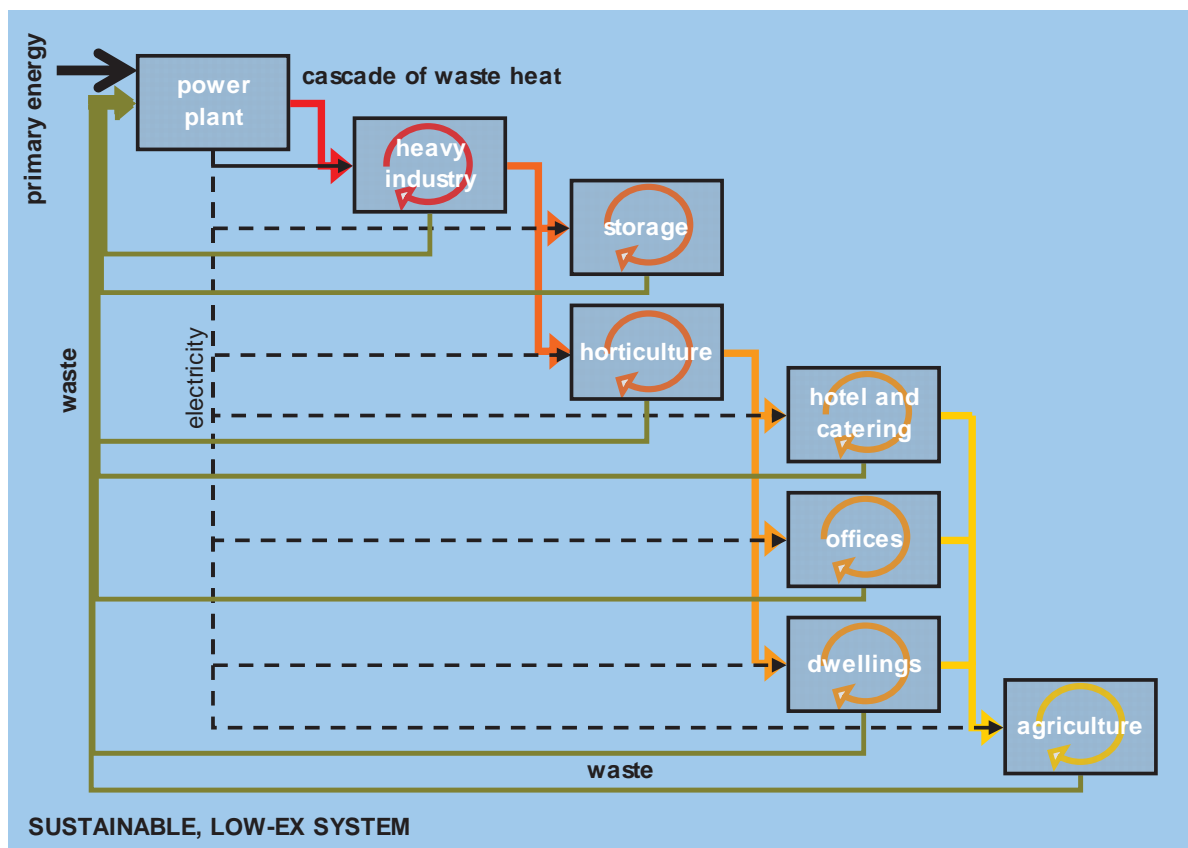
Figuur 33: Het huidige energiesysteem: in elke functie gaat hoogwaardige fossiele energie, afvalenergie en afvalmateriaal verdwijnt in het milieu

Op dit moment wordt bij elk proces in een bepaald gebied telkens weer een bepaalde hoeveelheid hoogwaardige primaire energie gebruikt (gas, kolen of olie), ongeacht of de bereikte energiekwaliteit

(het temperatuurniveau) voor dat specifieke proces wel geschikt is, waarbij bovendien veel restwarmte (soms –koude) kan ontstaan die geloosd moet worden (via lucht of water). Figuur 33 geeft het huidige energiesysteem weer.

Een effectievere manier om met energie om te gaan, is op het 'low-ex'-principe gebaseerd. Deze term is afkomstig van het thermodynamische begrip 'exergy', waarbij telkens een energiekwaliteit wordt ingezet die zo dicht mogelijk zit bij de gewenste geleverde kwaliteit. Uit oogpunt van exergie is het veel effectiever om een kamer op 20°C te brengen met restwarmte uit bijvoorbeeld kassen van 25 tot 40°C dan dit met een gasvlam van 1500°C te doen, zoals nu bijna altijd gebeurt.

Zo kan op lokale schaal een cascade van warmtestromen ontstaan, startend bij elektriciteitscentrales en hoogwaardige industriële of chemische functies die hoge temperaturen vereisen, waarvan vervolgens andere functies de restenergiestromen kunnen benutten (figuur 34). Woningen staan dan ergens achteraan in de keten en kunnen hoogstens hun afvalwarmte nog inzetten via warmteterugwinning, maar dan is het op.



Figuur 34: Energiecascade in een duurzamer, low-ex energiesysteem: hoogwaardige fossiele energie wordt alleen gebruikt voor hoogwaardige (industriële) functies, waarvan de afvalwarmte laagwaardiger functies bedient; afval dat anders nutteloos is, wordt gebruikt in krachtcentrales

Voor Groningen betekent dit dat op provinciaal niveau goed nagedacht zou moeten worden over warmte- en koudeoverschotten en –tekorten, de temperatuurniveaus daarbij, en hoe deze optimaal op elkaar kunnen worden aangesloten.

Warmte- en koudevraag vanuit woningen en bedrijven

Over het algemeen is de warmtevraag groter dan de koudevraag. Warmtevraag komt voornamelijk voor rekening van verwarming, daarna van warm tapwater. Koudebehoefte zit in koelfuncties als

koelkasten en vriezers. De warmte- en koudevraag van woningen ligt per gemeente ook telkens hoger dan van bedrijven, maar dit is vooral zo omdat woningen in de meerderheid zijn.

Overigens zou een koudevraag weggestreept kunnen worden tegen een warmtevraag, wanneer beiden tegelijk optreden. Niet alleen in stads- of dorpskernen (er is een behoorlijke periode dat woningen hun verwarming aan hebben terwijl kantoren aan het koelen zijn), maar ook binnen hetzelfde gebouw (de koeling staat aan, maar ook de verwarming). Het is dus op verschillende niveaus mogelijk om af te stemmen: op gebouwniveau: de warmtepomp die de koelkast koelt verwarmt het interieur, overschotten worden opgeslagen; op wijkniveau: warmte vrijkomend bij de koeling wordt gebruikt voor verwarming van woningen, al dan niet met tussentijdse opslag.

Aanbod van industriële restwarmte en –koude

Voor industrieterreinen wordt de warmte- en koudevraag bepaald door de industriële of chemische processen in die bedrijven. Deze vragen dan ook om een nauwkeuriger analyse per bedrijf.

Afstemming

Er zijn problemen bij de afstemming van energiereststromen: warmtevraag is seizoensafhankelijk en er is continue of asynchrone industriële productie. Het aanbod en de vraag moeten daarom behalve ruimtelijk ook temporeel met elkaar worden verbonden. Daar ligt een uitdaging. De allereerste nederzettingen waren exergetisch gezien een stuk beter georganiseerd dan tegenwoordig, en dat geldt ook voor sommige industriële complexen in de wereld. Discrepanties op temporeel gebied vragen om afstemming van functies die elkaar op gezette tijden kunnen voeden en om opslagtechnieken. Voor een optimale ruimtelijke integratie kunnen functies op elkaar worden afgestemd op basis van tijdsschema's (jaar, seizoen, dag).

Transportafstanden

Exergiecascladering zou binnen en direct rondom een industriegebied (glastuinbouw- en woongebieden) moeten plaatsvinden om transportafstanden kort te houden. De beperkte transportafstand van warmte leidt tot compactere gecascadeerde gebieden met een doorsnede van niet meer dan 20 km. Daarnaast betekent het een exergiegedreven terugkeer naar menging van energieproductie en andere functies, waar dat sinds de Tweede Wereldoorlog volledig gescheiden gebeurde. Dit betekent dat efficiënt van energie voorziene woongebieden (impliciet ook werkaccommodatie en horeca) straks tussen de industrie en glastuinbouw gesitueerd moeten worden. Vanuit het perspectief van ruimtelijke kwaliteit zal een nieuwe ontwerptaal uitkomst moeten bieden. Kortom, multifunctionaliteit en daarmee gepaard gaande afstemmingsoptimalisatie.

03.07 'Technische' energiebronnen

Met de titel van deze paragraaf, 'technische energiebronnen', worden energiebronnen en -technieken bedoeld die weliswaar niet direct duurzaam te noemen zijn maar welke een positieve bijdrage leveren op de CO₂-reductie t.o.v. huidige gebruikelijke fossiele bronnen. Hiermee worden zowel het schoon gebruiken van fossiele energie bedoeld als de inzet van restproducten en afvalstromen als energiebron, waarvan de energie momenteel verloren gaat, als ook energiebesparende technieken.

03.07.01 Fossiele brandstoffen

Schoon fossiel

De potenties voor eindige fossiele brandstoffen zoals aardgas en aardolie zijn tot een paar decennia na nu beperkt. Kolen worden vanwege hun voorzieningszekerheid en betaalbaarheid de laatste tijd echter weer gezien als alternatief voor aardgas in krachtcentrales [o.a. Werven, 2007]. De kolenvergassingstechniek maakt centrales schoner en efficiënter dan de oude kolencentrales maar een nadeel blijft de hoge CO₂-emissie. Als dit afvalgas wordt afgevangen en nuttig gebruikt

(bijvoorbeeld in de glastuinbouw) of opgeslagen (bijvoorbeeld in bijna lege aardgasvelden) wordt gesproken over 'schoon fossiel', maar dit komt dus door het voorkomen van CO₂-uitstoot.

Synthetisch aardgas

Een vergassingscentrale op kolen produceert naast elektriciteit ook synthetisch aardgas, ook wel syngas of SNG (synthetic natural gas) genoemd. Syngas kan in principe op het aardgasnet worden gevoed als groen gas, ECN onderzoekt dit.

Wanneer kolen of ook afval eerst in een vergassingscentrale worden vergast, komt ongeveer 5,8 m³/ton aan syngas (synthetisch gas) vrij [Afvalenergiebedrijf, 2008]. Dit gas bezit ongeveer 31 MJ/m³ wat overeen komt met 8,6 kWh_{pr}/m³. Dit komt dus neer op ongeveer 50 kWh_{pr}/ton. Het Afval Energie Bedrijf in Amsterdam benut dit syngas al.

De mogelijkheden voor het gebruik van syngas kunnen voor Groningen in de Eemshaven spelen.

03.07.02 Waterstof

Waterstof

Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager. Het kan met bepaalde technieken door toevoegen van energie vrijgemaakt worden maar ook vrijkomen als restproduct bij chemische processen.

Bij een chemische centrale levert de productie van een mol chloor (Cl₂) en natriumhydraat (NaOH) – voor de chemische industrie – ook 1 mol waterstof (H₂) op als restproduct. Deze waterstof kan met een PEM-centrale of met brandstofcellen worden omgezet in elektriciteit en zuiver water (H₂O) of in een verbrandingsmotor worden gebruikt.

Waterstof heeft een hoge energiedichtheid en de brandstofcellen die op waterstof werken hebben een hoge efficiëntie, hoge energiedichtheid, geen emissies en ze zijn voor 98% recycleerbaar (zowel het platina als de andere onderdelen). Brandend H₂ is kleurloos en straalt geen warmte uit. De hitte zit vooral in en boven de vlam, niet ernaast. De ontsteking in een waterstofauto bedraagt niet meer dan 60° warm, terwijl die in een benzineauto 1800° bereikt.

Een waterstofbus rijdt momenteel ongeveer 1:2,2. Met de huidige ontwikkelsnelheden zal dit spoedig naar 1:6 tot 8 (in l H₂) kunnen gaan. Van het bedrijf Air Products in Rotterdam wordt gezegd dat de productie van H₂ zo groot is dat het hele Nederlandse vervoer erop zou kunnen rijden.

Transportleidingen

Het huidige aardgasleidingnet kan in de toekomst ook worden gebruikt voor transport van andere gassen. Gasleidingen zijn er in soorten en maten. Alle leidingen moeten aan alle veiligheidseisen voldoen maar de oudere leidingen hebben een staalkwaliteit die niet gebruikelijk meer is.

Bij lage druk is veel mogelijk. Voorlopig zijn de leidingen nog nodig voor de aardgasdistributie. In een transitiefase is bijmengen met andere gassen mogelijk, maar dat moet dan op hoge druk, dan luistert alles vrij nauw. De geschiktheid voor transport van waterstof en biogas (en CO₂) hangt namelijk af van druk en partiaaldruk van de componenten. De bestaande gasleidingen zijn geschikt tot 40 bar (regionaal net) danwel 67 bar (hogedruknet) voor droog, niet-zuur gas. De Gasunie stelt daarbij ook waterdauwpuntseisen.

H₂ is een klein molecuul en kan *hydrogenbrittleness* veroorzaken, ook al bij lage percentages. Sporen zwavel dan wel H₂S in biogas kunnen ook corrosie veroorzaken. Combinatie van vochtigheid met CO₂ kan CO₂-corrosie geven.

Gezonde bedenkingen

Het voeden van gas in het bestaande aardgasnet is ingewikkeld. Niet alleen de druk is van belang, maar ook de gassamenstelling. De calorische waarde moet gelijk zijn, en ook mogen bepaalde vervuilingen niet aanwezig zijn, om de kwaliteit van de gasvoorziening niet te verstoren. Feitelijk gebeurt het dus tot nu toe niet, al zou het wel moeten kunnen in de geliberaliseerde gasmarkt.

03.07.03 Afval

Analoog aan de eerder genoemde WKK op afval en biomassa, is het wellicht zinvol om te onderzoeken of op wijkniveau een kleine afvalcentrale kan worden geplaatst om afval optimaal in te zetten in de energieketen. Hiermee wordt het afval ook niet onnodig ver vervoerd.

Het vergt nader onderzoek met betrekking tot de (gevaarlijke) emissies, maar het kan een stimulans zijn voor een bewustere omgang met afval.

Potentieel

De 'waste-2-energy' afvalverbrandingcentrale in Amsterdam haalde in 2006 540 GWh_e uit 943 kiloton huishoudelijk afval [Afvalenergiebedrijf, 2008]. Dit komt overeen met een hoeveelheid elektrische energie van $(540 \cdot 10^6 / 943 \cdot 10^3 =) 573$ kWh/ton (0,6 kWh/kg). Volgens het CBS produceert een huishouden gemiddeld 0,57 ton afval per jaar. Dit zou volgens bovenstaande cijfers een jaarlijkse energiepotentie betekenen van $(0,57 \cdot 573 =) 326$ kWh. Het elektrisch potentieel van afval kan daarom als volgt worden aangegeven:

$$E_{afval,e} = 326 \cdot N_{huishoudens} \text{ [kWh}_e\text{]}$$

Naast deze potentie van elektrische energie, is er nog een aandeel aan restwarmte beschikbaar welke alleen lokaal kan worden benut. Wanneer er een efficiënte en schone kleine verbrander wordt ontwikkeld, kan deze warmte lokaal in een warmtenet voor bijvoorbeeld verwarming van woningen worden opgevoerd, anders blijft centrale verbranding de beste optie. Bij benutting van de restwarmte kan het totale rendement van een afvalverbrandingcentrale ongeveer 18% hoger worden. Het warmtepotentieel van afval is ongeveer 103 kWh/ton [Afvalenergiebedrijf, 2008], wat per huishouden neerkomt op:

$$E_{afval,th} = 59 \cdot N_{huishoudens} \text{ [kWh}_{th}\text{]}$$

Bedenkingen

Langeafstandstransport van afval per vrachtauto is energie-intensief; daarom speelt de trein of schip hierbij een belangrijke rol. Dit vergt de nodige logistiek, die ook gekoppeld kan worden aan scheiden van afval en andere voor- en nabewerkingstechnieken. Te onderzoeken valt of energie-efficiënte transportsystemen voor afval en biomassa (buizen, boten, treinen...) mogelijk zijn.

03.07.04 Nucleaire energie

In deze studie is overwogen om nucleaire elektriciteitsopwekking in de beschouwing mee te nemen. In het licht van de vermindering van CO₂-uitstoot wordt de optie van kernenergie recentelijk vaak aangehaald. Hoewel kernenergie een geschikte oplossing is voor de vermindering van CO₂ (dit is te zien in het verwezenlijken van de CO₂-doelstellingen in Frankrijk [Capgemini, 2006]), mag het zeker niet worden beschouwd als een duurzame energieoplossing. Los van de kernafvalkwestie – afvalverbrandingsinstallaties leveren ook slakken op die veilig moeten worden opgeslagen, al gaat het niet om radioactief afval – is uranium beperkt beschikbaar (schattingen gaan uit van een reserve van 40 jaar).

Groningen heeft bovendien geen specifieke potenties op het nucleaire gebied. Het ligt daarom veel meer voor de hand om in te steken op de energiepotenties die al aanwezig zijn en die op basis van de regionale kwaliteiten kunnen worden uitgebreid.

03.08 Energiebesparende technieken in woningen

03.08.01 Micro-WKK

Een micro-WKK kan in een enkele woning geplaatst worden en wekt tegelijk warmte en elektriciteit op voor gebruik in huis. Het toestel bestaat uit een hoogrendementsketel en een kleine aardgasmotor. De motor drijft een generator aan die elektriciteit produceert. Daarbij gaat nauwelijks energie verloren. De restwarmte van de motor wordt namelijk gebruikt voor verwarming van het huis en voor warm water om bijvoorbeeld te douchen. Wanneer er meer elektriciteit nodig is dan de aardgasmotor kan leveren, dan wordt stroom uit het elektriciteitsnet gebruikt. Als er meer elektriciteit wordt geproduceerd dan nodig is, wordt dit terug geleverd aan het elektriciteitsnet.

03.08.02 Decentrale sanitatie

Sanitatie wordt hier meegenomen omdat dit in de bebouwde omgeving met de huidige gebruikelijke manier van sanitatie veel energie vraagt in de verwerking. Er bestaan echter technieken die niet alleen veel energie en ook water kunnen besparen maar zelfs energie kunnen opleveren.

In het huidige systeem worden de toiletten met veel schoon drinkwater gespoeld en komen samen met ander grijs afvalwater en vaak ook nog regenwater via het riool bij een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) terecht die veel energie verbruikt.

Bij een duurzame sanitatie wordt het gebruik van spoelwater tot een minimum beperkt en wordt hergebruik van nutriënten nagestreefd bij het in acht nemen van een goede hygiëne. Hierbij wordt het milieu, drinkwater en energie bespaard en kunnen afvalstoffen nog nuttig ingezet worden. Daarnaast kan de infrastructuur van het riool korter en versimpeld zijn doordat dicht bij de bron behandeld wordt. Op verschillende manieren en systeemgroottes kan deze decentrale sanitatie en hergebruik (DESAH) worden uitgevoerd.

Met behulp van vacuümtoiletten kunnen menselijke fecaliën en urine met minimale toiletspoeling (minder dan 1 liter per spoeling) gescheiden van het grijswatercircuit afgevoerd worden. Dit bespaart niet alleen veel water maar levert ook een scheiding op tussen grijs en zwart water. Waarbij het grijs water het overige afvalwater is.

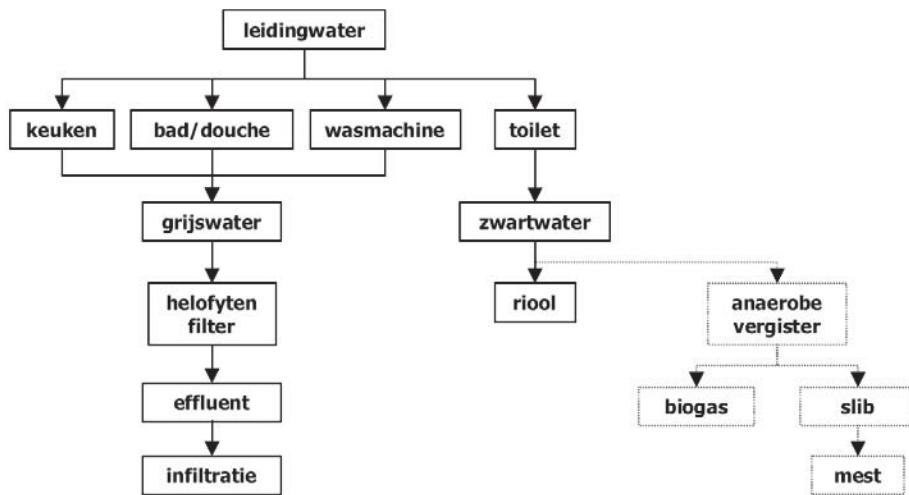
Met een centraal vacuümsysteem voor een hele wijk kan dit zwarte water centraal verzameld worden en in het energiesysteem ingezet worden door het in een vergistinginstallatie tot biogas te vergisten. Dit is de enige techniek van sanitatie die energie oplevert in plaats van verbruikt.

Het overige grijze water is gemakkelijker te zuiveren wat op duurzame wijze kan in een helofytenfilter. Een helofytenfilter is een moerasachtig ecosysteem waarin planten (vaak riet) en met name hun wortels als filter dienen. Dit bespaart op de aanleg van grote rioleringsstelsels en op energiegebruik van een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Sanitatie Flintenbreite, Lübeck

De wijk Flintenbreite in Lübeck in Duitsland is opgezet als demonstratieproject vanuit het ministerie van Milieu. In de wijk worden afvalwaterstromen bij de bron gescheiden. Het zwart water wordt d.m.v. een vacuümsysteem verzameld in een kleine vergister tot biogas vergist. Samen met aardgas wordt dit gas in een WKK gebruikt om de wijk van elektriciteit en warmte te voorzien.

Het grijs water wordt naar een helofytenfilter geleid, dat in de wijk ligt. Volgende figuur toont het stromendiagram van de sanitatie in Flintenbreite.



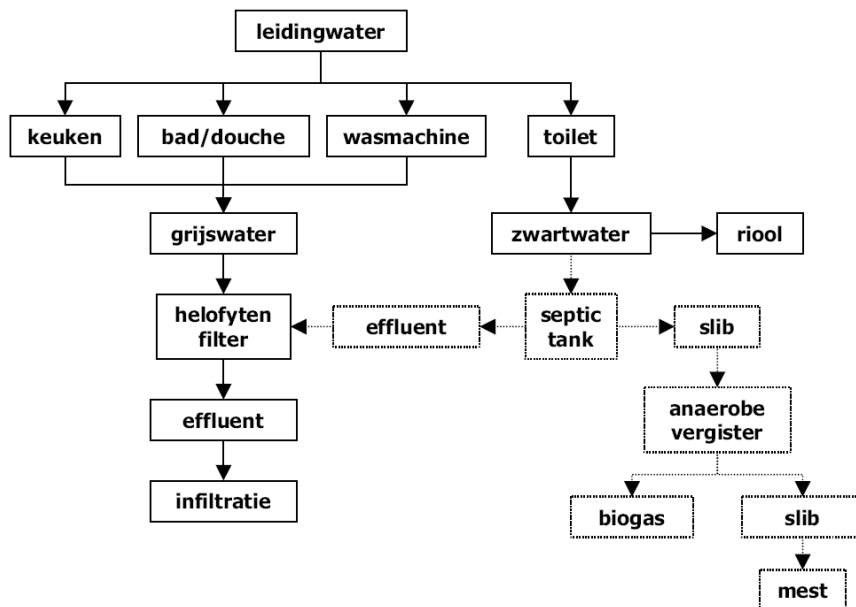
Figuur 34: Stromendiagram van de sanitatie in Flintenbreite [Waterzuivering dichterbij huis, 2006]

Sanitatie EVA-Lanxmeer, Culemborg

In de wijk Lanxmeer in Culemborg vindt net als in Flintenbreite scheiding plaats in de afvalwaterstromen. Het zwartwater wordt per 8 woningen apart verzameld het komt via waterbesparende toiletten en een booster in een septic tank terecht samen met versneden groente-, fruit- en tuinafval. Van hier uit wordt het naar een vergister vervoerd waar het tot biogas wordt omgezet, het overgebleven slib wordt als compost gebruikt.

Oorspronkelijk was de bedoeling een dubbel waterleidingsysteem te gebruiken waarbij ook regenwater ingezet werd voor o.a. toiletspoeling, dit is komen te vervallen door ingewikkelde regelgeving.

Onderstaande figuur toont het stromendiagram van de sanitatie in Lanxmeer.



Figuur 35: Stromendiagram van de sanitatie in Lanxmeer [Waterzuivering dichterbij huis, 2006]

04 REFERENTIES

- Afvalenergiebedrijf; website: www.annualreport.afvalenergiebedrijf.nl; geraadpleegd juni 2008
- Agriholland website; www.agriholland.nl; geraadpleegd februari 2009
- Bioenergiedorf Jühnde; website: www.bioenergiedorf.info; geraadpleegd februari 2009
- Broersma S.; De PV-wirefree zonwering (afstudeerverslag); TU Delft, 2008
- Caggemini; Onderzoek naar de structuur en het niveau van elektriciteitsprijzen voor Noordwest-Europese grootverbruikers; Caggemini, 2006
- CBS; website: www.statline.nl; geraadpleegd juni 2008
- Dienst Regelingen; Mestbeleid 08/09 Tabellen; 2008
- Dobbelsesteen A. van den; 'Energy Potential Mapping', in: Bekkering H., Hauptmann D., Heijer A. den, Knaack U. & Manen S. van (eds.), Architectural Annual 2006-2007 (76-81); 010 Publishers, Rotterdam, 2008
- Dobbelsesteen A. van den, Gommans L. & Roggema R.; 'Smart Vernacular Planning - Sustainable regional design based on local potentials and optimal deployment of the energy chain', in: Proceedings SB08; Melbourne, Australia, 2008a
- Dobbelsesteen A. van den, Timmeren A. van & Mensinga P.; 'Smart and Bioclimatic Design - An effective approach to the use of resources and deployment of local qualities', in: Proceedings SB0A8; Melbourne, Australia, 2008b
- Dobbelsesteen A. van den, Jansen S. & Timmeren A. van; Naar een energiegestuurd Omgevingsplan Groningen; TU Delft, 2007a
- Dobbelsesteen A. van den, Jansen S., Timmeren A. van & Roggema R.; 'Energy Potential Mapping - A systematic approach to sustainable regional planning based on climate change, local potentials and exergy', in: Proceedings of the CIB World Building Congress 2007 (CD-rom); CIB/CSIR, Cape Town, 2007b
- Dobbelsesteen A. van den, Jansen S., Vernay A.L. & Gommans L.; 'Building within an energetic context - Low-exergy design based on local energy potentials and excess or shortage of energy', in: PLEA 2007 – Sun, Wind and Architecture (50-56); NUS, Singapore, 2007c
- Dobbelsesteen A. van den, Roggema R., Stegenga K., Slabbers S.; 'Using the Full Potential - Regional planning based on local potentials and exergy', in: Brebbia C.A. (ed.), Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Issues; WIT Press, Southampton, 2006a
- Dobbelsesteen A. van den, Roggema R. & Stegenga K.; 'Grounds for Change - The Sustainable Redevelopment of a Region under Threat of Climate Change and Energy Depletion', in: Proceedings SASBE 2006 – 2nd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments (435-442 (CD-rom)); CIB / SRIBS, Shanghai, 2006b
- Eneco website; www.eneco.nl; geraadpleegd februari 2009
- Gommans L. & Dobbelsesteen A. van den; 'Synergy between exergy and regional planning', in: Brebbia C.A., Popov V. (ed.), Energy and Sustainability (103-112); WIT Press, Southampton, 2007
- Graaf P. de et al.; Waterzuivering dichterbij huis; Amsterdam 2006
- IKC Landbouw 1996; Informatie en kenniscentrum voor de veehouderij
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change); Climate Change 2007: Fourth Assessment Report; IPCC, 1 Feb 2007
- IPCC; Climate Change 2001: Synthesis Report (Technical Summary); IPCC: www.ipcc.ch, 2001
- Jong T.M. de & Dobbelsesteen A. van den; Milieueffecten van het energiegebruik; Publicatiebureau Bouwkunde, Delft, 1999
- Kennisakker, website; www.kennisakker.nl, geraadpleegd januari 2009
- KNMI; website: <http://www.knmi.nl>, januari 2007
- KNN Milieu; Mestvergisting provincie Groningen - Beleidskader en stimuleringsprogramma voor initiatiefnemers en gemeenten; KNN Milieu, Groningen, 2006
- Kool A. et al.; Kennisbundeling covergisting; Culemborg 2005
- Kroonenberg S.; De menselijke maat - De aarde over tienduizend jaar; Uitgeverij Atlas, Amsterdam/Antwerpen, 2006
- McDonough W. & Braungart M.; Cradle to Cradle - Remaking the Way We Make Things; NorthPoint Press, 2002
- Mels A. et al.; Afvalwaterketen ontketend; Utrecht, 2005
- Milieucentraal; website: www.milieucentraal.nl; geraadpleegd juni 2008
- Noorman K.J. et al.; Energie(k) Noord-Nederland; KNN Milieu, Groningen, 2006
- NOST network; website: <http://www.twanetwerk.nl/>, geraadpleegd 8 april 2008
- Ormeling F.J. (ed); De Grote Bosatlas - 48e druk; Wolters-Noordhoff, Groningen, 1976
- Provincie Groningen; website: www.povincieg groningen.nl; geraadpleegd januari 2009
- Roggema R., Dobbelsesteen A. van den & Stegenga K. (eds); Pallet of possibilities; Provincie Groningen, 2006
- SenterNovem; Windkaart van Nederland – op 100 m hoogte (CD-rom); SenterNovem, Utrecht, 2006
- SenterNovem; Cijfers en tabellen 2007; 2007

- Stichting Warmtepompen; Wegwijzer 2007; Stichting Warmtepompen, 2007
- Timmeren, A. van; Autonomie & Heteronomie - Integratie en verduurzaming van essentiële stromen in de gebouwde omgeving; Eburon, Delft, 2006
- Vries B., Jong A. de, Rovers R., et al.; Energie a la carte; Wageningen 2008
- Wageningen Universiteit en Researchcentrum; www.mestverwerking.nl; geraadpleegd januari 2009
- Werven G. van; 'Kansen voor afvang, transport en opslag van CO2in Noord-Nederland', in: presentatie op www.energyvalley.nl; Energy Valley, Groningen, 2007
- Wolters-Noordhoff; De Grote Bosatlas - editie 52, vijfde oplage; Wolters-Noordhoff Atlasproducties, Groningen, 2005

