

**Verslag van de buitenlandse excursie
Hydrologie naar de landendriehoek
Frankrijk, Duitsland en Luxemburg
30 augustus tot 5 september 1998**

P.M.M. Warmerdam (ed.) en P.J.J.F. Torfs (ed.)

RAPPORT 87

Sectie Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

969670

INLEIDING

De jaarlijkse buitenlandse excursie voor doctoraalstudenten hydrologie en waterbeheer vond in 1998 plaats van 30 augustus t/m 4 september naar Noord-Oost Frankrijk, Saarland en Luxemburg. Het doel van de excursie was de deelnemers kennis te laten nemen van de hydrologische problematiek van hoogwater in het gebied van de Maas en Moezel, alsmede van de hydrologische gevolgen van de Saarkanalisisatie en maatregelen tegen de gevolgen van kanalisatie van de Boven-Rijn. Voorts werden twee onderzoeksgebieden in de Vogezen van de Universiteit Louis Pasteur te Straatsburg en één de Universiteit van Trier in de Eifel bezocht, alsmede de waterkrachtcentrale van Vianden.

Mede door de zeer enthousiaste begeleiding van de gastheren is het doel van de excursie ruimschoots bereikt. Een groot aantal hydrologische facetten is, zoals uit dit verslag duidelijk mag worden aan de orde geweest.

Zo is de kanalisatie van de Saar en daaruit voortvloeiende werken een belangrijk illustratief voorbeeld van menselijke ingrepen in het hydrologische systeem. Deze werken, de aanleg van retentiebekkens langs de Boven-Rijn, alsmede de aanpassingen in het bovenstroomse Maasgebied kunnen van invloed zijn op het hoogwater van Rijn en Maas in ons land.

Aan het welslagen van deze excursie hebben in belangrijke mate bijgedragen:

D. Viville	-	Université Louis Pasteur
A. Gründner	-	Gewässerdirektion Oberheim
A. Valentin	-	Service de Navigation de Nord Est
L. Michels	-	Service de l'Hydrologie et de l'Annonce de Crue
Fr. Arnold	-	Diren Loraine
H. Caspari	-	Wasser- und Schiffahrtamt Saarbrücken
P. Meijer	-	Wasser- und Schiffahrtamt Saarbrücken
Prof. W. Symader	-	FB. Hydrologie, Universität Trier
T. Soirant	-	Société Electrique de l'Our

Niet in de laatste plaats is het slagen van deze excursie te danken aan de goede verstandhouding binnen de groep deelnemers.

Piet Warmerdam

Paul Torfs

oktober 1998

Deelnemers

Suzanne van den Bos

Arno Hilberts

Mechteld ter Horst

Arnold Pors

Edwin van de Pouw Kraan

Joost Rengers

Wienus van de Scheur

Irene Schrottenboer

Hanneke Schuurmans

Nila Taminiau

Josje Terlouw

Ryan Teuling

Martina van der Velden

Frank Zom

Programma buitenlandse excursie hydrologie 1998

zondag 30 augustus:

Vertrek 9.30 uur van De Nieuwlanden naar Straatsburg.

maandag 31 augustus:

Bezoek onderzoeksgebiedjes van de Universiteit Louis Pasteur in de Vogezen

dinsdag 1 september:

**Problematiek kanalisatie Rijn, hoogwater golven, bergingspolders.
Gewasserdirektion Oberrhein/Hochrhein**

woensdag 2 september:

**Beheer Moselle/Meuse door Service de Navigation du Nord-Est te Nancy en
Service Hydrologie et Annonce de crues te Metz**

donderdag 3 september:

**Kanalisatie van de Saar. Wasser-Schiffahrtamt Saarbrücken.
Bezoek aan proefgebied Newel van de Universiteit Trier**

vrijdag 4 september:

Bezoek aan het Pumpspeicherkraftwerk te Vianden

1. Strengenbach catchment, Vogezes

Universiteit Louis Pasteur, Straatsburg

Inleiding

Als eerste bezoeken wij de Strengenbach catchment in de Vogezes, waar dr. Viville onderzoek verricht naar bos-en berghydrologie. Het oppervlak van het stroomgebied is 80 ha. Het gebied ligt op een hoogte tussen de 900 en 1100 m. In de hogere delen valt gemiddeld 1400 mm per jaar, in de lagere delen 500 mm. Regenmeting in dit gebied is lastig, dit komt door de grote ruimtelijke variatie en de interceptie van het naalddek. Het landgebruik is overwegend productiebos (naaldbos). De bomen kunnen hier niet potentieel groeien door een water tekort. Dit is dus niet de oorspronkelijke vegetatie, die bestond uit loofbos en grasland. De totale afvoer bedraagt gemiddeld 843 mm en de potentiële verdamping 560 mm (Fig. 1).

Het gebied kenmerkt zich door vergeling van het naaldbos. Dit door de eigen afscheiding van organische zuren.

De stroomgebiedsgrens is zeer moeilijk te bepalen. Dit komt doordat de topografische waterscheiding en de grondwaterscheiding niet samenvallen. Niet alle neerslag infiltreert naar het grondwater. Er is sprake van oppervlakkige- en oppervlakteafoer.

De berging in dit stroomgebied blijkt groter te zijn dan van te voren aangenomen, er blijkt veel water te zitten in scheuren in de ondergrond. De verblijftijd is daardoor 3 tot 4 jaar.

De doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de atmosferische input, zoals neerslag, depositie, energie en het bestuderen van de gevolgen ervan op de chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater.

Hoofdstation

Bij het hoofdstation is een meteoveld ingericht. Hier worden de volgende gegevens gemeten:

Natte en droge depositie

Druppelgrootte

Hoeveelheid mist

Luchtvochtigheid

Temperatuur

Neerslag (tippingbucket-systeem en standaardregenmeters)

Hoeveelheid sneeuw

Sapstroom metingen

Hydrological characteristics

Mean annual characteristics values (1986-1995)

Precipitations : 1357 mm

Runoff : 843mm (mean annual discharge : 21.4 l/s i.e 26.7 l/s/km²)

PET : 561mm

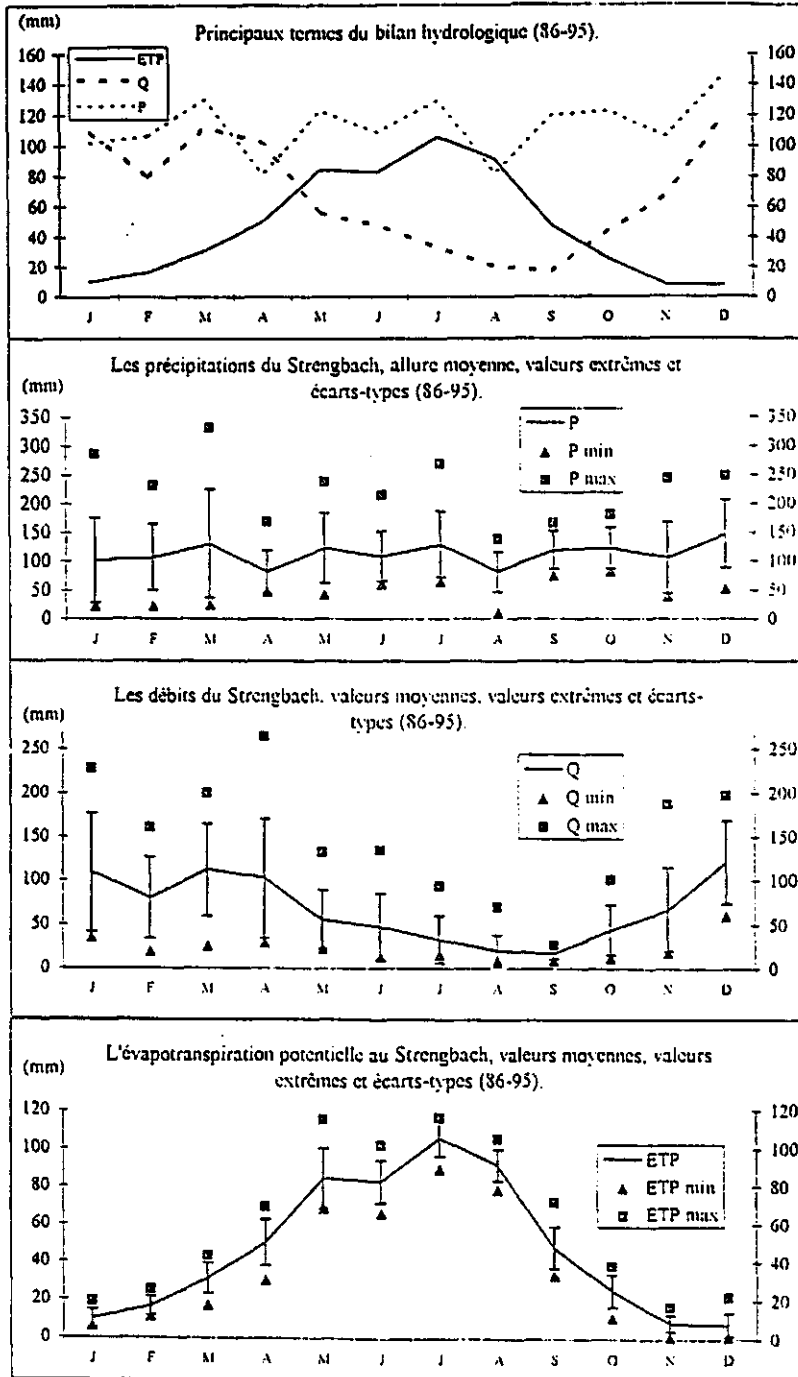


Figure 1.

Monthly (mean, standard deviation, range) components (Precipitations: P, Potential Evapotranspiration: PET, Discharge: Q) of the Strengbach hydrological balance over the period 1986-1995.

Throughfall-neerslag

Stemflow

Het nadeel van dit binnen de invloedssfeer van snelgroeïende bomen gelegen station is dat de metingen direct worden beïnvloed.

Er zijn "lekken" in de massabalans, maar er wordt door dr Viville onderzoek gedaan naar het kloppend maken van deze balans. Het onderzoek spitst zich vooral toe op de laatste twee metingen. Er zijn allerlei meetopstellingen bedacht om dit te kunnen meten.

Tevens wordt van deze punten een chemische balans opgesteld, waaruit blijkt dat het doorval water veel meer sterke zuren bevat dan regenwater, dit door de droge depositie op het naalddek.

De interceptie van naaldbomen bedraagt ca. 30% en voor loofbomen (beuken) 25%. Verdamping van interceptiewater is de grootste verdampingspost.

Afvoermeting

De afvoer wordt gemeten met een H-flume. De maximale afvoer bij van dit gebied bedraagt 700 l/s. De gemiddelde afvoer bedraagt 20 l/s. Bij de flume is sprake van een continue debietmeting. Tevens wordt de geleiding bepaald, deze bedraagt tussen de 30 en 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Er is sprake van een snelreagerend systeem. De neerslag duwt het grondwater voor zich uit, waardoor na een regenbui al gauw een piek in de afvoer is te zien. In het begin van een afvoergolf komt het water uit het benedenstroomse verzadigde gebied, daarna uit diepere lagen in het bovenstroomse gebied.

2. Ringelbach catchment

De oppervlakte van dit stroomgebied is 36 ha en bevindt zich op een hoogte tussen de 700 en 1000 m. Bovenstrooms bestaat de ondergrond uit zandsteen en gaat benedenstrooms over in graniet. In het gebied worden vooral meteorologische gegevens ingewonnen. Er wordt gekeken naar de dagelijkse en ruimtelijke variatie van wind- en neerslagcijfers. De gemiddelde neerslag bedraagt 1200 mm/jaar waarvan de helft verdampt en de helft wordt afgevoerd (zie Fig. 2).

In het gebied zijn droge en natte plekken waar te nemen. Deze worden veroorzaakt door zeer lokale kwelstromen.

Bij het uitlaatpunt (een V-notch) bedraagt het maximale debiet 150 l/s, gemiddeld enkele liters per seconde. De EC van de Ringelbach is hoger dan in de Strengenbach, doordat het water door een rijker gesteente stroomt.

Bassin versant du Ringelbach

Situation :

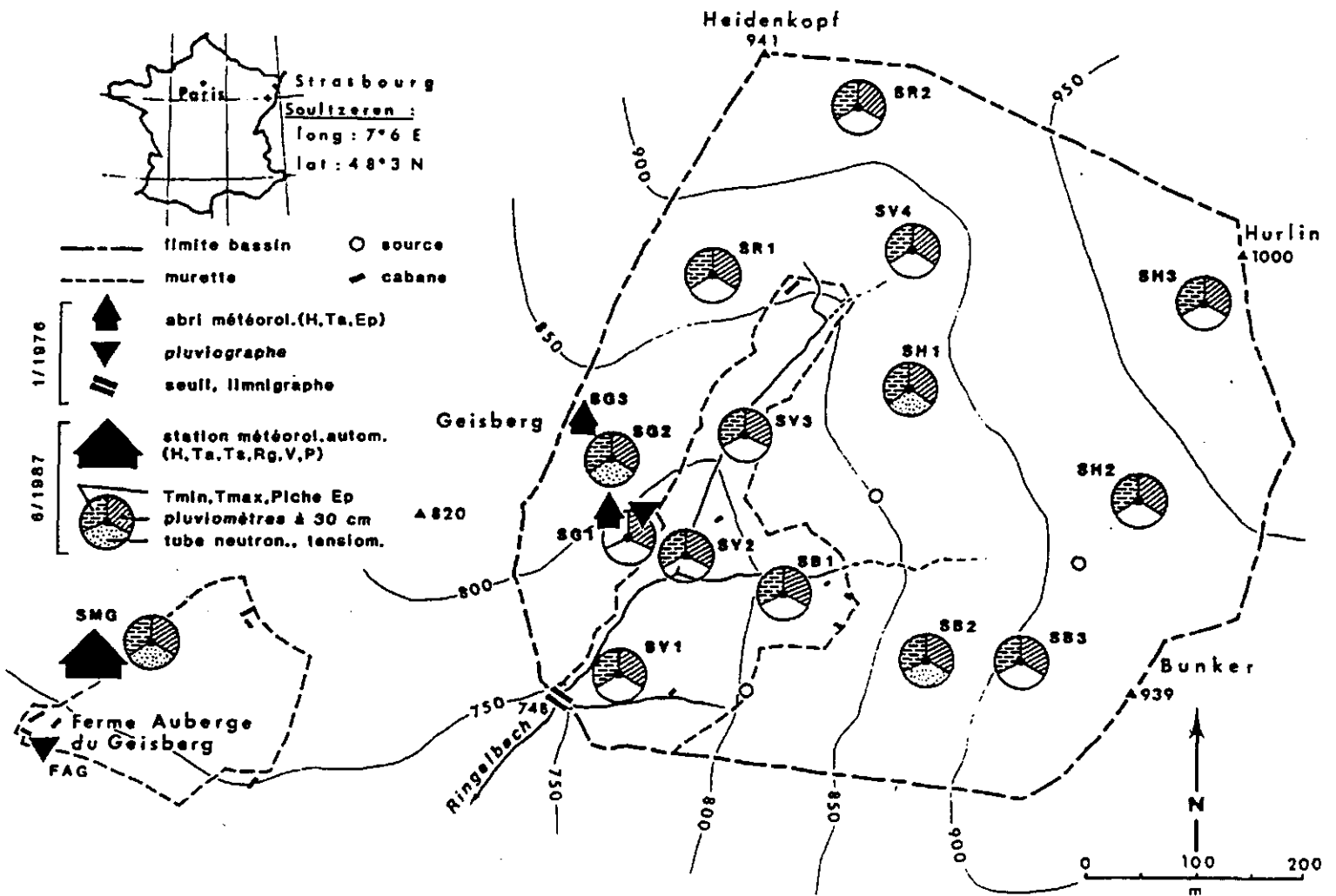
- Versant oriental des Vosges, Bassin de la Fecht. Commune de Sultzeren. Ensemble du bassin situé sur un vaste adret.

Caractéristiques physiques :

- Surface : 0,36 Km²
- Altitudes extrêmes du bassin : 748 et 1000 m.
- Nature géologique du substratum : granites, grès.
- Caractéristiques pédologiques : sols bruns ocreux.
- Climat tempéré océanique de montagne.
- Végétation : pâturages et prairies (75%), forêt et taillis (25%).

Caractéristiques hydrologiques :

- Précipitations moyennes annuelles : 1250 mm .
- Débit moyen annuel (lame d'eau écoulée) : 8 l/s.
- Régime pluvio - océanique à "tendance évaporale" marquée



BASSIN DU RINGELBACH (36 ha), SOULTZEREN (Haut-Rhin): LOCALISATION DES EQUIPEMENTS DE MESURE

Figur 2.

MAP OF THE CLIMATO-HYDROLOGIC EQUIPMENT

3. Rijnkanalisatie en bergingspolders **Gewässerdirection Südlicher Rhein**

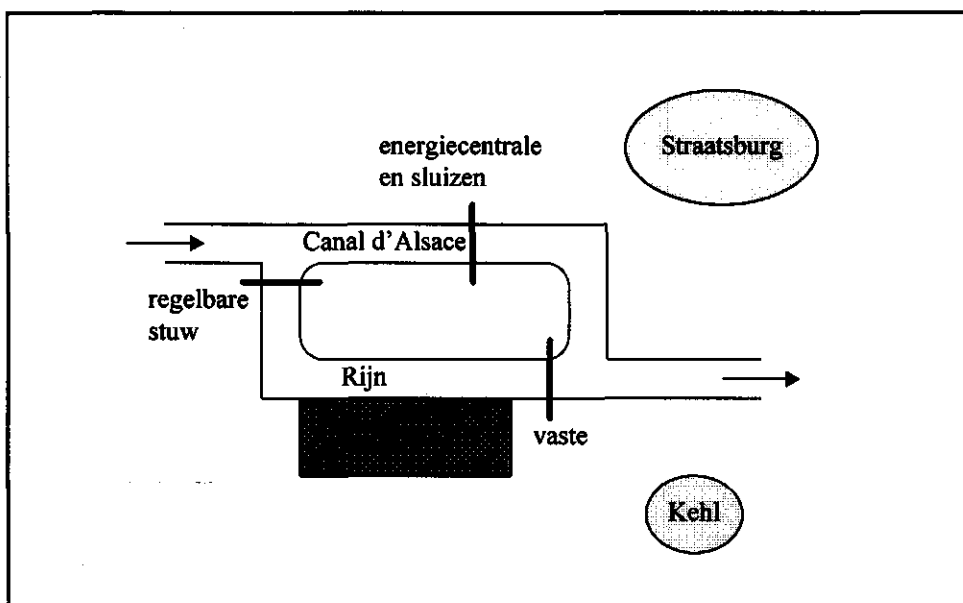
Op dinsdag 1 september waren we te gast bij de Gewässerdirektion Südlicher Rhein. We werden ontvangen en rondgeleid door dr. Gündner. Onderwerp van deze excursie was de hoogwaterproblematiek van de Rijn. Daarvoor werd het Kulturwehr Kehl/Straßburg bezocht.

De Rijn heeft een bewogen geschiedenis achter de rug. In het begin van de 19^e eeuw had de Rijn nog haar natuurlijke loop. De Rijn was in de Rijnslenk tussen het Zwarte Woud en de Vogezen een breed uitwaaierende rivier die regelmatig buiten haar oevers trad. Voor de bewoners in dit vruchtbare gebied was dit lastig. Ook was er nauwelijks scheepvaart mogelijk. In 1817 werd daarom onder leiding van ing. Tulla begonnen met de eerste 'correctiewerken'. De bedding van de Rijn werd gefixeerd, meanders afgesneden, dijken aangelegd. Deze werken zijn, weliswaar soms met lange tussenpauzen, doorgegaan tot in 1977.

De voordelen van de werken hebben de nadelen lange tijd volledig overschaduwd. De grens tussen Duitsland en Frankrijk kon hiermee precies worden vastgelegd, dorpen werden voortaan beschermd tegen hoogwater, de Rijn was voortaan volledig bevaarbaar en ten slotte kon met het ontstane hoogteverschil bij de stuwen energie worden opgewekt. Met name Frankrijk heeft hier dankbaar gebruik van gemaakt. In het Grand Canal d'Alsace werden vele energiecentrales gebouwd. Dit was een gevolg van het verdrag van Versailles (1919) waarmee Frankrijk zich het recht verwierf water uit de Rijn te gebruiken voor elektriciteitsproductie. Door alle ingrepen nam de oppervlakte van de stroomvlakte af van meer dan 1000 tot 130 km². Dit had twee effecten: de berging nam dramatisch af waardoor hoogwatergolven benedenstrooms grotere schade konden aanrichten en de zeldzame natuur in de natte stroomvlakte verdween (en daarmee de muggenplaag, wat de oorspronkelijke reden was van kanalisatie).

Het duurde lang voordat het besef doordrong dat er iets aan de problemen van hoogwater gedaan moest worden. In 1968 was er al een Internationale Hoogwaterstudiecommissie voor de Rijn opgericht waar naast Duitsland Frankrijk, Zwitserland en Oostenrijk zitting in hadden, maar het moest nog tot 1982 duren voordat er een verdrag werd getekend tussen Duitsland en Frankrijk. In dit verdrag stonden afspraken over de aanleg van bergingspolders en over de regeling van de afvoer door de Franse centrales in het Grand Canal d'Alsace. Tijdens hoogwater zou meer water door de oude Rijnbedding gestuurd worden zodat in de bergingspolders zoveel mogelijk water geborgen kan worden.

Gevolg van dit verdrag was dat er bij Kehl een extra stuw gebouwd moest worden om water in de bergingspolders te kunnen krijgen. Het kanaal met stuw en energiecentrale bij Straßburg stamden



Figuur 3. Situatieschets.

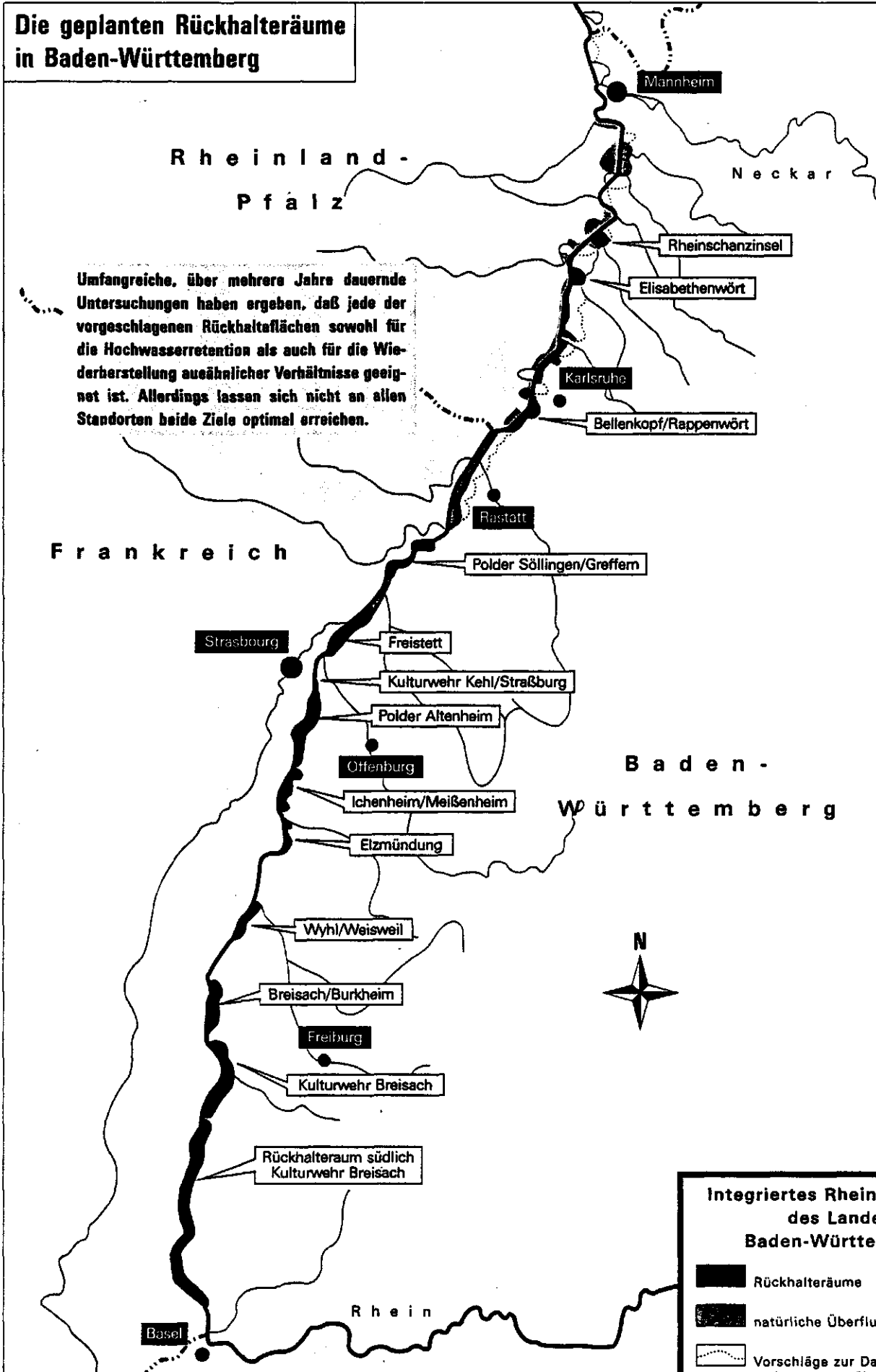
al uit 1970. De nieuwe stuw, de Kulturwehr Kehl/Straßburg, werd in 1985 in bedrijf genomen (Fig. 3). Naast bescherming tegen hoogwater zorgde deze stuw ook voor betere grondwaterstanden voor de landbouw.

In 1988 stemde de Landesregierung van Baden-Württemberg toe met het 'Integrierten Rheinprogramm'. Doel van dit programma was niet alleen bescherming tegen hoogwater maar ook een duurzame ontwikkeling van natuur in de uiterwaarden. In het kader van dit programma werden langs de Rijn bergingspolders aangelegd waarin de typische uiterwaarden-vegetatie weer terug moest komen. Bovenstrooms van Straßburg werden dat de polders Altenheim I + II en die van de Kulturwehr Kehl. Deze hebben een gezamenlijke oppervlakte van 700 ha en kunnen maximaal 55 miljoen m³ water bergen. Voor een overzicht zie Figuur 4. In sommige delen van de polders is nog plaats voor landbouw, al is deze niet intensief en moet deze altijd wijken in geval van hoogwater (groot risico). Om het natuurbeheer in de polders zo effectief mogelijk te maken ging in 1990 het beheer van Kulturwehr over naar de Wasserwirtschaftsverwaltung. Om de typische uiterwaarden-vegetatie te behouden en te bevorderen worden de polders twee maal per jaar (herfst en lente) onder water gezet (zgn. Ökologischer Flutungen). In totaal kost het Integrierten Rheinprogramm ruim 1 miljard DM. De totale schade van een grote overstroming van de Rijn tussen Iffezheim en Bingen wordt geschat op ruim 12 miljard DM.

Hoe wordt nou het beheer van de polders in geval van hoogwater geregeld? In de normale situatie, bij afvoeren van minder dan 1415 m³/s (dit is het gemiddelde gedurende 300 dagen per jaar), gaat er 15 m³ over de Kulturwehr. Dit is Frankrijk verplicht. De rest gaat naar de centrale. Aangezien de centrale een maximum capaciteit heeft van 1400 m³/s gaat bij een grotere afvoer de

**Die geplanten Rückhalteräume
in Baden-Württemberg**




Umfangreiche, über mehrere Jahre dauernde Untersuchungen haben ergeben, daß jede der vorgeschlagenen Rückhalteflächen sowohl für die Hochwasserretention als auch für die Wiederherstellung ausökölogischer Verhältnisse geeignet ist. Allerdings lassen sich nicht an allen Standorten beide Ziele optimal erreichen.

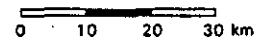


Mit Hilfe eines mathematischen Hochwasserablaufmodells wurde überprüft, ob die im Rahmenkonzept des Integrierten Rheinprogramms festgelegten Maßnahmen im Zusammenwirken mit den Maßnahmen in Frankreich und Rheinland-Pfalz die erforderliche Wirksamkeit gegen ein 200 bzw. 220jähriges Hochwasserereignis erbringen.

Die Ergebnisse belegen die Zielerreichung. Dabei werden alle im Rahmenkonzept des Integrierten Rheinprogramms vorgesehenen Standorte mit einem Gesamtvolumen von ca. 170 Mio m³ benötigt.

**Integriertes Rheinprogramm
des Landes
Baden-Württemberg**

-  Rückhalteräume
-  natürliche Überflutungsfläche
-  Vorschläge zur Dammrückverlegung aus ökologischer Sicht



Figur 4.

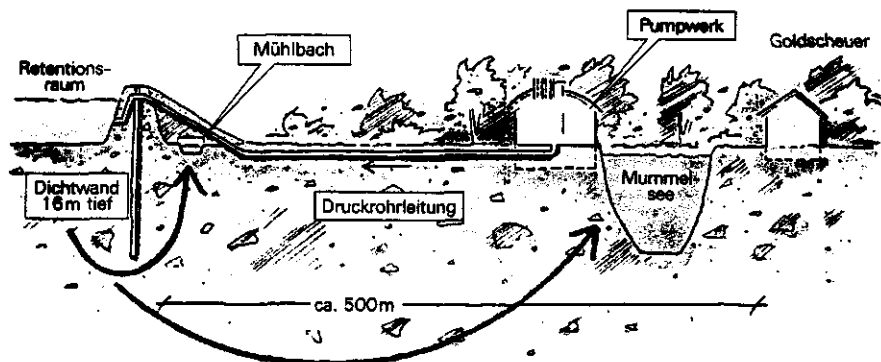
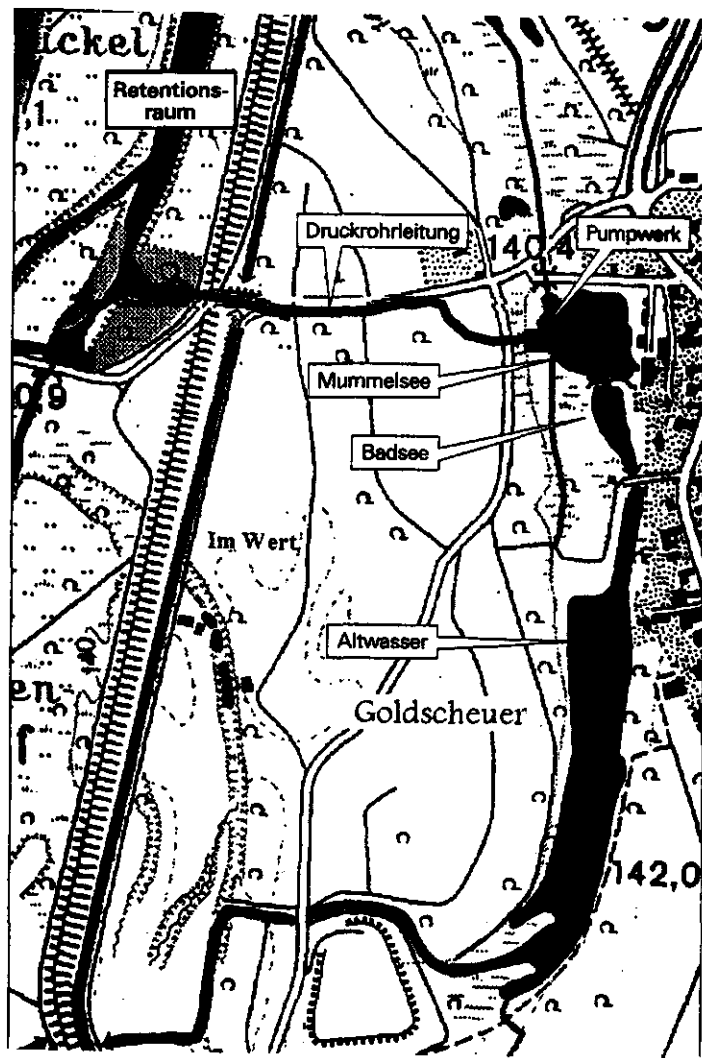
rest ook over de Kulturwehr. Voor het beheer van de bergingspolders geldt de volgende tabel:

Tabel 1. Beheer bergingspolders

<u>fase</u>	<u>voorwaarde</u>	<u>alternatieve voorwaarde</u>
Vorentleerung	$Q > 2800 \text{ m}^3/\text{s}$ en $HVZ_{\text{maxau}} > 3800 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{\text{maxau}} > 3800 \text{ m}^3/\text{s}$
Retention	$Q_{\text{maxau}} > 3800 \text{ m}^3/\text{s}$ en $HVZ_{\text{maxau}} > 4200 \text{ m}^3/\text{s}$	
Entleerung	$Q_{\text{maxau}} < 3600 \text{ m}^3/\text{s}$	

De voorspellingen van Rijnafvoeren worden gedaan door de Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) te Karlsruhe. Hierbij wordt gebruik gemaakt van neerslaggegevens en waterstanden, zowel van de Rijn, de Neckar als van enkele andere zijrivieren. Voorspellingen worden gemaakt voor de belangrijkste meetstations in Duitsland waaronder Maxau bij Karlsruhe.

Door het in gebruik nemen van de bergingspolders bij hoogwater ontstaat een nieuw probleem: de grondwaterstanden in de omgeving stijgen. Probleem hierbij is dat de bergingspolders vaak dicht tegen de dorpjes zijn aangelegd. Door het onderlopen van kelders kan vaak aanzienlijke schade optreden. In een oude Rijnarm (Mummelsee) achterlangs enkele dorpjes (o.a. Goldscheuer) wordt gedurende hoogwater (grond)water weggepompt om water in de kelders te voorkomen. Hiertoe is een kostbaar pompgemaal gebouwd, dat alleen bij hoogwater wordt gebruikt. Het water wordt via een buis naar de uiterwaarden teruggepompt. In de dijk langs de uiterwaarden is tot 16 m diepte een ondoorlatend scherm geplaatst om de grondwaterbeweging richting dorpen te beperken (zie Fig. 5).



*Druckwasserausbreitung
bei einem Einstau*

Figur 5. Grundwaterpompstation Mummelsee.

4. Beheer Moezel en Maas

"Service de Navigation du Nord-Est", Nancy

Op 2 september waren we 's morgens ontvangen op het kantoor van de "Service de Navigation du Nord-Est" te Nancy door dr. Valentin en enkele medewerkers, alsmede de heer Michels van het Ministerie van Milieu van het departement Lotharingen.

Het Service de Navigation du Nord-Est is een organisatie die is opgebouwd uit verschillende diensten, te weten:

- Water
- Ontwikkeling
- Exploitatie
- Civiel-technische werken

De organisatie is verantwoordelijk voor de vaarwegen zoals onderhoud en peilhandhaving in het gebied zoals deze zijn aangegeven op de kaart in figuur 6. Het betreft de kanalen langs de Maas (Canal de l'Est, de Moezel en de verbinding tussen de Marne en de Rijn (Canal de Marne an Rhin). Het gaat om zo'n 6800 km aan vaarwegen. De inkomsten van deze dienst komen voor een belangrijk deel uit lasten die aan de gebruikers worden opgelegd (scheepvaart). De dienst water houdt zich voornamelijk bezig met het kwalitatief waterbeheer, het in de kaart brengen van overstromingsgebieden en het vaststellen van de kwaliteit van de dijken.

Met betrekking tot het in kaart brengen van overstromingsgebieden worden gegevens ingezameld tijdens overstromingen. Zo worden onder andere de stroomsnelheden in verschillende delen van het overstroomde gebied gemeten, wordt de golfsnelheid gemeten, worden foto's gemaakt van het overstroomde gebied en wordt de waterhoogte op verschillende plaatsen gemeten. Om een idee te krijgen van de grootte van de stroomsnelheden tijdens overstromingen:

- maximale gemeten stroomsnelheden in de hoofdgeul is ± 4 m/s,
- stroomsnelheid in het overstromingsgebied is ± 1 m/s.

Aan de hand van deze gegevens probeert men modellen die de inundatie van gebieden bij hoogwater simuleren te kalibreren en te verifiëren.

Met behulp van de resultaten van deze modellen worden adviezen gegeven. Deze adviezen leiden tot juridische maatregelen die in hoge mate beperkend zijn voor bijvoorbeeld verstedelijking in de overstromingsgebieden. Wat betreft oprichting van bebouwing heeft men het gebied onderverdeeld in verschillende zones:

- Bouwzone
- Beperkte bouwzone
- Niet-bouwzone

Vanzelfsprekend is er veel discussie tussen verschillende belangengroepen rondom deze zone-indeling.

De niet-bevaarbare waterlopen en kleine waterlopen worden deels beheerd door het Ministerie van Milieu van het Departement en deel door de eigenaren van het omringende land. Het Ministerie van Milieu vormt het overkoepelend orgaan voor het gehele gebied. Het gebied is onderverdeeld in verschillende regio's. Deze regio's waren vroeger ingedeeld als administratieve eenheden. Tegenwoordig werkt men met een indeling op stroomgebiedsschaal. Het voordeel van deze indeling op stroomgebiedsschaal is dat het waterbeheer makkelijker uitvoerbaar is. Het betreft hier dus ook het beheer van de bovenloop van Maas en Moezel.

Het Ministerie van Milieu heeft een eigen hydrologische dienst, die zich onder andere bezighoudt met hoogwatervoorspellingen. Deze hoogwatervoorspellingen zijn de laatste jaren in de belangstelling geraakt door overstromingen in de bovenloop van de Maas en de Moezel in de jaren 1983 en 1995.

Het gebied beslaat een grote oppervlakte en omvat hierdoor een groot aantal waterbeherende instanties. De hydrologische dienst heeft een coördinerende rol voor deze instanties. Door deze coördinerende rol heeft de hydrologische dienst beschikking over een grote hoeveelheid real time gegevens uit de stroomgebieden die samen het bovenstroomse gebied van de Maas en de Moezel vormen.

De gegevensinwinning vindt plaats over het gehele gebied in meetstations. Deze meetstations zijn deels geautomatiseerd en voor een deel niet. Op de meetstations worden de volgende gegevens gemeten:

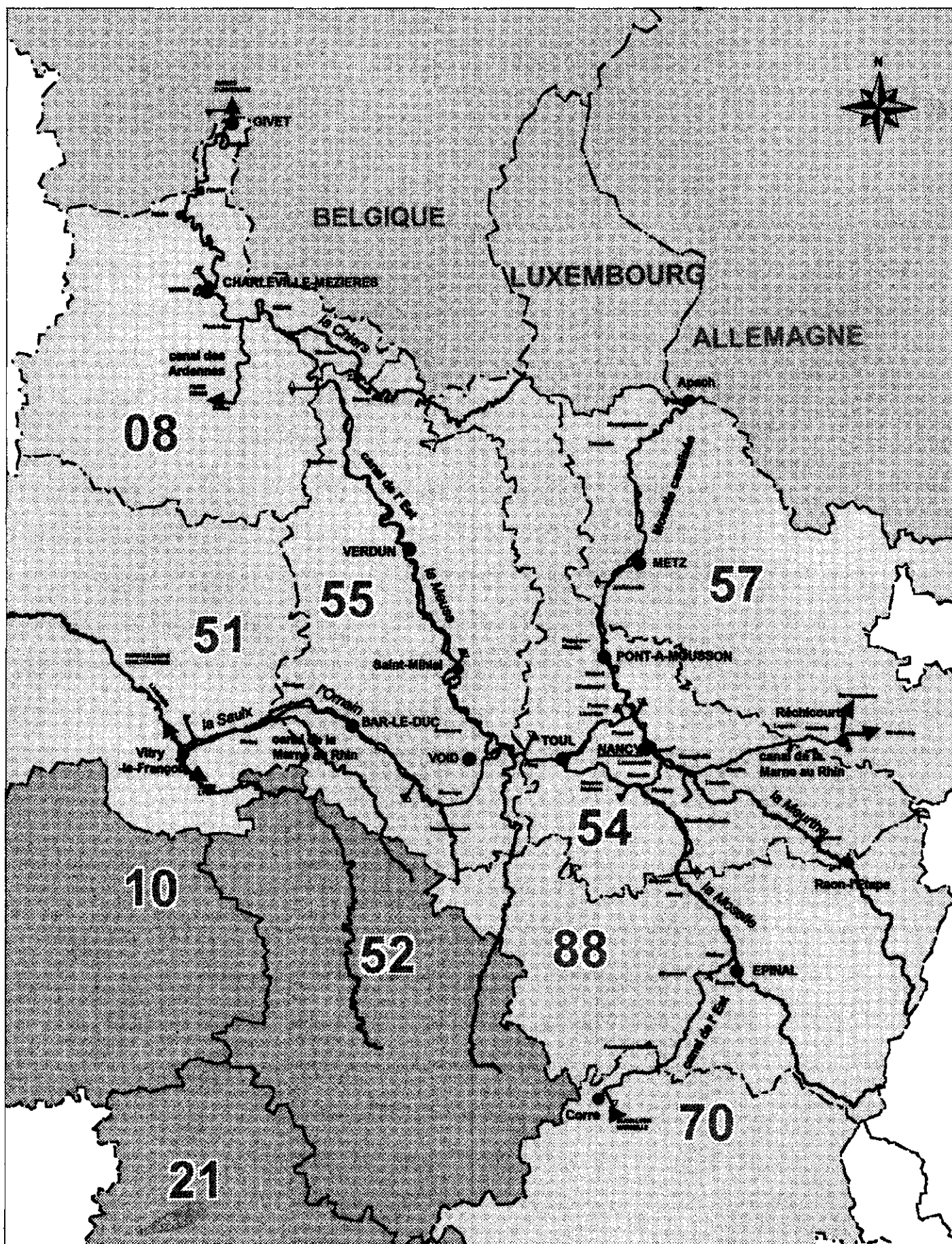
- Temperatuur
- Neerslag
- Waterhoogte

De waterhoogte dient als basisgegeven voor de bepaling van het debiet met een tevoren vastgestelde Q-h-relatie. Naast deze vorm van gegevensinwinning wordt er ook gebruik gemaakt van satelliet- en radargegevens en van weersvoorspellingen.

Aan de hand van deze gegevens probeert men voor de Maas debieten te voorspellen op basis van hoogwatergolven uit het verleden en op ervaring van hydrologen. Men is bezig met het



CANAUX ET RIVIÈRES GÉRÉS PAR NAVIGATION DU NORD-EST



● Subdivisions territoriales

— Voies Navigables gérées par VNF

— Cours d'eau et rivières

ARRONDISSEMENT EAU

Figur 6.

MAI 98 JD

ontwikkelen van een voorspellingsmodel. Dit zal een hydraulisch model zijn voor de Maas, dat ondersteund zal worden door een neerslag-afvoer model voor het bovenloopse stroomgebied van de Maas. Het model moet in de toekomst risicogebieden in kaart brengen. Zo probeert men in kaart te brengen wat het overstromingsgebied is bij de topafvoer die eens in de honderd jaar kan optreden. Voor deze gebieden kunnen dan beheersmaatregelen worden getroffen, zoals bijvoorbeeld het creëren van extra berging.

Voor de Moezel heeft men dezelfde procedure gevolgd. Het model is reeds ontwikkeld en is in testfase, maar kan nog niet voor voorspellingen gebruikt worden. In de toekomst hoopt men met dit model 30 tot 40 uur vooruit te kunnen voorspellen. Daarnaast wil men het model uitbreiden met een waterkwaliteits- en een sedimenttransportmodel.

Hierna hebben we nog twee excursiepunten bezocht, te weten het kantoor waar de centrale gegevensinwinning plaatsvindt en een specifiek meetpunt langs de Meurthe.

Het kantoor voor de centrale gegevensinwinning is tevens de operationele eenheid voor hoogwatervoorspelling. De inwinning van gegevens is in handen van één persoon die de gegevens per modem opvraagt. Dit gebeurt met een minimum van één keer per dag tot een maximum van een paar keer per uur ten tijde van een hoogwatercrisis. De satelliet- en radargegevens komen ook hier binnen. Twee analisten zorgen hierna voor de interpretatie van alle gegevens en voor de hoogwatervoorspelling van de Maas en de Moezel.

Het meetpunt betrof een locatie langs de Meurthe, een rivier die door Nancy stroomt en juist noordelijk van deze stad uitkomt in de Moezel. De Meurthe heeft een range in debiet van praktisch $0 \text{ m}^3/\text{s}$ tot $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Men verricht hier (zoals eerder vermeld) neerslag-, waterstand- en temperatuurmetingen. Bij hoogwater verricht men ook af en toe dieptemetingen over de breedte. Is de stroomsnelheid erg hoog, dan rijdt men met een meetwagen over een nabijgelegen brug en verricht men op deze manier dieptemetingen. Waterkwaliteit wordt slechts op steekproefbasis gemeten. Opmerkelijk is dat de Meurthe sterk verontreinigd is met zouten, waar wij in Nederland ook last van ondervinden.

5. Verbeteringswerken in de Meurthe

Woensdagochtend 2 september zijn we rondgeleid door dr. Valentin in het Service de Navigation du Nord-Est te Nancy. 's Middags hebben we een bezoek gebracht aan de dienst openbare werken van de stad Nancy. Hier werden we geïnformeerd door de heer Balis over de verbeteringswerken in de Meurthe. De taak van de heer Balis is het coördineren en beheren van de verbeteringswerken in de Meurthe.

De bedding van de Meurthe is staatseigendom. De verbeteringswerken zijn tot stand gekomen in samenwerking met de staat, in opdracht van de gemeente Nancy.

Nancy en wat kleinere dorpen in de omgeving zijn in het verleden regelmatig getroffen door overstromingen van de Meurthe. De vier grootste overstromingen waren in 1948, 1982 en twee hoogwatergolven in 1983. Eén in april en één in mei. Op een muur in een steegje in Nancy hebben we nog de markering van de hoogwatergolf van mei 1983 kunnen zien. De bevolking was door deze laatste overstromingen dermate getraumatiseerd dat onder druk van de bevolking begonnen werd met het aanbrengen van verbeteringswerken. In de periode 1983-1986 werd een inleidende studie gedaan naar het stromingstraject van de Meurthe. Op basis van deze studie kon de Meurthe opgedeeld worden in vier stukken met karakteristieke kenmerken (bv. dezelfde bodemhelling). De verbeteringswerken waren in de eerste instantie gedimensioneerd op een herhalingsstijd van honderd jaar. Dit bleek niet haalbaar dus werd een herhalingsstijd van dertig jaar gekozen. Er moest nu gedimensioneerd worden op een debiet van $780 \text{ m}^3 / \text{s}$. Na de voorstudie moest een structuur gevonden worden waarbij de verbeteringswerken het snelst zouden kunnen worden uitgevoerd. Het beste resultaat werd bereikt met het aanbrengen van verbeteringswerken in het tweede traject. Dit traject was het ergst getroffen. Daarom werd voor deze aanpak gekozen en niet voor de normale manier, dwz uitvoering van beneden naar bovenstrooms. Het tweede traject werd gerealiseerd in de periode 1986-1988. Het eerste, derde en vierde traject werden/worden respectievelijk in de volgende periodes gerealiseerd: 1988-1991, 1991-1994, 1995-2000. Het belangrijkste doel van deze verbeteringswerken is de bescherming tegen overstromingen, daarnaast is de recreatie ook steeds belangrijker geworden.

Vervolgens hebben we een bezoek gebracht aan twee verbeteringswerken in de Meurthe, te weten Barrage Lay St. Christophe en Barrage de Nancy.

Het eerste verbeteringswerk is gelegen in het eerste traject en het tweede op de grens van het derde en vierde traject.

In eerste instantie heeft men in het eerste traject de bedding twintig meter verbreed en anderhalve meter verdiept. Hierdoor kreeg men een extra lage waterstand wat problemen opleverde voor de

omgeving. Dit werd opgelost door het bouwen van Barrage Lay St. Christophe. Op het moment dat wij bij de stuw waren, was er sprake van een extra lage waterstand benedenstrooms van de stuw, omdat men de gaten die in de beschoeiing van de stuw zaten, wilden dichtten. In de stad Nancy was geen verbreding mogelijk. Hier is de bedding met drie meter verlaagd.

Vanuit de groep werd gevraagd waarom men heeft gekozen voor verbreding en verdieping en niet voor dijken. Het antwoord luidde dat dijken de situatie alleen maar zouden verergeren, omdat de hoogwatergolf dan sneller zou gaan lopen. Door de Barrage Lay St. Christophe wordt een hoogwatergolf versneld waardoor een golf van de Meurthe nu sneller is dan zonder stuw. In deze situatie is dit een voordeel, omdat de golf van de Meurthe en de golf van de Moezel op deze manier nooit samenkomen.

Vervolgens gingen we naar de Barrage de Nancy. Dit kunstwerk is in 1996 verbeterd. Voor 1996 stond er een molen om elektriciteit op te wekken voor het malen van graan. In de oude situatie werd het water via klepstuwen een scherpe bocht door geleid. Dit was geen ideale situatie en daarom werd de situatie veranderd en werd er op een andere plek een stuw gebouwd. Ook deze stuw wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit, alleen nu voor een moderne graanfabriek. Dit kunstwerk werd betaald door de gemeente en met behulp van subsidies van de provincies. De nieuwe stuw bestaat uit drie kantelkleppen van ieder 20 meter breed en 3,5 meter hoog. Het verschil in waterniveau tussen de beide zijden van de stuw is 5,80 meter. Benedenstrooms van de stuw liggen betonblokken in de vorm van een tand. Deze zorgen ervoor dat het water al een deel van z'n energie kwijt raakt. Ook was er een hele mooie vistrap aanwezig, bestaande uit 19 trappen van elk 30 centimeter hoog.

Met deze mooie stuw op ons netvlies besloten we de dag en gingen op weg naar ons hotel.

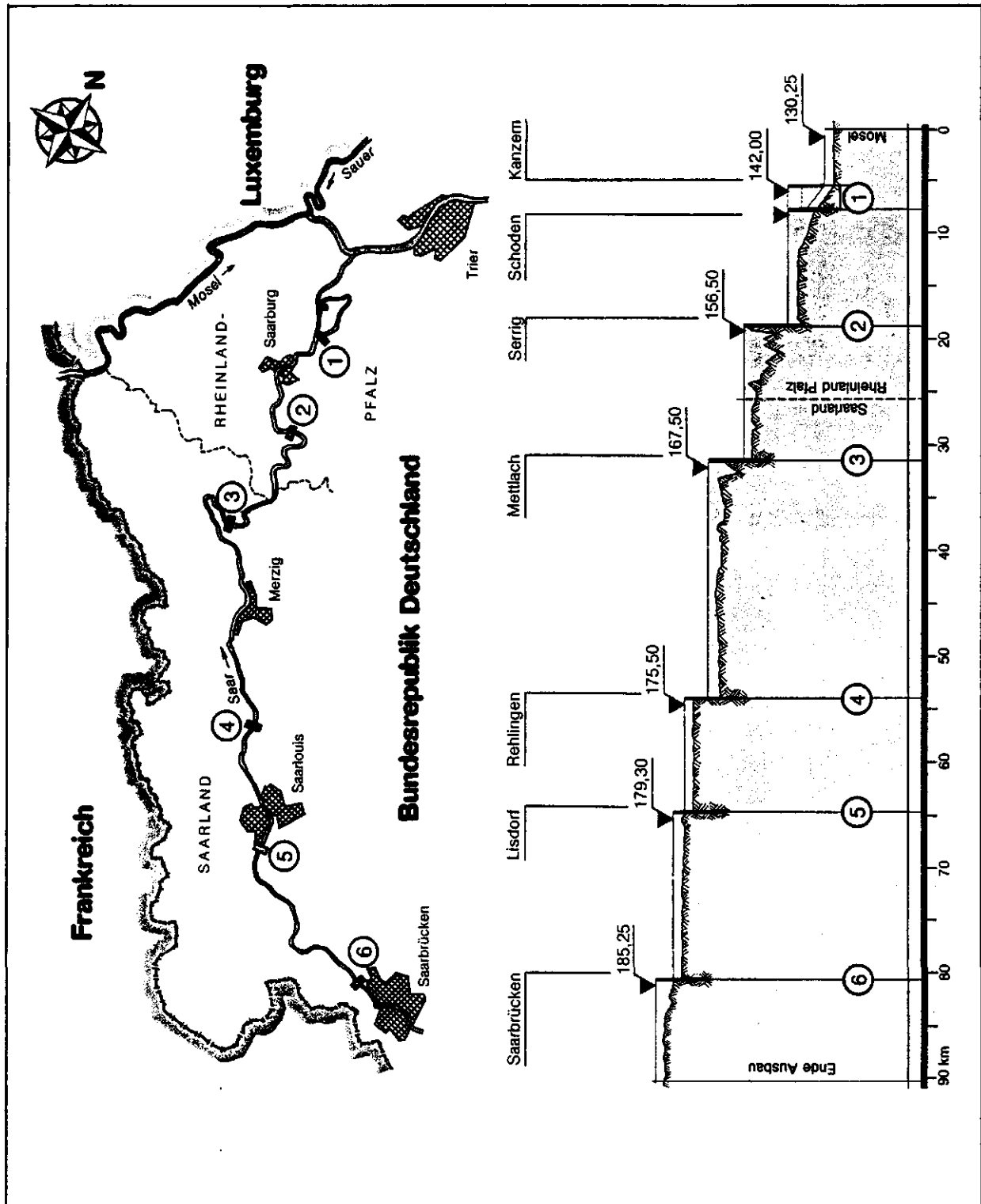
4. Saarkanalisisatie

Wasser und Schiffahrtamt Saarbrücken

De Saar ontspringt in Frankrijk in de noordelijke rand van de Vogezen en komt in de buurt van Saarbrücken de Duitse grens over. Vlak voor Trier komt de Saar samen met de Moezel. De Saar is de grootste nevenrivier van de Moezel. In Frankrijk ligt 117 kilometer van de Saar, in de Bondsrepubliek Duitsland ligt 99 kilometer. Voor zowel het kwalitatieve als het kwantitatieve beheer zijn in principe Duitsland en Frankrijk samen verantwoordelijk. De contacten tussen beide landen zijn echter niet optimaal. Het stroomgebied van de Saar is in de eerste en tweede Wereldoorlog afwisselend Duits en Frans grondgebied geweest, omdat de grens heen en weer geschoven is. In 1957 is het gebied (Saarland) door Frankrijk aan Duitsland overgedragen. Duitsland kreeg wel tot taak het bevaarbaar maken van de Saar, terwijl Frankrijk hetzelfde doet voor de Moezel. Beide zijn belangrijke vaarwegen voor Frankrijk o.a. voor de aanvoer van grondstoffen van de industrie in Lotharingen. Zo wordt er jaarlijks 4 miljoen ton erts vanuit Rotterdam naar de haven van Rehlingen vervoerd en vandaaruit met kleine schepen verder.

Bij het uitbouwen van de Saar waren de problemen groter dan de eerdere veranderingen in de Moezel, omdat het natuurbehoud een steeds grotere rol is gaan spelen. Daarnaast kost het regelen van de kanalisatie en de bouw van stuwen veel meer tijd dan de werkelijke uitvoering. In de huidige situatie is ongeveer 90 kilometer van de Saar gekanaliseerd. Het traject heeft een verval van 55 meter, wat door 5 sluizen overbrugd wordt (Fig. 7). De scheepvaart wordt bij Kanzem over twee van de vijf sluizen geleid.

Tijdens ons bezoek was het debiet van de Saar erg laag, maar tijdens pieken zoals in 1993 kan het debiet oplopen tot 1270 m³/s. Een piek zoals deze heeft een herhalingsperiode van 50 jaar. De rivier kan een debiet van 1500 m³/s afvoeren, voordat er overstromingen gaan plaatsvinden. De reactieperiode van de Saar op de neerslag is erg snel en de stroomsnelheden kunnen daarbij hoog oplopen. De kwaliteit van het water van de Saar was zo slecht dat het een van de meest vervuilde rivieren van het Rijngebied was. Eén van de belangrijkste oorzaken hiervan was de Rossel, wat de vuilste rivier van Europa was die op de Saar loosde. In het verleden loosden ook de aanliggende steden nog gewoon op de rivieren. Hierdoor was het zuurstofgehalte erg laag en een groot probleem voor de gezondheid. Door een schip "de Oxygenia" om te bouwen tot een zuurstof injectie schip is het zuurstofpeil inmiddels toegenomen. Een tank vloeibaar zuurstof wordt op dit schip als gas via 30.000 openingen in het water gepompt. Nu is het zuurstofgehalte ook verbeterd



Figur 7. Übersichtslageplan und Längenprofil der Saaraustufen

dankzij de stuwen en sluizen die aangelegd zijn. De Oxygenia is nu nauwelijks meer nodig, wat een heleboel kosten bespaard. (Het ombouwen van het schip kostte bijvoorbeeld al 1 miljoen DM). De concentratie zuurstof wordt nu op 23 plaatsen gecontroleerd in vaste meetopstellingen.

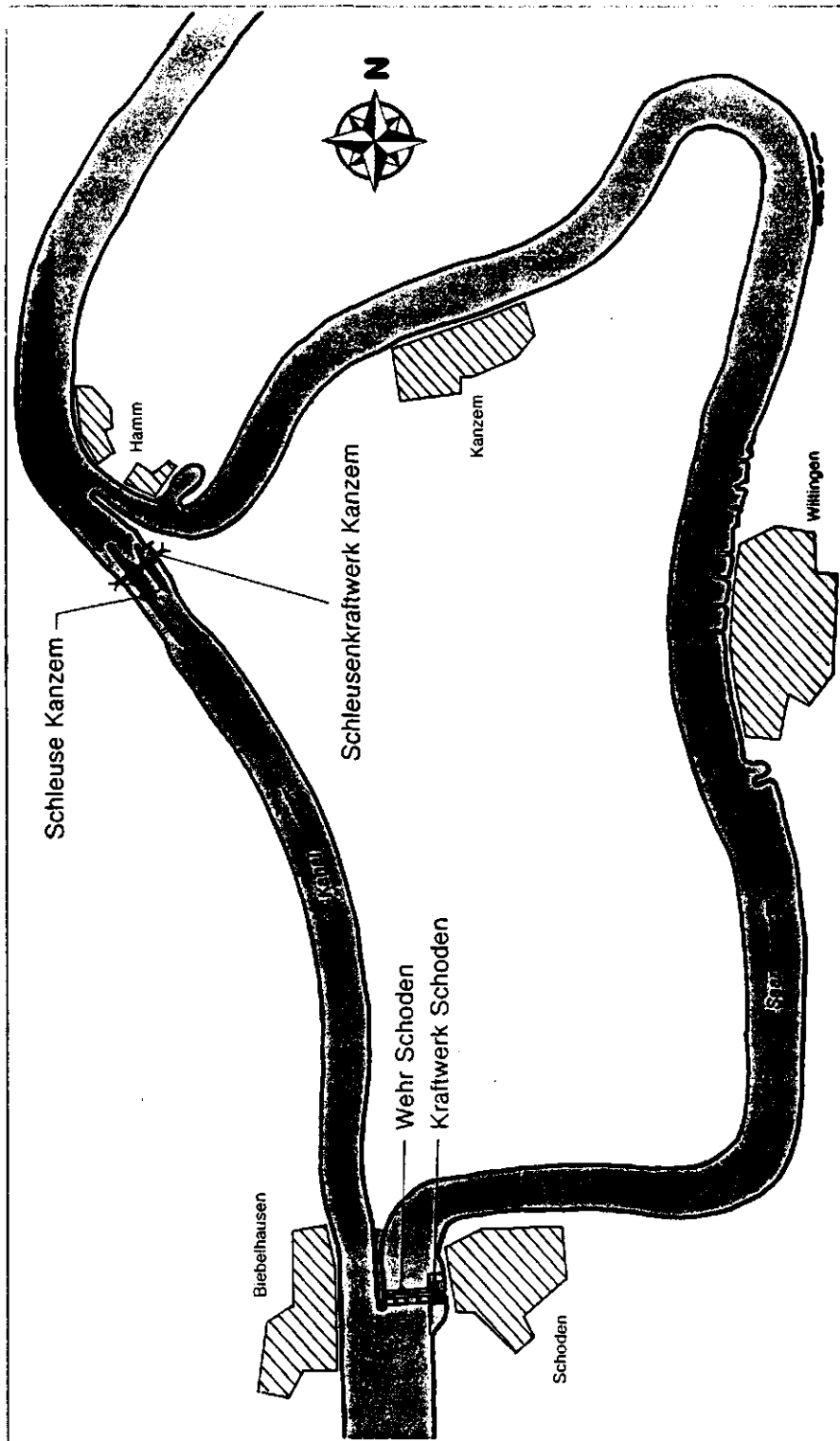
Bij de nieuwe stuwen en sluizen zijn kleine waterkrachtcentrales gebouwd, die voor de energie van ongeveer 50.000 woningen kunnen zorgen. De Saar is tegenwoordig weer zeer visrijk en gezien het grote verhang, zijn er bij de sluizen vistrappen gebouwd. In het noorden van de Saar tussen Kanzem en Schoden (Fig. 8) is een oude tak bewaard gebleven en voor de scheepvaart is er een nieuwe arm gegraven. De vissen kunnen hier gebruik maken van de oude arm om in bovenstroomserichting te zwemmen. Alleen de aal is een lastige vis, want deze kan een van de hindernissen niet nemen. Het is nog niet precies bekend waar en waarom, dit is ook moeilijk te traceren omdat het tijdstip van trek van de aal afhankelijk is van de maanstand.

Bij de sluizen is een ruimte ingericht met apparatuur om de chemische toestand van het water te kunnen controleren. Hier wordt onder andere de pH, geleidbaarheid, watertemperatuur en het zuurstofgehalte van het water gemeten. Tevens wordt de luchttemperatuur en de globale straling gemeten. In het water van de Saar is tegenwoordig nauwelijks meer nitraat te vinden door de kanalisatie en de waterzuiveringen. In tegenstelling tot een aantal jaren geleden zijn er nu minder temperatuurverschillen. Dit is het gevolg van de strengere richtlijnen ten aanzien van de lozingen van het koelwater. In 1970 werd er een maximale temperatuur geregistreerd van 42° C. In de huidige situatie wordt het water alleen nog maar door zonnestraling opgewarmd. De kans dat de Saar nu in de winter bevroest is aanwezig en daardoor kan ook de Moezel weer bevriezen. Het warme water van de Saar hield de Moezel ook ijsvrij.

Sinds 1990 vinden er in de Saar permanente debietmetingen plaats. Het minimum debiet ligt ongeveer bij 10 m³/s, terwijl de maximale afvoer 1500 m³/s kan bedragen.

Op een punt in de oude arm van de Saar ligt een meetstation voor de afvoeren. Hier worden stroomsnelheden gemeten in verticalen met een propeller die aan een over de rivier gespannen kabel hangt. In deze arm vonden nog hoge waterstanden plaats. Dit kwam doordat zowel de oever als de bodem flink begroeid waren en een bocht het water opstuwde. De herhalingstijd was op dit punt 50 jaar. Door de rivier op dit kritische punt te verdiepen en te verbreden is dit probleem opgelost, de herhalingstijd is nu ook veranderd naar 200 jaar.

In de zomermaanden is het meten van het debiet aan de hand van stroomsnelheden moeilijk door de lage waterstanden. Er worden dan ook niet veel metingen verricht (2 aan de randen en in 12



Figuur 8. Der Wittinger Bogen - Übersichtslegeplan

verticalen). In de winter zijn er echter in 18 verticalen metingen en 2 aan de randen, dit in verband met de snelle veranderingen in de waterstand en stroomsnelheden. Wanneer het water snel gaat stijgen, moeten de metingen ook in kortere tijd gedaan worden, wat inhoudt dat de metingen onnauwkeuriger zijn maar nog altijd beter dan niet te meten.

In Saarburg zijn ook de nodige maatregelen getroffen om het dorp te beschermen tegen het hoge water. Doordat er benedenstrooms in de rivier een stuw is aangelegd zijn hier vaak overstromingen geweest. Aan een kant voor de huizen is een muur gebouwd, die hoog genoeg is voor een herhalingstijd van 50 jaar. Met behulp van aluminium platen op de muren kan het dorp beschermd worden tegen hoog water met een herhalingstijd van 200 jaar. Aan de andere kant is geen muur gebouwd, maar dat is een natuurgebied dat vol kan lopen en dus als berging kan dienen.

Bij Serrig is een groot krachtwerk voor elektriciteitopwekking gebouwd met een hoogteverschil in boven- en benedenwaterstand van 14,5 meter. Dit is het grootste bouwwerk in de Saar. De verwachte herhalingstijd dat het hier onder water komt te staan is 1500 jaar. Dit is uiteraard een schatting, omdat de bouwwerken nog niet zo lang in gebruik zijn.

Door de kanalisatie lopen afvoergolven sneller en komen eerder op de Moezel bij Trier. Het is gebleken dat deze golven nu eerder bij Trier arriveren dan die van het bovenstroomse deel van de Moezel, van de Ruwer en van de Sauer. De kanalisatie zou dus een verlagend effect op de top van de golf kunnen hebben.

Proefgebied Newel

Universiteit van Trier, afdeling Hydrologie

Donderdag 3 september 1998 waren wij te gast bij professor Symader van de universiteit van Trier aan de Moezel. Wij bezochten zijn onderzoeksgebied van $\pm 3 \text{ km}^2$. Hierin doet hij onderzoek naar de relatie tussen oppervlaktewatersamenstelling, grondwaterstroming en herkomst van water. Uit de deeltjes in het water is af te leiden waar het water vandaan komt. De heer Symader heeft een geheel eigen benadering van onderzoek.

De meeste onderzoekers gaan uit van homogeniteit van gebiedskenmerken. Ze stellen een hydrologische theorie op voor een ogenschijnlijk homogeen gebied. Deze gebruiken ze ook voor andere gebieden met overeenkomstige kenmerken. Eventuele verschillen die gevonden worden tussen het onderzoeksgebied en het referentiegebied leiden tot enige aanpassing van de theorie, zodat deze geldig wordt voor het betreffende gebied. Een voorbeeld van deze school noemt hij het gebruik van modellen die gebaseerd zijn op een snelle respectievelijk langzame afvoertak. Deze componenten komen meestal niet gelijkmatig verdeeld over het hele gebied voor, maar in slechts een bepaald deelgebied.

Professor Symader zoekt daarentegen juist naar de overeenkomsten tussen heterogene gebieden. Hij is van mening dat homogeniteit op stroomgebiedsschaal nauwelijks voorkomt. Daarom zijn theorieën voor homogene gebieden niet toepasbaar op een stroomgebied. Professor Symader vat een stroomgebied op als een geheel van meerdere subsystemen. Elk subsysteem wordt gekenmerkt door een karakteristieke laag met eigen hydrogeologische eigenschappen, verblijftijd en bijbehorende watersamenstelling. De samenstelling van het water in de beek wordt bepaald door de combinatie van de verschillende subsystemen, die hier elk in meer of mindere mate een bijdrage leveren. Uit de samenstelling van het water is dus indirect af te leiden welk gebied hydrologisch actief is en welke niet.

Zo is ook na te gaan waar een in water oplosbare vervuiling zich in het gebied bevindt. Een plotselinge hoge concentratie van een vervuiling in het water duidt erop dat de vervuiliingsbron in een snel reagerend systeem is te vinden. Een geleidelijke toename van een bepaalde stof in het water en relatief lagere concentraties, die gedurende langere tijd waarneembaar zijn, duiden erop dat de vervuiling in een langzaam reagerend systeem is opgetreden.

Het onderzoeksgebied

In het onderzoeksgebied zitten veel PAK's in het water. Deze zijn gebonden aan zwevende stof, onder andere bodempartikels. Om de herkomst vast te kunnen stellen, is kennis nodig van

hydrologie, interactie water-sediment, chemie en geologie. In homogene gebieden is de herkomst vrij eenvoudig vast te stellen. Het onderzoeksgebied van professor Symader is echter heterogeen. De watersamenstelling wordt beïnvloed door het landgebruik en de geologische opbouw. Bovendien is in dit gebied sprake van zowel kwel als van oppervlaktewater en grondwater afvoer. De beek ligt in een breuk. Dit is de grens tussen Mittel-Moesselkalk en Ober-Moesselkalk. Dit zijn de twee belangrijkste deelsystemen die in het stroomgebied te onderscheiden zijn. Zij hebben elk een andere bijdrage aan het water in de beek, zowel wat de chemische samenstelling als de kwantiteit betreft.

Mittel-Moesselkalk is middelmatig gemineraliseerd en er treedt vrijwel geen water uit. Het ligt op een ondoorlatende kleilaag. Daaronder zit wel weer doorlatend materiaal. Hierin bevindt zich de werkelijke grondwaterspiegel. In de Mittel-Moesselkalk is sprake van een schijngrondwaterspiegel.

Ober-Moesselkalk is geel van kleur, goed gesorteerd en goed gedraineerd door de grote porositeit en de vele scheuren. Het water dat hierin infiltreert, dringt diep de grond in en treedt pas veel verderop weer uit.

Uit de variatie van de watersamenstelling met de tijd is af te leiden dat bepaalde delen van het gebied sneller en anders reageren dan andere delen. Het diepe grondwater van het Ober-Moesselkalk treedt met een weinig fluctuerend debiet naar buiten. Het water in deze laag heeft ook een veel grotere verblijftijd. Het water uit deze laag heeft hierdoor een hoog gehalte aan calcium- en carbonaationen. Het weinig variërende debiet heeft ook tot gevolg dat de absolute hoeveelheid aan calcium- en carbonaationen in de beek weinig varieert.

De Mittel-Moesselkalk is daarentegen een snel reagerend deelsysteem. Het water uit deze laag heeft ook een geheel andere samenstelling dan het water uit het Ober-Moesselkalk. Dit systeem zorgt ook voor meer zwevende deeltjes in het water. Het Mittel-Moesselkalk is wat oppervlakte betreft een relatief klein gebied (5-10%). Het is wel een hydrologisch actief gebied. Het zorgt namelijk voor 95% van de afvoer van de beek. Slechts een klein deel van de regen die in het gebied valt, wordt direct afgevoerd. Het meeste water infiltreert echter in lagen die uiteindelijk niet bijdragen tot de afvoer van het stroomgebied of het zijn lagen die zeer langzaam reageren.

De mate waarin en de manier waarop een deelgebied bijdraagt aan het debiet en de samenstelling van het water heeft een zekere jaarlijkse gang. In de zomer wordt de afvoer voornamelijk bepaald door oppervlakkige afvoer en verplaatsing van grondwater. De 'droog weer afvoer' is grondwater. Deze hoeveelheid is echter zeer gering. Het grootste deel van de afvoer is hangwater en drainagewater. Men moet daarbij echter wel bedacht zijn op slechtfunctionerende drainagesystemen. Deze kunnen toetreding van water tot een beek veroorzaken op een geheel

andere plaats dan in de natuurlijke situatie of bij een goed werkend systeem het geval zou zijn.

Prof. Symader heeft ons langs de beek meegenomen en laten zien hoe de verschillende deelgebieden bijdragen aan de afvoer. In het lozingspunt nabij de watermolen waar hij woont bevindt zich een houten meetstuw waarin hij ook dagelijks een watermonster neemt. Staande in de stuw hield hij een college over zijn theorie en de bevindingen van dit gebied.

De pompaccumulatiecentrale van Vianden

Société électrique de l'Our

Voor de ochtend van vrijdag 4 september stond de pompaccumulatiecentrale in Vianden, Luxemburg, op het programma. Na een inleiding door de heer Soirant van de Société Electrique de l'Our S.A. kregen we een video over de centrale te zien. Na het beantwoorden van onze vragen werden we de berg ingeleid waar we in een informatieruimte verder voorgelicht werden over de Europese elektriciteitsvoorziening. We eindigden in de hoofdgrot waar negen turbines staan opgesteld die waterkracht omzetten in elektriciteit en de pompen die elektriciteit omzetten in waterkracht. Het excursiepunt werd beëindigd met de bezichtiging van het bovenbekken.

In de elektriciteitsvoorziening wordt o.a. voorzien door waterkrachtcentrales, thermische centrales (gestookt op bruinkool) en kerncentrales. Deze centrales worden ook wel de basislastcentrales genoemd. Zij produceren een constante hoeveelheid elektriciteit. De vraag naar elektriciteit is echter bepaald niet constant. Overdag is de vraag een stuk groter dan 's nachts. Om zes uur 's morgens begint het stroomverbruik goed op gang te komen om te 'pieken' rond 12 uur. Na een daling in het stroomverbruik rond 17 uur volgt er een tweede piek in het dagstroomverbruik rond 19 uur. Vervolgens daalt de vraag naar een minimum tussen 1 en 5 uur 's nachts. Om de dagpiek in het stroomverbruik op te vangen zijn er centrales nodig die een wisselde hoeveelheid stroom produceren. Dit zijn de zogenaamde middenlastcentrales bestaand uit steenkool en gas gestookte centrales. Echter meer flexibiliteit is nodig om efficiënt te voldoen aan de elektriciteitsvraag. Deze flexibiliteit wordt geleverd door de pompspaarbekkencentrales. Zij leveren stroom in de piekuren door omzetting van de waterkracht die vrijkomt bij het leeg laten lopen van een bovenbekken. 's Nacht beperken zij de dalen in het stroomverbruik door het water weer van het benedenbekken terug te pompen naar het bovenbekken. De korte opstarttijd maakt deze centrales uiterst flexibel en dus zeer geschikt om de pieken en de dalen in het stroomverbruik op te vangen alsook om bij storingen andere centrales te vervangen.

De wateraccumulatie- of pompspaarbekkencentrale van Vianden is aangesloten op het Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk A.G. (RWE) en vormt daardoor een belangrijke schakel in het Westeuropese internationale elektriciteitsnet. Het RWE is de grootste producent en verdeler van elektriciteit in Duitsland.

Zij levert dus 's nachts de stroom voor de accumulatiepompen en overdag nemen zij de 'piekstroom' af. In bergachtige streken worden hogedrukwaterkrachtcentrales gebruikt om aan de piekvraag naar stroom te voldoen. Bij deze centrales wordt het natuurlijk toestromende water tijdelijk opgestuwd. In vergelijking met een pompspaarbekkencentrale stelt een

hogedrukwaterkrachtcentrale hogere eisen aan het debiet van de betreffende rivier en aan het reliëf. In de sterk geïndustrialiseerde regio's van het Roergebied, Luik, Saar en Lotharingen en van het Luxemburgse industriële kerngebied ontbreken de topografische en hydrologische omstandigheden voor een dergelijke methode. Dat is heel jammer omdat een hogedrukwaterkrachtcentrale alle elektriciteit die het opwekt ook netto produceert terwijl een centrale als in Vianden meer energie verbruikt dan ze opwekt. Het rendement bedraagt 74%. Toch is deze methode veel efficiënter dan het inzetten van extra thermische productie om te voldoen aan de piekvraag.

Na een zeer uitgebreide studie werd gekozen voor de Ourvallei als vestigingsplaats voor de pompaccumulatiecentrale. Citaat uit het voorlichtingsprospekt: "De Our ontspringt te midden van de uitgestrekte bossen van het Duits-Belgische grensgebied, doorsnijdt het Ardeense leisteenplateau en vormt over een groot gedeelte van zijn benedenloop de grens tussen de Duitsland en het Groothertogdom Luxemburg. Stroomopwaarts van het middeleeuwse stadje Vianden liggen uitgestrekte plateaus, tot 300m, boven het niveau van de Our. Deze rivier wordt geflankeerd door met eik en brem begroeide heuvelhellingen die nu eens als zacht glooiende terrassen, dan weer als steile rotswanden naar de bedding afdalen.

Bij de keuze van de Ourvallei als vestigingsplaats speelde de volgende factoren een rol: de topografisch gunstige centrale ligging ten opzichte van de industriegebieden van Noordwest-Europa, de uitstekende kwaliteit van het gesteente dat hier uit waterondoorlatende *Devoon leisteen* bestaat en de geringe bevolkingsdichtheid als gevolg van de arme bodem in de Ösling.

De centrale te Vianden werd in twee stappen gebouwd. De eerste stap duurde van 1959 tot 1964. Zij omvatte de volgende drie hoofdconstructies:

- Het bovenbekken met twee kunstmatige spaarbekkens op de Nicolausberg. De beide bekkens worden omgeven door een ringdam van stortsteen. Hiervoor werd het rotspuin gebruikt dat vrijkwam bij het boren van de turbine schachten in de berg.
- Het benedenbekken, een stuwmeer dat wordt gevormd achter een stuwdam stroomopwaarts van Vianden.
- De centrale zelf, bestaand uit negen horizontale driedelige groepen van 100.000 kW elk. Ze staan met het bovenbekken in verbinding door middel van twee gepantserde persleidingen en met het benedenbekken door twee afvoergalerijen

De tweede stap werd gevormd door uitbreiding van de centrale met de bouw van een zogenaamde tiende machine tussen 1970 en 1976. Deze enkele machine levert een turbinevermogen van 200.000 kW. Hij is ondergebracht in een aparte schacht van 50 m diepte en met een diameter van 22m en is door een afzonderlijke persleiding met het bovenbekken verbonden. In tegenstelling tot

de machines 1 t/m 9 bestaat de tiende machine uit een pompturbine. Dit houdt in dat pomp en turbine een eenheid vormen. Bij de machines 1 t/m 9 zijn turbine en pomp gescheiden.

Het benedenbekken is ongeveer 8 km lang, heeft een inhoud van 10mln m³ en een oppervlakte van 100 ha. Het bovenbekken heeft een totale inhoud van 7.2mln m³ en het oppervlak van het opgesplitste bovenbekken bedraagt 50 ha. Het maximum waterpeil bedraagt 510,30 m +NAP en het minimum waterpeil bedraagt 494,00 m+NAP. Rekening houdend met fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil van het boven- en benedenbekken bedraagt de verval tussen de 267 en 290m. De installaties zijn ontworpen voor een cyclus van 7,25 uur pompbedrijf en 4,25 uur turbinebedrijf. Hierbij wordt 6.8mln m³ water over een gemiddeld verval van 280m verplaatst. De maximale jaarlijkse energieproductie bedraagt 1.600 GWh, de maximale energieconsumptie bedraagt 2.160 GWh. De centrale is uitgerust voor een regelgebied van 1.936.000 kW.

Tot slot: De benodigde tijd van stilstand naar turbinebedrijf bedraagt slechts 120 s. Van stilstand naar pompbedrijf kost 180 s voor de machines 1 t/m 9 en 210 s voor de tiende machine. Bij een storing in het Westeuropese elektriciteitsnet dus altijd even Vianden bellen!