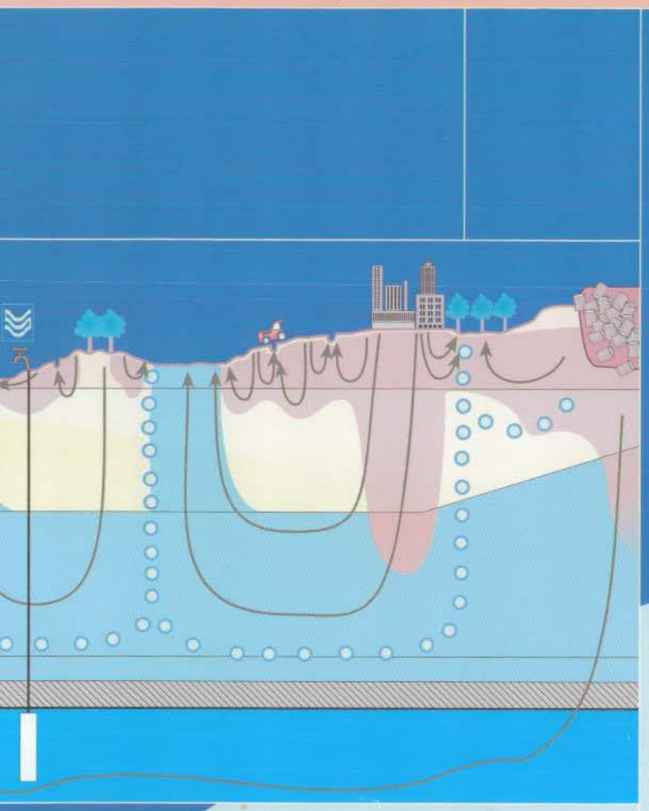
Watersystemen in beeld

Een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant



PROJECT WATER ALS ORDENEND PRINCIPE 'S-HERTOGENBOSCH

Provincie Noord-Brabant

TNO

TNO-rapport

NITG 00-10-A

Schoemakerstraat 97
Postbus 6012
2600 JA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 256 48 00

TNO-Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen is gevestigd in Delft en Utrecht en heeft nevenvestigingen in Nuenen en Zwolle.

Het instituut is het centrale geowetenschappelijke informatie- en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.

Watersystemen in beeld

Een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant

Provincie Noord-Brabant

Datum
Derde versie, aanpassing november 2000

Auteur(s)
Roelof Stuurman
Gelske van Beusekom
Josef Reckman

Projectnummer
005|50273|01.01

Opdrachtgever
Provincie Noord-Brabant, project 'Water als ordenend Principe'

Ontwerp en Vormgeving
Wim Immers

Kaarten
Bureau Beleidsinformatie en Cartografie (Bic)
Provincie Noord-Brabant

Inhoud

1 Inleiding 5
1.1 Water als ordenend principe 5
1.2 Het project water als ordenend principe 5
1.3 Informatie over watersystemen 5
1.4 Watersystemen in beeld 5
1.5 De CD-Rom 5

2 Het watersysteem in Noord-Brabant en de mogelijkheden voor herstel 6
2.1 Landschappelijke structuren 6
2.2 De ondergrond 6
2.2.1 Geochemie 7
2.2.2 Hydrochemie 7
2.3 Grondwaterstroming in het kort 7
2.3.1 Infiltratie- en kwelgebieden 8
2.3.2 Grondwaterstroming 8
2.3.3 De beïnvloeding van de grondwaterstand 9
2.3.3.1 Grondwatertoevoer 9
2.3.3.2 Grondwaterafvoer 9
2.3.3.3 Door kwel beïnvloede grondwaterstand 9
2.3.4 Geen kwel zonder infiltratie 9
2.3.5 Het effect van grondwaterwinning 11
2.3.6 Grondwater en regenwater voedt oppervlaktewater 11
2.4 Verandering in het Brabantse watersysteem tijdens de laatste tweeduizend jaar 12
2.4.1 De periode 0-1000 A.D. 12
2.4.2 De periode 1000-1900 A.D. 12
2.4.3 Stroomgebieden Mark, Aa of Weerijs en Donge 12
2.4.4 Het Dommel-stroomgebied 13
2.4.5 Het Aa-stroomgebied 14
2.5 Belangrijkste na oorlogse veranderingen 14
2.6 Knoppen van herstel 14
2.7 Water als ordenend principe 14

3 De informatieloketten voor watersysteem gegevens 15
3.1 Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen-TNO 15
3.2 De provincie Noord-Brabant 15
3.3 De Waterschappen 15

4 Vervaardiging en gebruik 17
4.1 Basiskaarten en afgeleide kaarten 17
4.1.1 Digitaliseren 17
4.1.2 Selecteren 17
4.1.3 Combinatie en selectie 17
4.2 Schaal en resolutie 17
4.3 Presentatie in een GIS 17

5 Maaiveldhoogte - AHN 18
5.1 Inleiding 18
5.2 De gebruiksmogelijkheden van de kaart 18
5.3 Korte bespreking kaartbeeld 18

6 Landgebruik 22
6.1 Landgebruik (LGN3-plus) 22
6.2 Landgebruik (LGN3-plus) gegroepeerd in 10 hoofd klassen 24
6.3 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 24
6.4 Korte bespreking kaartbeeld 24

7 Hoofdwaterlopen 26
7.1 Hoofdwaterlopen 26
7.2 Actuele hoofdwaterlopen en waterlopen berekend met maaiveldhoogten 26
7.3 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 26
7.4 Korte bespreking kaartbeeld 26
7.4.1 Bestaande waterlopen 26
7.4.2 Berekende waterlopen 26

8 Sloten en Greppels 28
8.1 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 28
8.2 Korte bespreking kaartbeeld 28

9 Gemiddelde slootlengte per hectare 30
9.1 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 30
9.2 Korte bespreking kaartbeeld 30

10 Stroomgebieden en afwateringsgebieden 32
10.1 Hoofdwatersysteem: afwateringsgebieden en stroomgebieden 32
10.2 Deelwatersystemen 34
10.3 Subwatersysteem voor de waterlopen met een natuurfunctie (WHP) 34
10.4 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 34

11 Aanvoergebieden en inlaatpunten 36
11.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 36
11.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 36
11.3 Korte bespreking kaartbeeld 36

12 Inundatie 38
12.1 Historisch geïnundeerd gebied 38
12.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 38
12.3 Vier kaarten met historische inundaties 40
12.4 Kaartbespreking 40
12.4.1 Overlaatsystemen 40
12.4.2 Militaire inundaties 40
12.4.3 Overstromingen in de WOII en 1953 40
12.5 Toepassingsmogelijkheden 40

13 Geohydrologische deelgebieden 42
13.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 42
13.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 42
13.3 Korte bespreking kaartbeeld 42

14 Stijghoogte in het eerste watervoerend pakket 44
14.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 44
14.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 44
14.3 Kaartbespreking 44

15 Grondwateronttrekkingen voor de openbare watervoorziening en de industrie 46
15.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 46
15.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 46
15.3 Korte bespreking kaartbeeld 46

16 Kwel- en infiltratiegebieden 48
16.1 Kaartblad: kwel en infiltratiegebieden en slootkwel 48
16.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 48

17 Gebieden met spanningswater 50
17.1 Inleiding 50
17.2 Het verschil tussen spanningswater en kwel 50
17.3 Toepassingsmogelijkheden 50

18 Kweltypen en bijbehorende profielen 52
18.1 Inleiding 52
18.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 52

19 Relaties en stroomrichtingen tussen infiltratie en kwel 54
19.1 Korte bespreking kaartbeeld 54
19.2 Gebruiksmogelijkheden 54

20 Historische natte gebieden 56
20.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 56
20.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 56

21 Grensvlak zoet en brak grondwater 60
21.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad 60
21.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden 60

Literatuurlijst 63

Bijlagen A Technische beschrijving kaartbestanden 65

1 Inleiding

1.1 Water als ordenend principe

In de provincie Noord-Brabant is de wens aanwezig om in de komende jaren een veranderingsimpuls aan de waterhuishouding te geven. Herstel van veerkracht van watersystemen, verbeteren van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit, verminderen van de verdroging van natuurgebieden, verminderen van droogteschade voor de landbouw, weer laten kronkelen van beken, ruimte geven aan water voor overstroming en berging, zijn enkele kenschetsen van die verandering. Om deze veranderingen een richtpunt te geven in de toekomst zijn in het tweede waterhuishoudingsplan van de provincie de volgende waterdoelstellingen geformuleerd:

- Het hebben en houden van een veilige en bewoonbare provincie en het instandhouden en versterken van gezonde en veerkrachtige watersystemen, waarmee een duurzaam gebruik gegarandeerd blijft. Economische en ecologische ontwikkelingen zijn met elkaar in evenwicht en watersystemen bieden ruimte aan een gezond leefmilieu voor mens, dier en plant.
- Een duurzaam gebruik van de watersystemen. Dat betekent dat alleen water wordt gebruikt dat zonder problemen aan de watersystemen kan worden onttrokken, dat stofstromen zoveel mogelijk zijn gesloten en dat geen schadelijke stoffen in het water terechtkomen. De ruimtelijke verdeling van landbouw, natuur, bebouwd gebied en industrie sluiten aan op het watersysteem. De natuur heeft zich blijvend hersteld en er is voldoende ruimte voor wonen, werken en recreatie.
- Het zoete grondwater is in de hele provincie ongeacht het landgebruik, zonder of met een eenvoudige bewerking, geschikt voor de bereiding van water dat vanuit het oogpunt van de volksgezondheid aan hoge normen voldoet. De kwaliteit van het oppervlaktewater en de waterbodem garandeert een ecologische ontwikkeling en een duurzaam gebruik door verschillende belangen.

De ruimtelijke ordening is een belangrijke factor in het bereiken van waterdoelstellingen in de provincie Noord-Brabant. Door een ruimtelijke planning die wordt afgestemd op het watersysteem, kunnen waterdoelstellingen ondersteund en versterkt worden. Een aantal ruimtelijke hoofdfuncties kunnen worden onderscheiden: wonen, werken, recreatie, landbouw, infrastructuur, natuur en bos. De vraag staat daarbij centraal welke randvoorwaarden het watersysteem en de functies van het watersysteem stellen aan de genoemde ruimtelijke hoofdfuncties. Omgekeerd stellen de ruimtelijke hoofdfuncties eisen aan de waterhuishouding. De kunst bij de ruimtelijke ordening is het vinden van de juiste balans hiertussen.

1.2 Het project Water als ordenend principe

Op 13 januari 1998 heeft het College van Gedeputeerde Staten het plan van aanpak 'Ruimte voor morgen' voor de actualisering van het streekplan vastgesteld. In dit plan van aanpak is water als ordenend principe (WOP) opgenomen als onderzoek. De uitwerking van het thema is projectmatig opgepakt.

De organisatie van het project ziet er als volgt uit:
Verantwoordelijk gedeputeerde: dhr. P.L.B.A Van Geel.
Opdrachtgever: mw. C.G.M. Klitsie, hoofd van de afdeling Water.
Projectgroep:

Provincie Noord Brabant	dhr. A. Scheffer afd. Stedelijk Gebied (projectleider)
Provincie Noord Brabant	mw. N. ter Linde afd. Water
Provincie Noord Brabant	dhr. H. Vissers afd. Bodem en Afvalstoffen
Gemeente Breda	dhr. J. Ensing
Gemeente Tilburg	dhr. H. de Korte en dhr. J. Hanegraaf
Gemeente Oss	dhr. A. Botermans
Rijkswaterstaat dir. Noord-Brabant	mw. G. van Roode
Hoogheemraadschap van W. Brabant	dhr. V. Witter
Waterschap de Dommel	dhr. J. van de Cruijsen

Het project water als ordenend principe heeft tot doel duidelijkheid te verschaffen over welke problemen er nu eigenlijk spelen op het gebied water en ruimtelijke ordening, welke oorzaken daaraan ten grondslag liggen en welke ruimtelijke oplossingen daarvoor mogelijk zijn. In feite is de vraag aan de orde op welke wijze bestaande en nieuwe ruimtelijke functies, bijvoorbeeld: verstedelijking (wonen en werken), infrastructuur, (intensieve) landbouw, natuur, bos en recreatie, rekening kunnen houden met water. Dit kan betrekking hebben op: de locatiekeuze, de structuur, de inrichting en het beheer en gebruik. Het project geeft inzicht in de wijze waarop water als ordenend principe daadwerkelijk vorm kan krijgen.

1.3 Informatie over watersystemen

Belangrijk voor het maken van een ruimtelijke vertaling van waterbeleid is de beschikbaarheid van kaarten. Eenduidige watersysteeminformatie op een bruikbaar schaalniveau in digitale vorm zodat voor elke plek in Brabant de hydrologische situatie in beeld gebracht kan worden. Kaarten van bijvoorbeeld: stroomgebieden van beken, afwateringseenheden van polders en kwel- en infiltratiegebieden. Uit de inventarisatiefase van het project WOP bleek dat de beschikbare hydrologische informatie onbruikbaar was. De informatie was: verouderd, sterk versnipperd aanwezig, onvolledig of gewoon niet aanwezig. Het bovenstaande heeft geleid tot het maken van het product 'Watersystemen in beeld' dat door TNO-NITG in opdracht van de provincie Noord-Brabant is vervaardigd.

1.4 Watersystemen in beeld

De doelstelling van het project was het vervaardigen van nieuwe, actuele en reproduceerbare kaarten van verschillende aspecten van de watersystemen in de provincie Noord-Brabant voor ruimtelijke ordeningsvraagstukken.
De gewenste gebruiksschaal van de kaarten en GIS-bestanden is vastgesteld op 1:50.000. De kaarten zijn modulair opgebouwd, alle afzonderlijke kaartbladen kunnen daardoor afzonderlijk voor andere doeleinden worden gebruikt. De concept kaarten uit deze atlas zijn voorgelegd aan een groep deskundigen die kennis hebben van de hydrologie van Noord-Brabant of werken met hydrologische informatie in ruimtelijke plannen. De samenstelling van deze groep was als volgt:

- Waterleidingbedrijf Oost Brabant, dhr. R. Straatman.
- Waterleidingbedrijf Noordwest Brabant, dhr. E. Broers.
- Staatsbosbeheer, dhr. G. Stooker.
- Vereniging Natuurmonumenten, N. Straathof.
- Dienst Landelijk Gebied Regio Zuid, dhr. G. Schouten.
- Waterschappen van Noord Brabant: dhr. V. Witter (HWB), dhr. J. van de Cruijsen (Dommel), dhr. J. Willemse (Aa), dhr. E. Gloudemans (De Maaskant), dhr. J. Rombouts (Mark en Weerijs), dhr. P. van Kempen (Het Scheldekwartier), dhr. A. Sweere (De Dongestroom), dhr. P. van Dijk (Land van Nassau), dhr. Ch. van Ooyen (Alm en Biesbosch).
- Gemeente Breda, dhr. J. Ensing.
- Gemeente Tilburg, dhr. H. de Korte.
- Rijkswaterstaat directie Noord-Brabant, mw. G. van Roode en dhr. A. de Kruijf.
- Provincie Noord-Brabant, dhr. R. Ruijtenberg, dhr. H. Vissers, mw. N. ter Linde, dhr. M. Ransijn, dhr. H. Spoelstra.

Het rapport "Watersystemen in Beeld" bestaat uit 24 kaartbladen, die met uitzondering van de basisbestanden met de maaiveldhoogte (Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)) en met het grondgebruik (LGN3-plus), met het GIS-pakket Arc/Info zijn vervaardigd. De meerderheid van de kaarten zijn geschikt voor gebruik vanaf een schaal 1: 50.000. De presentatieschaal van de kaarten in de atlas is 1: 400.000.
Elke kaart is voorzien van achtergrondinformatie en een toelichting op de gebruiksmogelijkheden. Voorts wordt in hoofdstuk 2 uiteengezet hoe watersystemen werken, wat de consequenties van (ruimtelijke) veranderingen zijn op het watersysteem en welke maatregelen kunnen worden genomen om watersystemen te beheren of herstellen. In bijlage A staat per kaart een technische beschrijving van de wijze waarop de kaartbestanden gemaakt zijn.

1.5 De CD-Rom

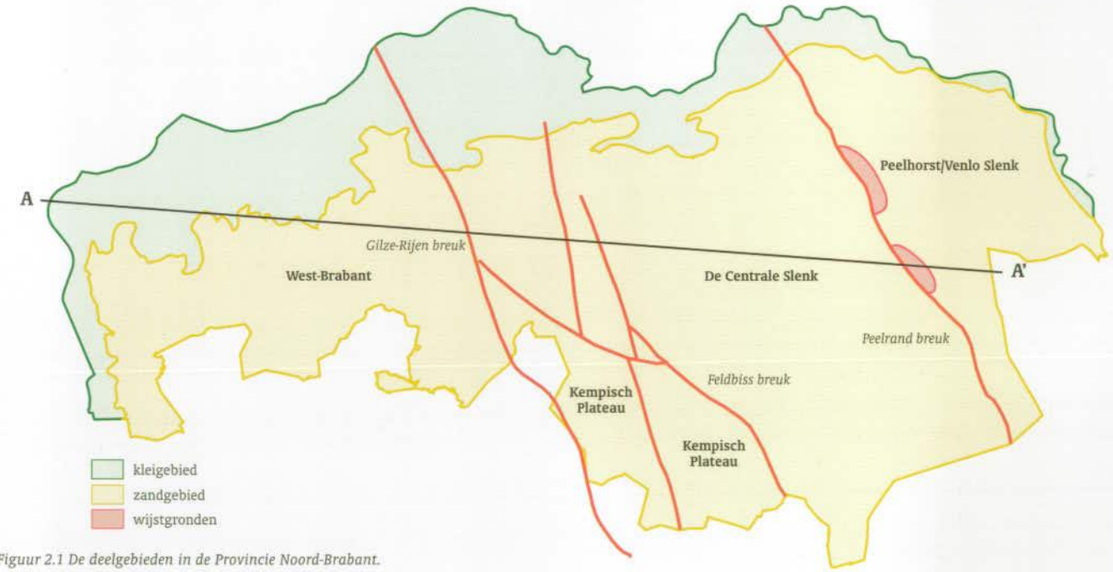
Achterin dit rapport is een CD-Rom opgenomen met daarop de digitale bestanden van de kaarten van dit rapport. Een gebruikersaanwijzing is opgenomen op de CD-Rom.

2 Het watersysteem in Noord-Brabant en de mogelijkheden voor herstel

In dit hoofdstuk wordt het watersysteem in Noord-Brabant in het kort beschreven. Hierbij zal worden ingegaan op de hydrologische processen en de ruimtelijke interacties. Met deze kennis zal worden aangegeven wat de consequenties voor het ruimtegebruik zijn en welke maatregelen kunnen worden genomen om watersystemen te beheren of te herstellen.

2.1 Landschappelijke structuren

In de provincie Noord-Brabant kunnen op het grofste niveau twee landschapstypen worden onderscheiden, de zandgronden en het kleigebied (figuur 2.1).



Figuur 2.1 De deelgebieden in de Provincie Noord-Brabant.

Binnen het kleigebied kan onderscheid worden gemaakt tussen het gebied met zeekleiafzettingen in het westen en rivierkleiafzettingen langs de Maas in het oosten. Binnen het zandgebied is een verdere onderverdeling aan te brengen op basis van geologische en geomorfologische criteria. Hierbij kunnen bijvoorbeeld de dekzandruggen en de beekdalen worden onderscheiden maar ook de ontgonnen hoogveengebieden en de laatste hoogveenrestanten. De diversiteit binnen het zandgebied is ondermeer veroorzaakt door breukbewegingen. Een bijzonder landschappelijk fenomeen is de Peelrandbreuk. Bij Uden is deze duidelijk zichtbaar en komen aan de hoge zijde van de breuk moerassige gronden voor. In tegenstelling tot wat gebruikelijk is zijn hier de hogere gronden zeer nat en de aangrenzende lage gronden droog. Dit typische hydrogeologische fenomeen staat bekend als "wijst". In Noord-Brabant worden deze gebieden "wijstgronden" genoemd.

De grens tussen de klei- en zandgronden ligt in het noordelijk deel van de provincie globaal rond de 2m +NAP hoogtelijn. In het westen is deze overgang zeer duidelijk zichtbaar door de aanwezigheid van een enkele meters hoge steilrand. Bij Calfven (Ossendrecht) bedraagt de het hoogteverschil zelfs 20 meter. In Noord-Brabant wordt de overgangszone tussen klei- en zandgebied wel met de term "De Naad van Brabant" aangeduid (Natuur in Noord-Brabant, St. Noord-Brabants Landschap en provincie Noord-Brabant). Door Natuurmonumenten en andere organisaties wordt deze overgang ook wel aangeduid met "Natte As" of "Waterscharnier tussen hoog- en laag-Nederland". Net zoals in de rest van Nederland herbergt een dergelijke overgangszone belangrijke natuurwaarden en een waardevolle cultuurhistorische achtergrond. Deze heeft alles te maken met de aanwezigheid van het water. Sinds het Romeinse tijdperk was de naad een strategische locatie omdat er water was om de stad met grachten en inundaties te verdedigen terwijl men voor de handel toegang tot de waterwegen had.

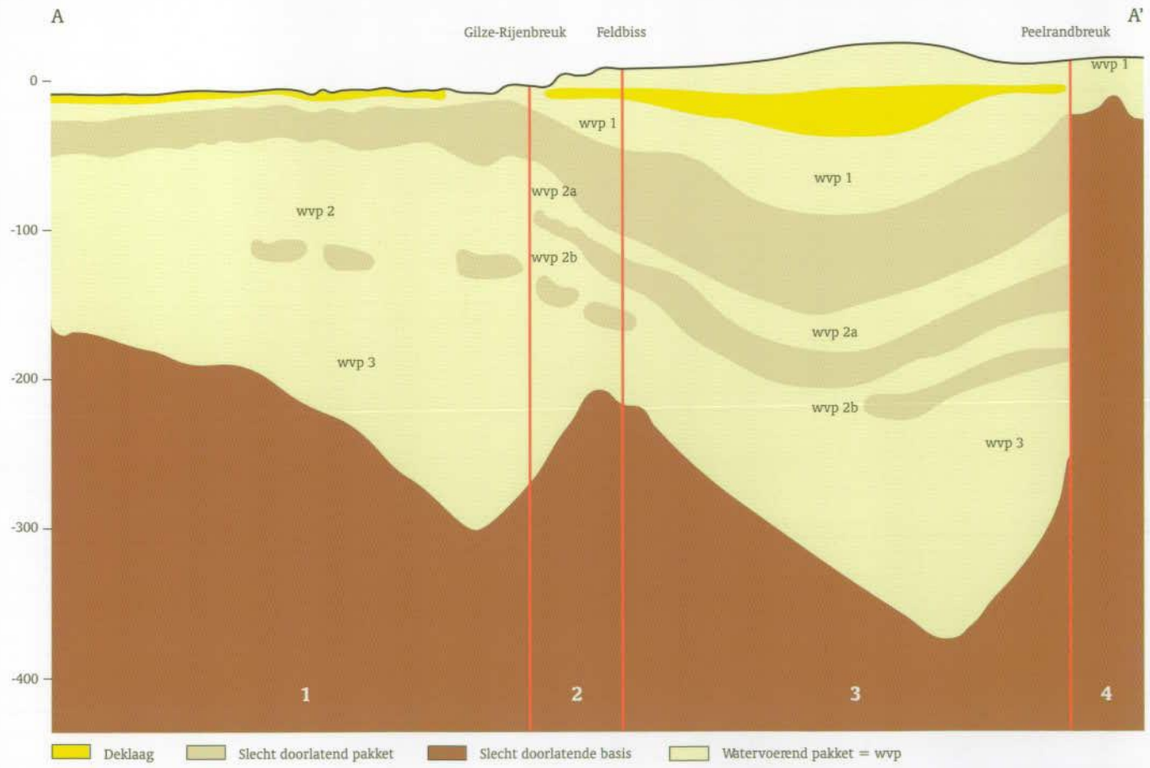
Voor de natuur bezit "de naad van Brabant" belangrijke waarden door de aanwezigheid van ijzer- en calciumrijke kwel. Onder natuurlijke en/of historische omstandigheden was er naast kwel ook sprake van langdurige overstromingen.

Deze overstromingen komen nog slechts incidenteel voor.

2.2 De ondergrond

De opbouw van de Brabantse ondergrond kan regionaal sterk verschillen. Dit is veroorzaakt door breukbewegingen. Als gevolg van het dalende Noordzeebekken hellen de geologische lagen in het algemeen in noordelijke- of noordwestelijke richting. De zuidelijke begrenzing van dit dalingsbekken wordt gevormd door het zogenaamde Brabants Massief. Hier dagzomen de 'harde' gesteenteafzettingen waarop de klastische sedimenten (zanden, grinden, kleien) in jongere tijden zijn afgezet. Dit Brabants Massief loopt globaal van Brussel naar Maastricht.

Als gevolg van de breukbewegingen zijn ook systemen ontstaan waarlangs relatieve verschuivingen van de laagpakketten hebben plaatsgevonden. Als gevolg hiervan kunnen in de provincie vier blokken worden onderscheiden (van west naar oost, zie figuur 2.2);



Figuur 2.2 Een west-oost hydrogeologisch profiel door de provincie.

1. West-Brabant,
2. Het Kempisch Plateau,
3. De Centrale Slenk,
4. De Peelhorst/Venlo Slenk.

Deze blokken kennen allen een min of meer specifieke opbouw. Het West-Brabant blok (1) wordt in de provincie gekenmerkt door de aanwezigheid van een dun (ca 0-8 m) freatisch pakket, hoofdzakelijk bestaand uit dekzanden op een slecht doorlatend pakket (fijne zanden en kleien van de Formaties van Tegelen en Kedichem). Hieronder bevindt zich een meer dan 100 meter dik watervoerend pakket dat bestaat uit mariene zanden en schelplagen. Als zogenaamde hydrogeologische(= zeer slecht doorlatende) basis (vaak nodig in modelstudies) wordt meestal de Boomse klei gebruikt. Deze aanname is zeer verdedigbaar gezien het feit dat deze Boomse klei tientallen meters dik en zeer homogeen ontwikkeld is. Deze kleilaag kan vanaf Antwerpen tot aan Kopenhagen gevolgd worden. De weerstand voor grondwaterstroming bedraagt miljoenen dagen. Ten oosten van het West Brabant blok (1) komt een uitloper van het Kempisch Plateau voor (2). Dit blok wordt aan de westzijde begrensd door de Gilze-Rijen storing en de Breuk van Rau en aan de oostzijde door de Feldbiss-breuk. De opbouw verschilt van het West-Brabant blok doordat zich hier grove zanden en grinden bevinden op de Kedichem-Tegelen kleien. Deze kleien liggen hier als gevolg van relatieve daling dieper dan in West-Brabant. Meestal bevinden zich op de grove zanden en gronden nog dekzanden. Op verschillende plaatsen komen echter ook grinden aan maaiveld voor. Het derde blok (3) staat bekend als de Centrale Slenk. Deze eenheid wordt gekarakteriseerd doordat de lagen zich uitstrekken tot aan Keulen en doordat de in West-Brabant gehanteerde hydrogeologische basis (Boomse klei) zich hier op grote diepte bevindt. In de

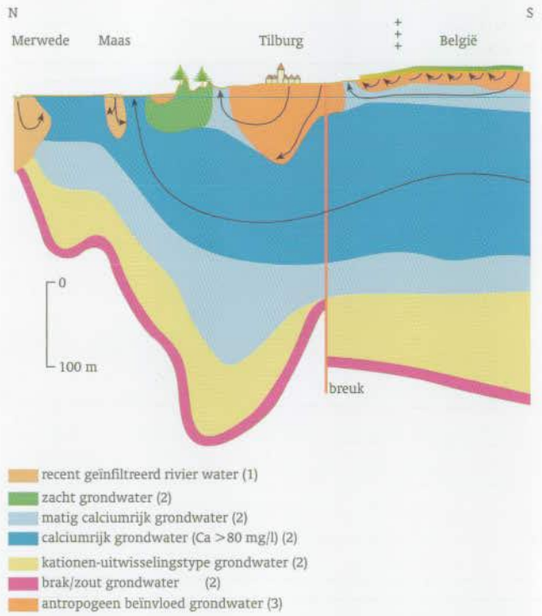
omgeving van Boxtel ligt de top op ca 1800 meter onder maaiveld. Ten oosten van de Centrale Slenk, gescheiden door de zogenaamde Peelrand Breuk, bevindt zich de Peelhorst (4). De hydrogeo-logische opbouw kent hier een abrupte overgang. De slecht doorlatende basis bevindt zich hier relatief ondiep. De Peelhorst wordt gekenmerkt door een enkele tientallen meters (dun) freatisch pakket. Binnen de zogenaamde Peelhorst komen meerdere breuken voor op basis waarvan het mogelijk is om ten oosten van de Peelhorst de zgn. Venlo Slenk te onderscheiden. Hydrogeologisch verschillen beide zones in Noord-Brabant nauwelijks.

2.2.1 Geochemie

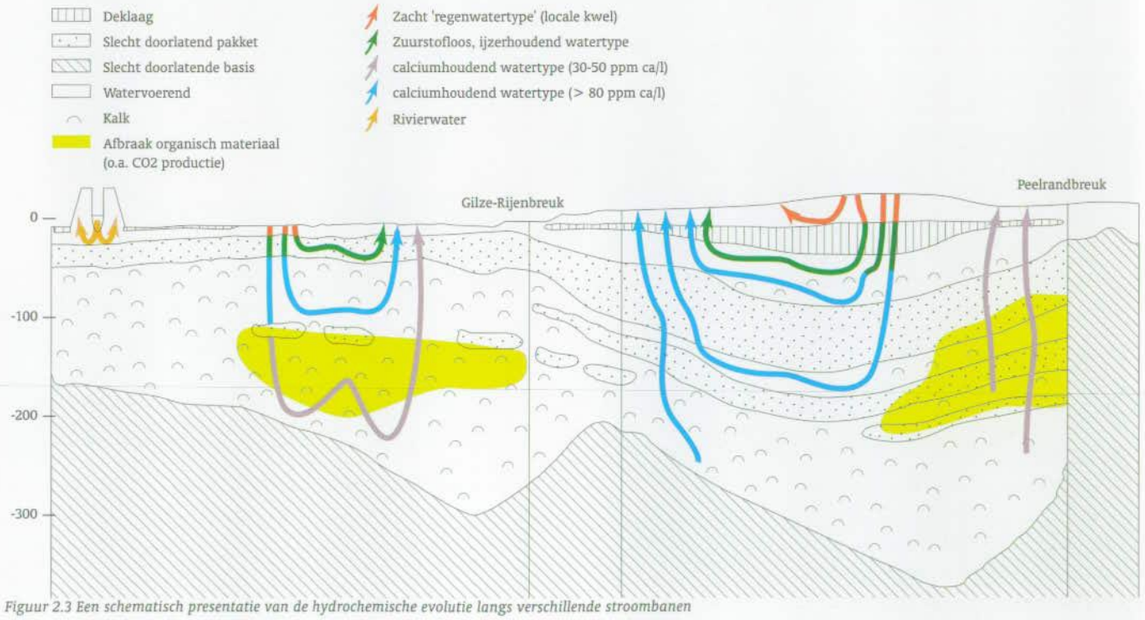
De grondwatersamenstelling en de kwetsbaarheid van grondwater voor vervuiling of verzuring hangt sterk samen met de (geo)chemische eigenschappen van het doorstroomde pakket, met andere woorden afhankelijk van de stoffen (o.a. mineralen) die zich in de afzettingen bevinden. Belangrijke (vaste) stoffen die de grondwatersamenstelling beïnvloeden zijn: kalk (vaak in de vorm van schelpen), ijzersulfiden en organische stof. Deze geochemie kan ruimtelijk sterk verschillen door variaties in afzettingsmilieu en door paleohydrologische processen. De aan het oppervlak gelegen dekzanden zijn zeer arm aan reactieve mineralen. De samenstelling van het regenwater verandert hier slechts in geringe mate. De dieper gelegen lagen bevatten veel organisch materiaal, ijzersulfiden en kalk. Hier verandert de grondwatersamenstelling veel sterker. Het water verliest zuurstof waardoor ijzer in oplossing kan komen en kalk kan oplossen. IJzer en calcium in het kwelwater is belangrijk voor het bestaan van voedselarme natuurwaarden (bijvoorbeeld hooilanden). In figuur 2.3 zijn deze processen schematisch gepresenteerd.

2.2.2 Hydrochemie

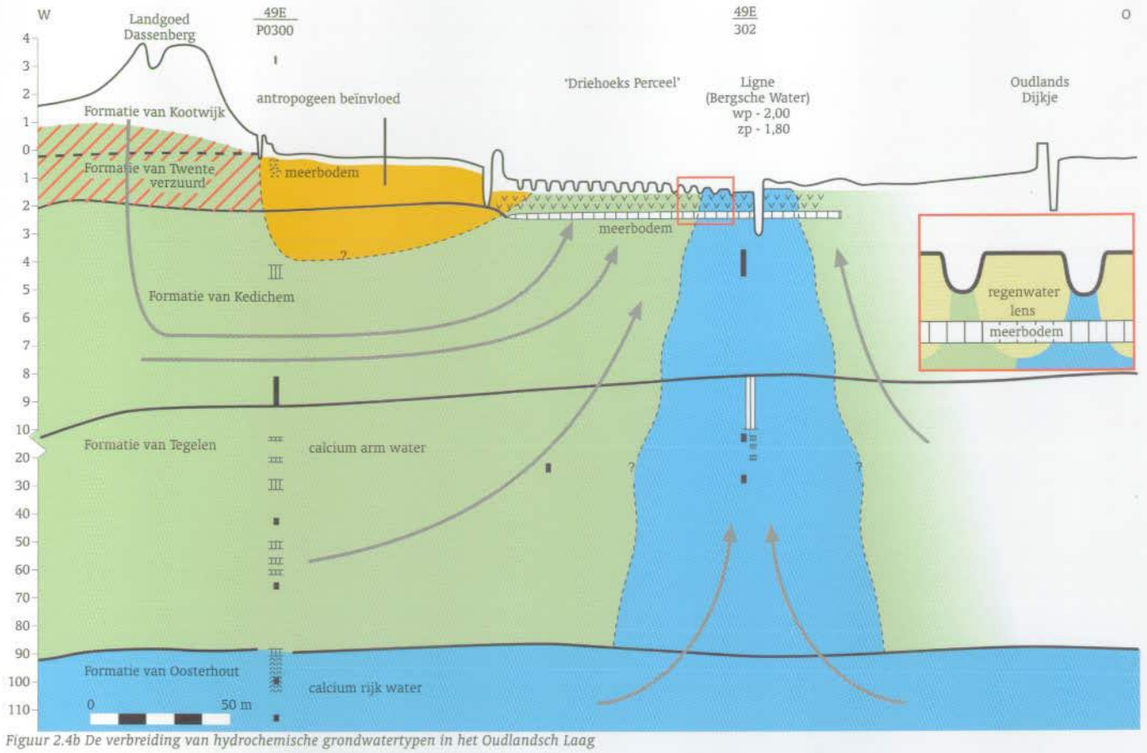
In de ondergrond kunnen op basis van de watersamenstelling op het hoogste niveau drie watertypen worden onderscheiden, van onder naar boven (1) zout/brak water dat met of na de sedimentafzetting is achtergebleven of later verplaatst, (2) niet-antropogeen beïnvloed zoet grondwater dat voor de industriële revolutie en agrarische intensivering is geïnfiltreerd en (3)



Figuur 2.4a Hydrochemische watertypen in een profiel tussen de Belgische grens en het rivierengebied



Figuur 2.3 Een schematisch presentatie van de hydrochemische evolutie langs verschillende stroombanen

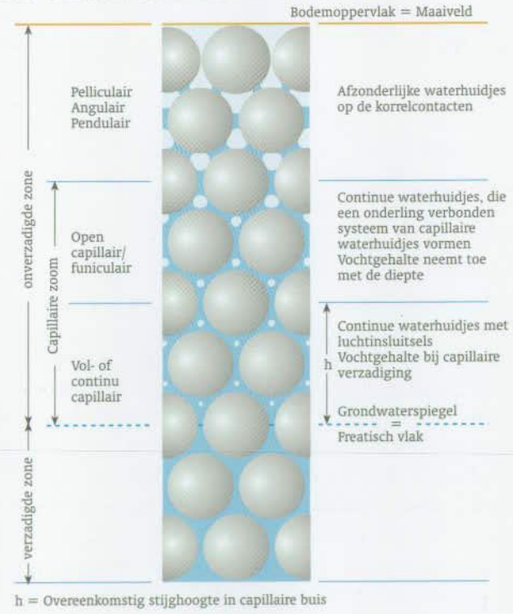


Figuur 2.4b De verbreiding van hydrochemische grondwatertypen in het Oudlandsch Laag

ondiep antropogeen beïnvloed grondwater. In figuur 2.4a is deze ruimtelijke verbreiding van watertypen zichtbaar in een profiel Vlaanderen-Tilburg-Land van Heusden Altena.
In het niet-antropogeen watertype kunnen vaak verschillen worden herkend die deels te verklaren zijn door geochemische variaties in doorstroomde pakketten. Een mooi voorbeeld is zichtbaar rond het Oudlandsch Laag (zie figuur 2.4b).
In het Oudlandsch Laag is kwel. Tot 90 m -NAP zijn de sedimenten kalkarm tot kalkloos. In het grootste deel van het kwelgebied treedt kalkarm, ijzerrijk grondwater uit dat uit deze lagen afkomstig is. Op de laagste plaatsen stijgt echter ook kalkrijk grondwater op uit de diepere kalkrijke lagen.
Het ondiepe antropogeen beïnvloede grondwater kan weer opgesplitst worden naar vervuild en niet-vervuild water. Water is vervuild als het niet voldoet aan bepaalde normen. Deze normen kunnen per gebruikfunctie verschillen.

2.3 Grondwaterstroming in het kort

Grondwater is water dat zich in de ondergrond bevindt in ruimten tussen vaste deeltjes, zoals zandkorrels. Indien deze poriën met water gevuld zijn (verzadigd), dan noemt men dit grondwater. Het hoogste (bovenste) niveau van dit water wordt grondwaterspiegel of freatisch vlak genoemd (figuur 2.5).
De zone beneden het freatisch vlak wordt de verzadigde zone genoemd. Dit freatisch vlak bevindt zich in Noord-Brabant relatief dicht onder maaiveld (oppervlak). De diepte van de grondwaterspiegel onder maaiveld varieert van minder dan 1 meter, bijvoorbeeld in veen- en kleigebieden tot enkele meters op de dekzandruggen en stuifduinen. De zone boven het freatisch vlak, de onverzadigde zone genoemd, is van groot belang voor de landbouw en natuur. Ook in die zone komt water voor.

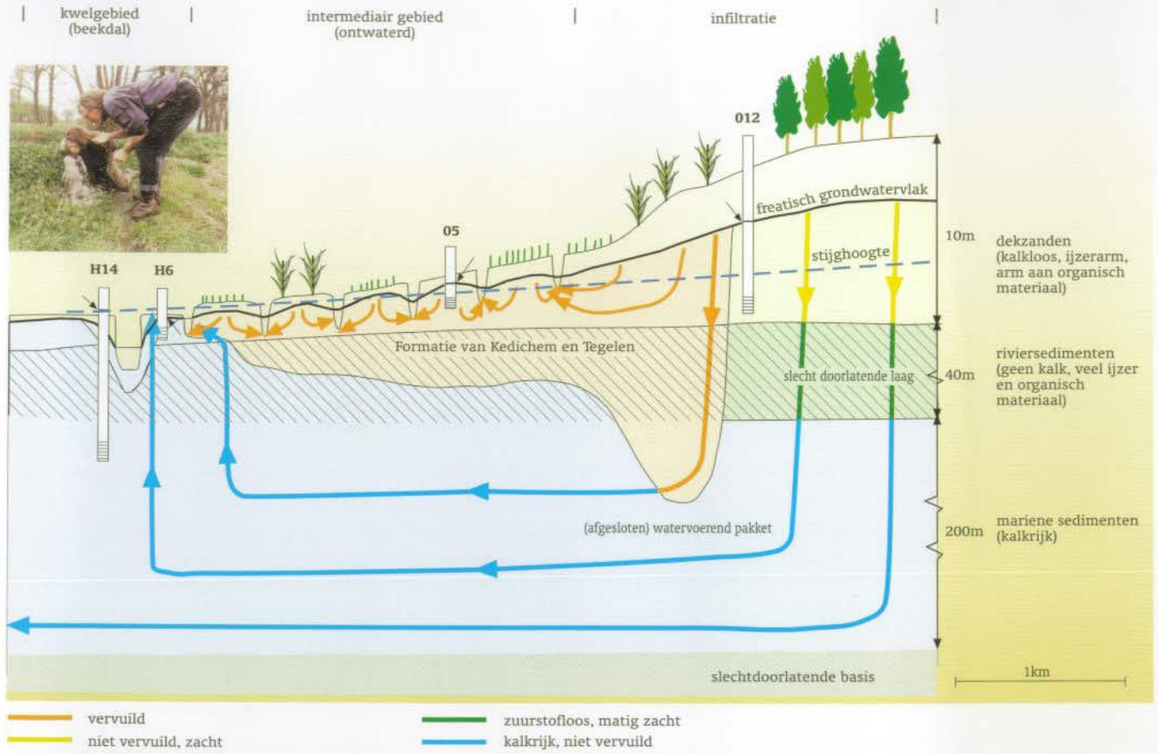


Figuur 2.5 De zones van capillair vocht en van grondwater in de bodem. (Dufour, 1999)

Dit, zogenaamde onverzadigde grondwater, ook wel bodemwater of bodemvocht genoemd, wordt door opzuigende krachten in de poriën, dus tegen de zwaartekracht in, vastgehouden (naar Grondwater in Nederland, F.C. Dufour).

2.3.1 Infiltratie- en kwelgebieden

Aan het oppervlak kan onderscheid worden gemaakt tussen infiltratie-, intermediaire- en kwel-gebieden. Afhankelijk van locatiespecifieke omstandigheden en detailschaal is verdere onderverdeling mogelijk. In deze studie gelden de volgende beschrijvingen (figuur 2.6);



Figuur 2.6: Een grondwatersysteem geschematiseerd (West-Brabant situatie). In de kwelgebieden kan men artesische putten slaan.

Infiltratiegebied; Voor de zandgebieden is dit een aan het oppervlak begrensbare eenheid waarvoor geldt dat het neerslagoverschot voor het overgrote deel het diepere grondwater voedt. Het zijn dus de voedingsgebieden voor de regionale grondwatersystemen. In de Brabantse situatie zijn het de gebieden waar het neerslagoverschot de ondiepe en/of diepere pakketen watervoerende pakketten bereikt. In West-Brabant is dit minimaal het tweede watervoerende pakket (WVP2), in de rest van de provincie het eerste watervoerende pakket (WVP1). Als criterium voor de begrenzing van de actuele infiltratiegebieden is de afwezigheid van een drainagestelsel gehanteerd. Op de zandgebieden zijn als gevolg van de aanleg van kanalen ook kunstmatig infiltratiesystemen ontstaan. De kanalen zijn voor een belangrijk deel op de waterscheidingen aangelegd. Waar de kanalen dekzandruggen doorsnijden kunnen ze plaatselijk een drainerende functie hebben. In het poldergebied bestaan de infiltratiegebieden uit de rivieren, kanalen of zeearmen. Deze hebben een relatief hoog peil ten opzichte van de aangrenzende polders terwijl vaak de weerstandbiedende (Holocene) deklaag ontbreekt.

Kwelgebied; Dit is een aan het oppervlak begrensbare eenheid waarvoor geldt dat grondwater vanuit de diepere pakketten omhoog stroomt. De wijze van uittreden kan tussen of binnen kwelgebieden verschillen. Het opstijgende grondwater kan tot aan het maaiveld reiken en over het maaiveld afstromen, het kan alleen in greppels uittreden, alleen de diepere beken, waterlopen of kanalen bereiken of alleen via verdamping de atmosfeer bereiken. De wijze van uittreden en de grote van het kwelgebied kan gedurende het seizoen veranderen. In deze studie zijn de regionale kwelgebieden gekarteerd en zal de wijze van uittreden gedurende het seizoen wijzigen maar de ruimtelijke begrenzing nauwelijks. Als criterium voor de bepaling van deze gebieden is gesteld dat de stijghoogten in de diepere watervoerende pakketten minstens 50 cm hoger zijn dan het freatisch grondwaterniveau of oppervlaktewaterpeil.

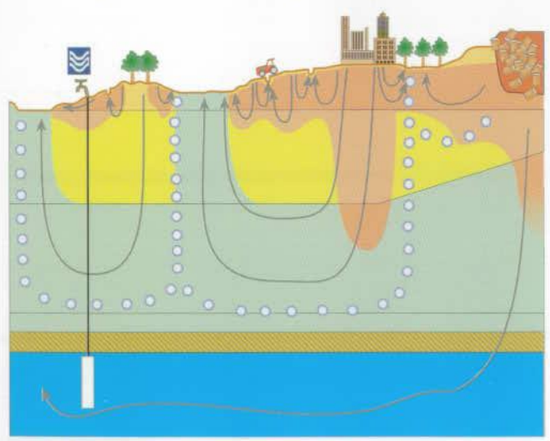
Intermediair gebied; Dit is een aan het oppervlak begrensbare eenheid waarvoor geldt dat het neerslagoverschot hoofdzakelijke via het drainagesysteem wordt afgevoerd. Dit is het (goed) ontwaterde grondoppervlak in de provincie. De begrenzing heeft plaatsgevonden door te stellen dat het oppervlak dat niet als infiltratie- of kwelgebied is getypeerd tot deze klasse behoord. Hierbij is aangenomen dat de sloten in gebieden met een sloot-dichtheid groter dan 50 m/ha in het natte seizoen watervoerend zijn. In de praktijk valt het drainagesysteem tijdens het droge seizoen geleidelijk droog. In augustus bevatten in het algemeen alleen de sloten in kwelgebieden nog water of zijn ze watervoerend door wateraanvoer of door de afvoer van gezuiverd RWZI-effluent.

In figuur 2.7 is geschetst hoe de verdeling in deelgebieden is ontstaan. In het verleden bestond de provincie voor een groot deel uit natte heide, hoogveen en droge ruggen. Deze ruggen waren en zijn de infiltratiegebieden. Tijdens de ontginning van het natte gebied is een dicht oppervlaktewaterstelsel ontwikkeld dat als taak heeft het neerslag water af te voeren. Hierdoor nam het oppervlak infiltratiegebied af en is een groot oppervlak intermediair gebied aangelegd.

Figuur 2.7 De grondwatersituatie voor en na de ontginning van de natte heide.

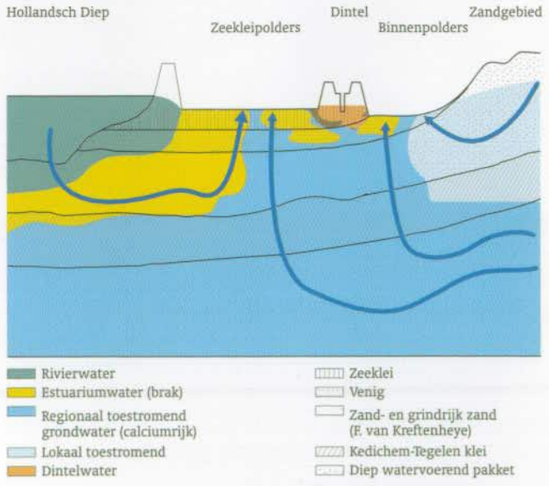
2.3.2 Grondwaterstroming

Zoals hiervoor besproken kan onderscheid gemaakt worden tussen infiltratie-, (ontwaterde) intermediaire- en kwelgebieden. De voeding van het regionale grondwatersysteem vindt plaats in infiltratiegebieden. Dit water stroomt naar kwelgebieden. De verbinding staat bekend als een grondwaterstromingssysteem. Dit vindt op verschillende schalen plaats (figuur 2.8). Zo vormen het Kempisch Plateau in Vlaanderen en het gebied in de Centrale Slenk ten zuidoosten van de Nederlands-Duitse grens (supra-regionale) voedingsgebieden voor het diepe grondwater in Noord-Brabant. Deze grondwaterstromingscomponent stroomt vaak onder belangrijke Brabantse infiltratiegebieden (bijv. de Midden Brabantse dekzandrug) door in de richting van het rivierengebied waar het in de polders opstijgt. Het is van belang te weten dat de snelheid in grondwaterstroming met de diepte zeer sterk afneemt. De reistijd voor de supra-regionale diepe systemen in Noord-Brabant bedraagt tienduizenden jaren wat een gevolg is van de afstand (100-150 km) en stroomsnelheid. Met behulp van koolstof-14 bepalingen is aangetoond dat er in de omgeving van Den Bosch en in het Land van Heusden Altena grondwater voorkomt dat ouder is dan 30.000 jaar. De reistijd van regionale systemen (stroming minimaal door het ondiepe watervoerende pakket) ligt in de orde van honderden tot enkele duizenden jaren. De grondwaterstroming door het freatische pakket naar het ontwateringsmiddel ligt in de orde van maanden. De grondwaterstromingssnelheid is afhankelijk van de gradiënt in stijghoogte en/of grondwaterstand en de doorlatendheid van het doorstroomde materiaal. Grind is zeer goed doorlatend, zand goed, lemig zand minder en klei slecht doorlatend. Grondwater verplaatst zich dus zeer langzaam! In het eerste watervoerende pakket in de Centrale Slenk (F. van Sterksel, grofzandig, grindrijk) ligt de snelheid in de orde van 10-20 m/j, in de diepe watervoerende pakketten in de orde van 3-5 m/j.
Deze snelheden kunnen plaatselijk verschillen.



Figuur 2.8 Geneste grondwaterstromingssytemen.

De watervoerende pakketten in het poldergebied ontvangen zowel grondwater vanuit het zandgebied als water dat vanuit de Maas en de zeearmen toestroomt (figuur 2.9). In het poldergebied bevindt zich een (holle) waterscheiding die deze twee regionale systemen scheidt. Met name wat betreft de toestroming vanuit de Maas en de oude zeearmen zijn de afgelopen eeuwen en decennia grote veranderingen opgetreden. Het gebied van de Bergsche Maas was honderd jaar geleden nog een kwelgebied

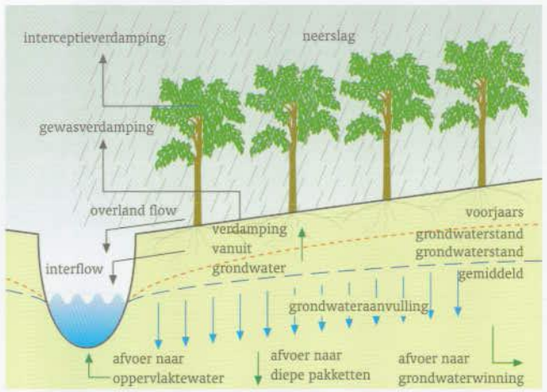


Figuur 2.9 Een schematisch beeld van de grondwaterstroming in NW-Brabant.

terwijl de Bergsche Maas nu een infiltrerende functie heeft. Dit geldt op een andere tijdschaal ook voor het Hollandsch Diep. Deze zeearm is pas tijdens de eerste helft van het tweede millennium ontstaan en bevatte lang brak tot zout water. Langs het Hollandsch Diep wordt dit brakke tot zoute water nog aangetroffen in het grondwater. In het noordwestelijke poldergebied komt ook nog veel brak-zout formatiewater voor. Nog maar enkele eeuwen geleden was dit een waddenachtig gebied. Het poriënwater van de toenmalige afzettingen wordt nu geleidelijk uitgespoeld door het kwel- en regenwater.

2.3.3 De beïnvloeding van de grondwaterstand

De grondwaterstand is het resultaat van variaties tussen watertoevoer en waterafvoer. Deze toe- en afvoer verschilt in de tijd en ruimte (figuur 2.10).



Figuur 2.10 De processen die de grondwaterstand bepalen.

2.3.3.1 Grondwatertoevoer

De watertoevoer (neerslagoverschot) wordt hoofdzakelijk bepaald door de hoogte van het neerslagoverschot minus het interceptieverlies en het verdampingsverlies. De hoogte van dit interceptie- en verdampingsverlies hangt sterk samen met de begroeiing. Bekend is dat naaldhout een hoog interceptie- en verdampingsverlies kent en dat hierdoor van de ca 800 mm/j neerslag minder dan 100 mm/j het grondwater aanvult. Interceptieverlies ontstaat doordat regenwater op de vegetatie achter blijft om daarna direct te verdampen. Het interceptieverlies van naaldhout is hoog omdat naaldbomen het gehele jaar begroeid zijn en het bladoppervlak groter is dan bijvoorbeeld loofhout. Onder gebieden zonder begroeiing (stuifzanden) bedraagt deze grondwateraanvulling meer dan 500 mm/j. In veel gevallen bestaat een extra verliespost namelijk door oppervlakkige afvoer, plasvorming en interflow. Interflow is ondiepe, horizontale waterafvoer over slecht doorlatende lagen in de onverzadigde zone. Deze processen ontstaan bij intensieve neerslagperioden en is met name van belang in de kwel- en intermediaire gebieden. Deze oppervlakkige afvoer wordt snel naar allerlei ontwateringsmiddelen afgevoerd en draagt sterk bij tot afvoerpieken in het oppervlaktewater. De ordegrootte van dit proces hangt samen met bodemsoort, de hoogte van de grondwaterstand en wordt sterk beïnvloed door het landgebruik.

2.3.3.2 Grondwaterafvoer

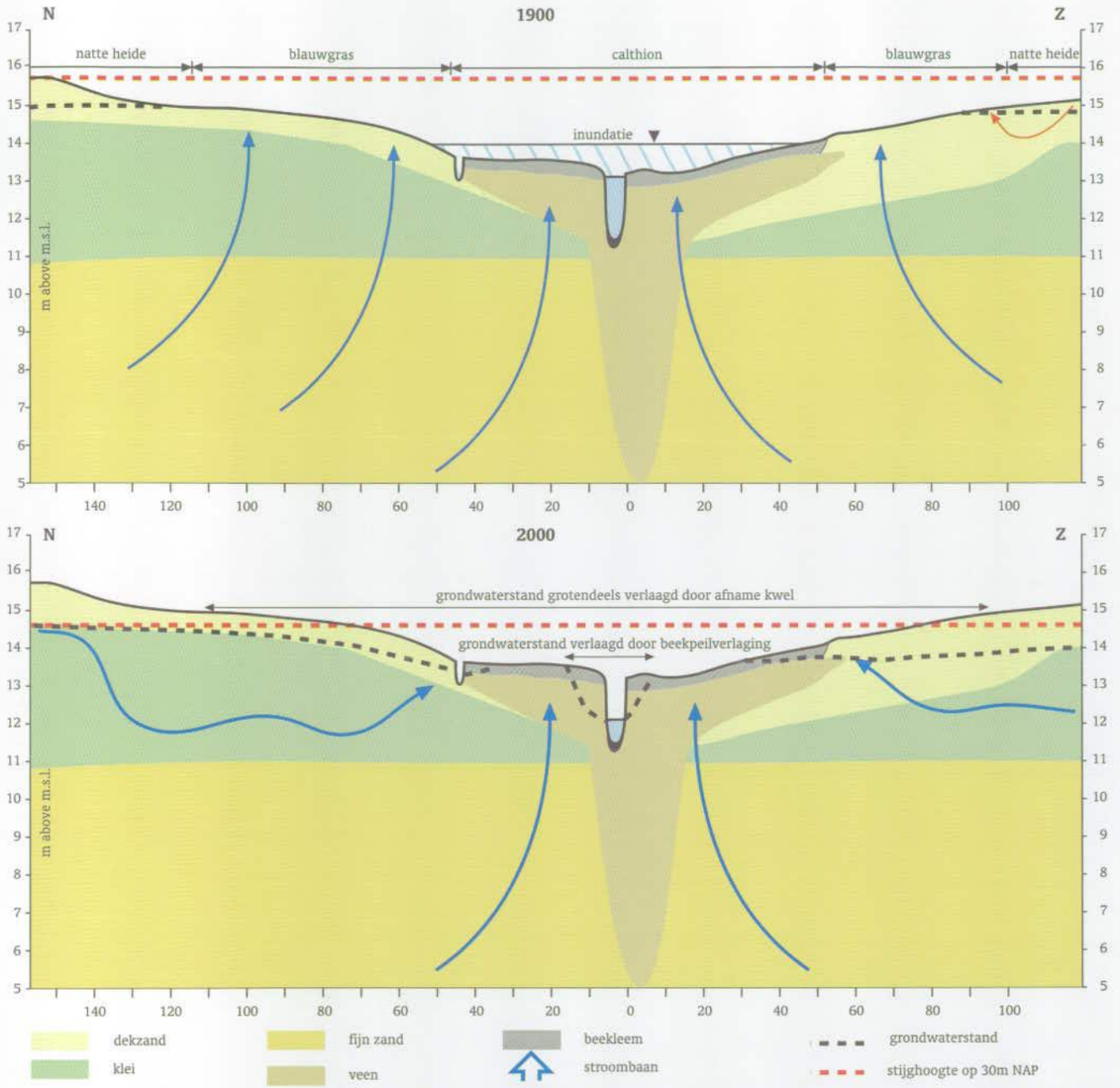
De afvoer van grondwater bestaat uit de volgende posten; (1) drainage naar het oppervlaktewatersysteem, (2) wegzijging naar diepere watervoerende pakketten, (3)capillaire opstijging in combinatie met verdamping en (4) grondwateronttrekking.

De drainage naar het oppervlaktestelsel wordt bepaald door de dichtheid en diepteligging van dit stelsel. Hierbij kan zowel aan drains als greppels of sloten worden gedacht. De afgelopen decennia is het ontwateringstelsel tot een complex geheel met een hoge dichtheid gegroeid. Hierbij hebben vaak locale factoren een hoofdrol gespeeld. Dit geldt in de land- en bosbouw maar ook bij de aanleg van wegen. Hierbij is het lang gebruik geweest om beide zijden van wegen te begeleiden met sloten.
Het effect van complexe stelsels in zijn totaal heeft nooit een rol gespeeld bij het ontwerpen van nieuwe drainage-projecten op een hoger schaalniveau.

Het ontwateringstelsel is ontworpen voor de realisatie van een gewenste drooglegging. Hier spelen met name economische factoren of praktische factoren (bijv. mestuitrij-regeling) een hoofdrol. De landbouwsector wil vaak al begin maart het land bewerken. Dit vereist dat de grondwaterstand dan voldoende laag moet zijn. Probleem hiermee is dat in maart deze grondwaterstand van nature op zijn hoogst zou liggen. De lage grondwaterstand in het voorjaar kan alleen worden gerealiseerd door het neerslagoverschot van het najaar en de winter via het oppervlaktewatersysteem af te voeren. Dit water wordt voor een groot deel ongebruikt naar zee afgevoerd. Belangrijke andere nadelen zijn dat hierdoor afvoerpieken worden gegenereerd en dat de grondwaterstand in de zomer op veel plaatsen te veel daalt en beregening in de landbouw noodzakelijk wordt.
In infiltratiegebieden vindt alleen afvoer door wegzijging plaats.

2.3.3.3 Door kwel beïnvloede grondwaterstand

In beekdalen en het poldergebied speelt de kwel ook een belangrijke invloed op de grondwaterstand. In de beekdalen van de Strijbeek en het Merkske is geconstateerd dat de grondwaterstand in het beekdal alleen verhoogd (hersteld) kan worden als de stijghoogte in het watervoerende pakket toeneemt. Een peilverhoging van de beek heeft slechts invloed in een smalle zone van enkele meters langs de beek (figuur 2.11).
Met name in het poldergebied speelt de kwel een belangrijke rol in de grondwaterstand. In de praktijk is de invloed van kwel vaak veronachtzaamd. Zo is er een voorbeeld van de aanleg van een bedrijfspand met een oppervlak van ongeveer een hectare. Het bouwterrein bestond uit een weiland met drains (afstand 12 m, diepte 0.8 m). De ontwerpers hadden de drains laten verwijderen en sloten gedicht. Na de bouw bleek de kruipruimte onder water te staan. De neerslag speelde weliswaar geen directe invloed op de grondwaterstand maar de kwel nog steeds en deze kon niet meer worden afgevoerd. Als gevolg hiervan was een

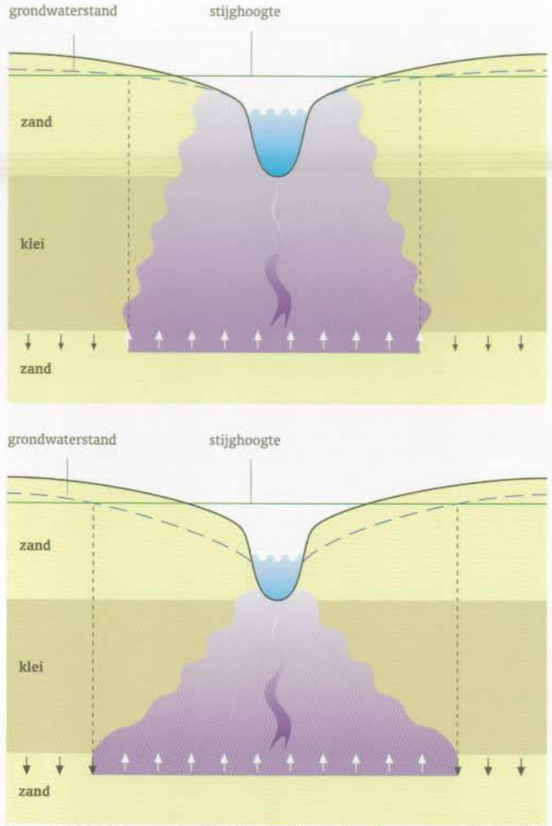


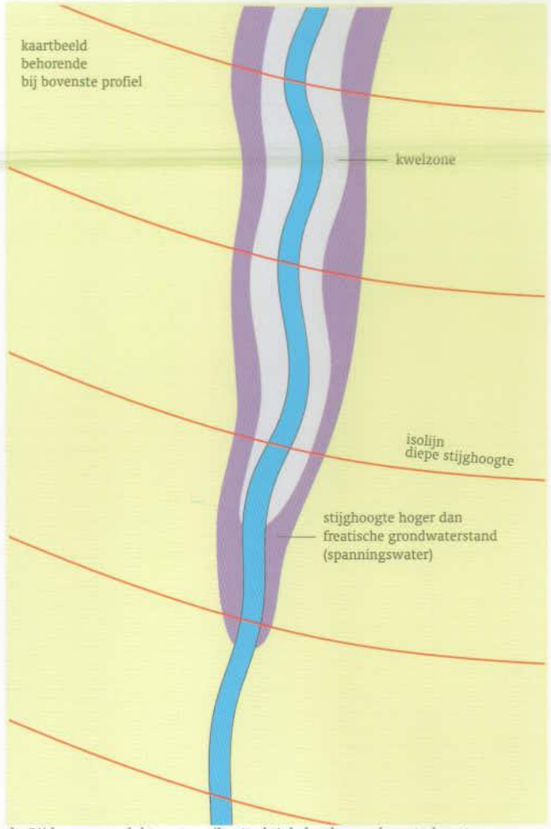
Figuur 2.11 De grondwatersituatie in een beekdal rond 1900 en zoals deze nu is. De stijghoogte is afgenomen, beekpeilen verlaagd en de innundatiefrequentie zeer sterk verminderd

opbolling ontstaan die tot boven het maaiveld van het ophoogmateriaal reikte. In veel nieuwbouwwijken in kwelgebieden doen zich vergelijkbare problemen voor.

2.3.4 Geen kwel zonder infiltratie

Kwel kan voorkomen op plaatsen waar de stijghoogte hoger is dan de freatische grondwaterstand of het oppervlaktewaterpeil. Op deze plaatsen vindt weliswaar altijd opwaarts gerichte voeding van de scheidende laag plaats maar dit opstijgende water kan zich tijdens de passage van deze laag horizontaal in de richting van het laagste punt in freatische vlak verplaatsen (fig. 2.12). De kwelflux is ook afhankelijk van de doorlatendheidseigenschappen van het doorstroomde pakket. Als dit pakket zeer slecht doorlatend is kan bij een groot stijghoogteverschil de kwelflux zo klein zijn dat hiervan aan het oppervlak niets merkbaar is.
Voor kwel vormt de stijghoogte in de diepere watervoerende pakketten en in het bijzonder het gegeven dat de stijghoogte hoger is dan het freatisch vlak een noodzakelijke randvoorwaarde. De grondwaterstand wordt in het algemeen locaal bepaald, de stijghoogte volgt in het algemeen de regionale topografie maar wordt in absolute zin, onder natuurlijke omstandigheden, bepaald door de grondwateraanvulling van het watervoerende pakket. Deze grondwateraanvulling vindt plaats in de eerder gedefinieerde infiltratiegebieden welke vaak bestaan uit dekzandruggen of (stuifduinen).





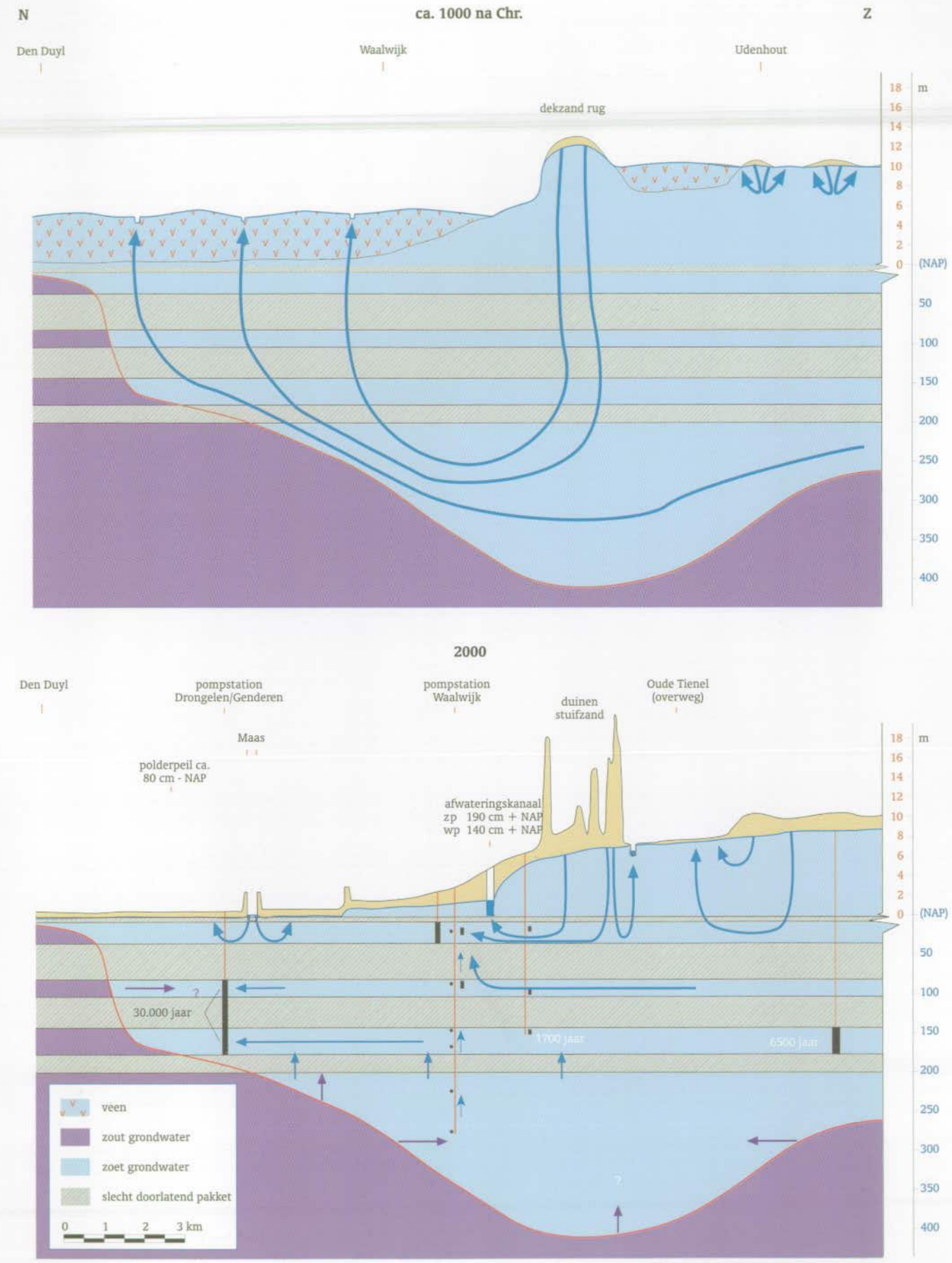
Figuur 2.12 Gebieden met kweldruk (potentiële kwel) en de zone waar kwel werkelijk uittreedt. Bij lage oppervlaktewaterpeilen 'trekt' de kwel naar de waterloop toe.

Er bestaan veel aanwijzingen dat de grondwateraanvulling van de diepere pakketten in Noord-Brabant de afgelopen eeuw is afgenomen. Hiervoor bestaan twee hoofdoorzaken; (1) het oppervlak aan infiltratiegebied is geleidelijk verminderd door de aanleg van drainage en watergangen en (2) het neerslagoverschot of grondwateraanvulling is afgenomen door bebossing en 'verharding' van de infiltratiegebieden. Daarnaast werd gedurende de afgelopen eeuw geleidelijk steeds meer grondwater gewonnen hetgeen voor een belangrijk deel ten koste van de kwel gaat. Bij studie naar grondwateraanvulling moet in beschouwing worden genomen dat deze afhankelijk van de diepteligging van het watervoerend pakket verschilt. Uit verschillende studies in de provincie wordt geschat dat de grondwateraanvulling onder infiltratiegebieden 240-300 mm/j bedraagt. Deze hoeveelheid voedt het eerste het ondiepe watervoerende pakket onder de infiltratiegebieden. Voor de voeding van de diepere pakketten zal de voeding aanzienlijk geringer zijn. Door veranderingen in de waterhuishouding kan de voeding van de diepe watervoerende pakketten zelfs wegvallen. Een voorbeeld is de Drunense Duinen. Hier wordt het grondwater nu door het ondiepe, eerste watervoerende pakket afgevoerd naar het Afwateringskanaal en grondwaterwinningen, terwijl uit het zoet-zout grensvlak zichtbaar is dat hier in het verleden water naar de diepe watervoerende pakketten stroomde (figuur 2.13).

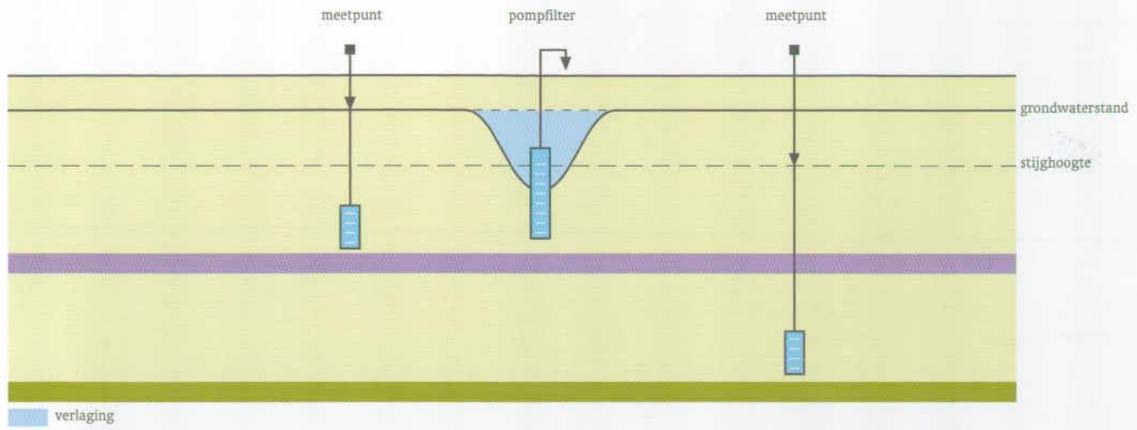
Herstel van kwel kan bereikt worden door (1) het infiltratiegebied te vergroten door de ontwateringsmiddelen grenzend aan de huidige infiltratiegebieden waar mogelijk te dichten, (2) de grondwateraanvulling in de infiltratiegebieden te vergroten door het landgebruik te veranderen of door het starten van infiltratieprojecten in het stedelijk gebied en (3) de grondwaterwinning te verminderen. Daarnaast zijn aanvullende maatregelen in het kwelgebied noodzakelijk, zoals peilverhoging.

1. Het infiltratiegebied kan worden vergroot door actief drainerende waterlopen te dichten. Dit is het meest effectief voor de waterlopen die direct aan de bestaande infiltratiegebieden grenzen (zie het voorbeeld van de Drunense Duinen in figuur 2.13).

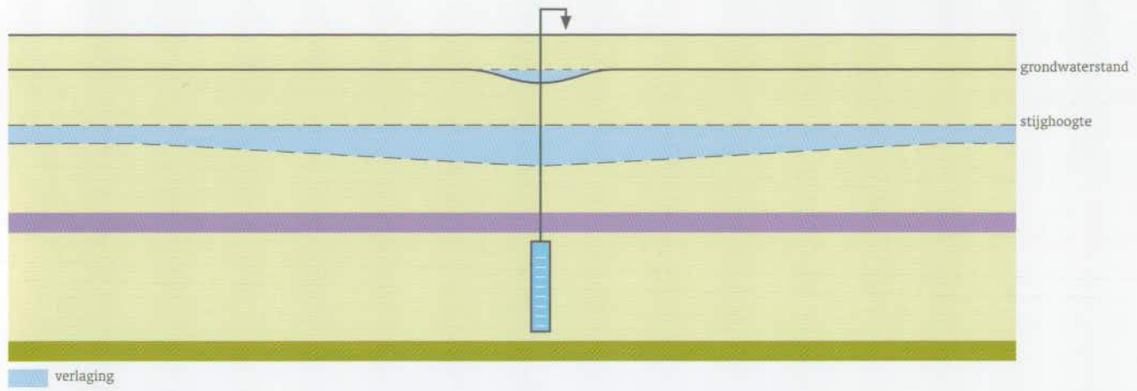
2. De grondwateraanvulling (=voeding) vergroten kan door aanpassingen in begroeiing. De extreemste, meest effectieve voedingsverbetering is het weghalen van de begroeiing en het infiltratiegebied omvormen tot kale (stuif-)duinen. Het omvormen van naaldbossen tot heideachtige begroeiing draagt echter ook bij aan een significante verhoging van de voeding (in de orde van een verdubbeling). Er kan ook gedacht worden aan kunstmatige oplossingen. Een voorbeeld is kunstmatige aanvulling door wateraanvoer naar de infiltratiegebieden. Tijdens een studie naar de kansen voor waterconservering rond het Merkske-



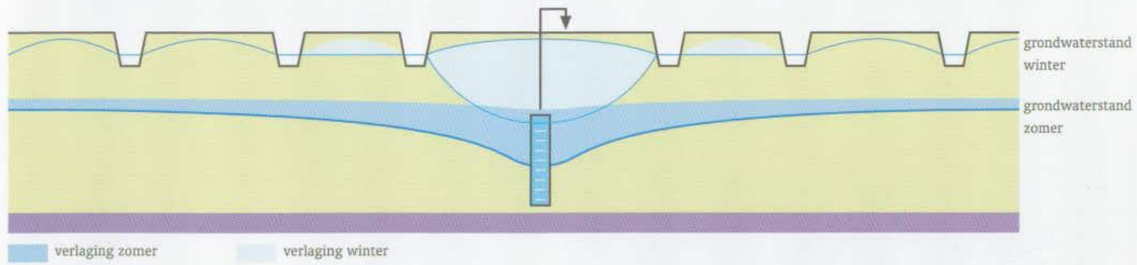
Figuur 2.13 De grondwatersituatie rond de Drunense Duinen. Het actuele zoet-zout grensvlak en het diepe zoute grondwater herinneren aan de historische grondwatersituatie.



Figuur 2.14a Het beïnvloedingsgebied van een freatische winning is vaak lokaal en relatief sterk.



Figuur 2.14b Het beïnvloedingsgebied van een diepe winning beinvloed ruimtelijk een groter gebied. Het effect is lokaal minder.



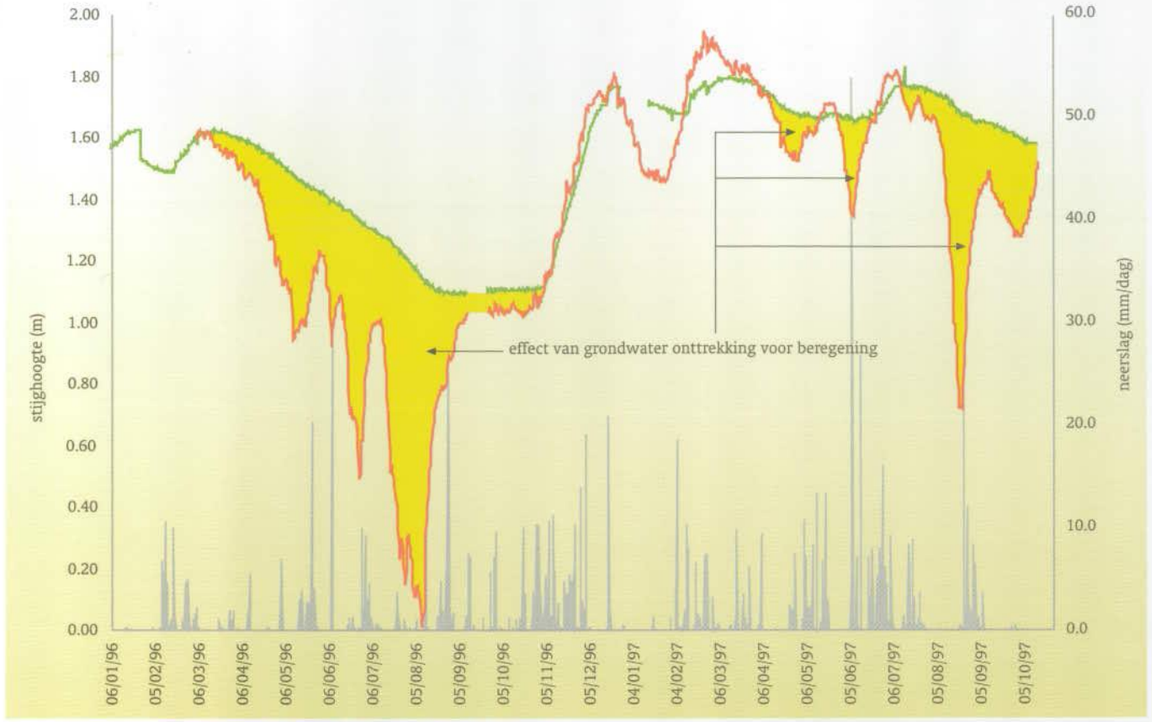
Figuur 2.14c Het beïnvloedingsgebied van een freatische winning kan in de zomer sterk toenemen als de waterlopen droogvallen.

stroomgebied is geopperd om delen van de winterafvoer (onder vrij verval) te leiden naar droge vendepressies op de infiltratiegebieden.
In het stedelijk gebied kan de grondwateraanvulling ook sterk worden verbeterd. Hier bestaan tegenwoordig veel ideeën over. Te denken valt aan gescheiden riolering waarbij het regenwater zoveel mogelijk infiltreert en niet zoals nu vaak het geval is afgevoerd wordt naar het oppervlaktewater of de RWZI's.

3. Wat betreft de vermindering van grondwateronttrekking vinden momenteel veel acties plaats. Voorbeelden zijn het zuiniger gebruik in huis (douchekoppen, toiletspoeling etc.), het gebruik van regenwater voor huishoudelijke activiteiten, grondwaterbelasting en het deels overschakelen op oppervlaktewater als bron voor de drink- en industriewatervoorziening. In de industrie is het laagwaardig gebruik van grondwater sterk terug gedrongen. Een negatieve ontwikkeling is echter dat het aantal particuliere onttrekkingen en beregeningsputten de afgelopen jaren sterk is toegenomen.

2.3.5 Het effect van grondwaterwinning

Het effect van een grondwaterwinning op het grondwatersysteem kan sterk verschillen. Dit is afhankelijk van de ruimtelijke positie, de winningsdiepte, de onttrokken hoeveelheid en de



Figuur 2.15 Tijdelijke stijghoogtedaling als gevolg van beregening.

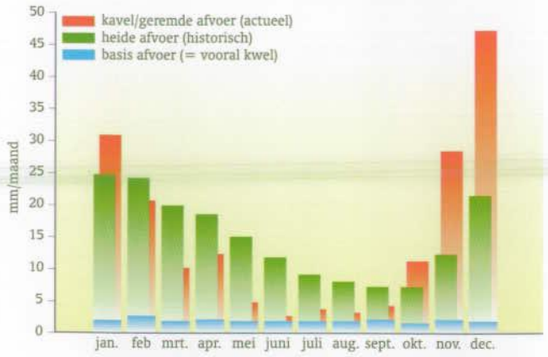
jaarlijkse verdeling van de onttrekking.
Een freatische winning in een infiltratiegebied heeft een relatief lokaal effect. Freatische grondwaterwinningen in kwelgebieden hebben een zeer locaal effect dat hoofdzakelijke ten koste van de kwel gaat (figuur 2.14a). In een intermediair gebied zal het invloedsgebied van de freatische winning gedurende het jaar als gevolg van het droogvallen van het oppervlaktewaterstelsel verschillen. In de zomer neemt het invloedsgebied sterk toe (figuur 2.14c). Diepe grondwaterwinningen hebben een veel diffuser effect (figuur 2.14b). De verlaging van de stijghoogte is in het algemeen op veel grotere afstand merkbaar terwijl de verlaging op de freatische grondwaterstand moeilijk meetbaar is. Een diepe winning heeft aan het oppervlak met name invloed op de grondwaterstand in infiltratie- en kwelgebieden. In infiltratiegebieden is de grondwaterstand lager maar meestal niet merkbaar omdat de grondwaterstand er al relatief diep ligt. In kwelgebieden daarentegen is het effect zeer groot door vermindering van de kwel. Positionering van een diepe winning in een kwelgebied zou slechts een zeer locaal effect op de freatische grondwaterstand veroorzaken als de winningshoeveelheid evengroot is als de kwel die daar opstijgt.

In de provincie wordt periodiek veel grondwater onttrokken voor beregening van landbouwgewassen. In enkele weken worden tientallen miljoenen m^3 onttrokken. Er wordt geschat dat dit bijna 25 % (ca 90 miljoen m3/j) van de totale Noord-Brabantse grondwateronttrekking (ca 400 miljoen m3/j) bedraagt. Als gevolg van de beregening ontstaan tijdelijk sterke verlagingen in stijghoogte (zie figuur 2.15). Hier kan soms onderscheid worden gemaakt in een locaal effect en een bovenlocaal-regionaal effect door het optellen van de effecten van alle tijdelijke winningen tezamen. Na stopzetting van de onttrekking 'springt' de stijghoogte weer naar het normale niveau. Het effect van de verlaging uit zich met name in tijdelijke vermindering of stopzetting van de kwel. Voor kwelafhankelijke natuur komt dat net ongelukkig uit omdat het de perioden zijn met de grootste waterbehoefte. In korte tijd kan de grondwaterstand dan dalen.

2.3.6 Grondwater en regenwater voedt oppervlaktewater

De oppervlaktewaterafvoer wordt gegenereerd uit verschillende bronnen waarvan de bijdrage tijdsafhankelijk en ruimtelijk kan verschillen. De belangrijkste bronnen zijn ontwatering en kwel. Ook direct op de waterlopen gevallen neerslag is van belang. Op verschillende plaatsen bestaan ook kunstmatige bronnen, rioolwaterzuiveringsinstallaties, regenwaterriolen, koelwater en overstorten.
De kwel bepaalt in sterke mate de basisafvoer welke gedurende het seizoen niet sterk verschilt. Dit water is vaak van goede kwaliteit (ijzer- en calciumrijk). De afvoer tijdens de natte perioden en afvoerpieken wordt hoofdzakelijk gegenereerd uit (zeer) ondiepe grondwater via het dicht vertakte drainagestelsel. De waterkwaliteit van deze post wordt sterk door het landgebruik bepaald (figuur 2.16).

2.4 Veranderingen in het Brabantse watersysteem tijdens de



Figuur 2.16 De afvoer kent een snelle en langzame component. Dit voorbeeld (Strijbeek) toont dat de dynamiek tussen vroeger en nu veranderd is

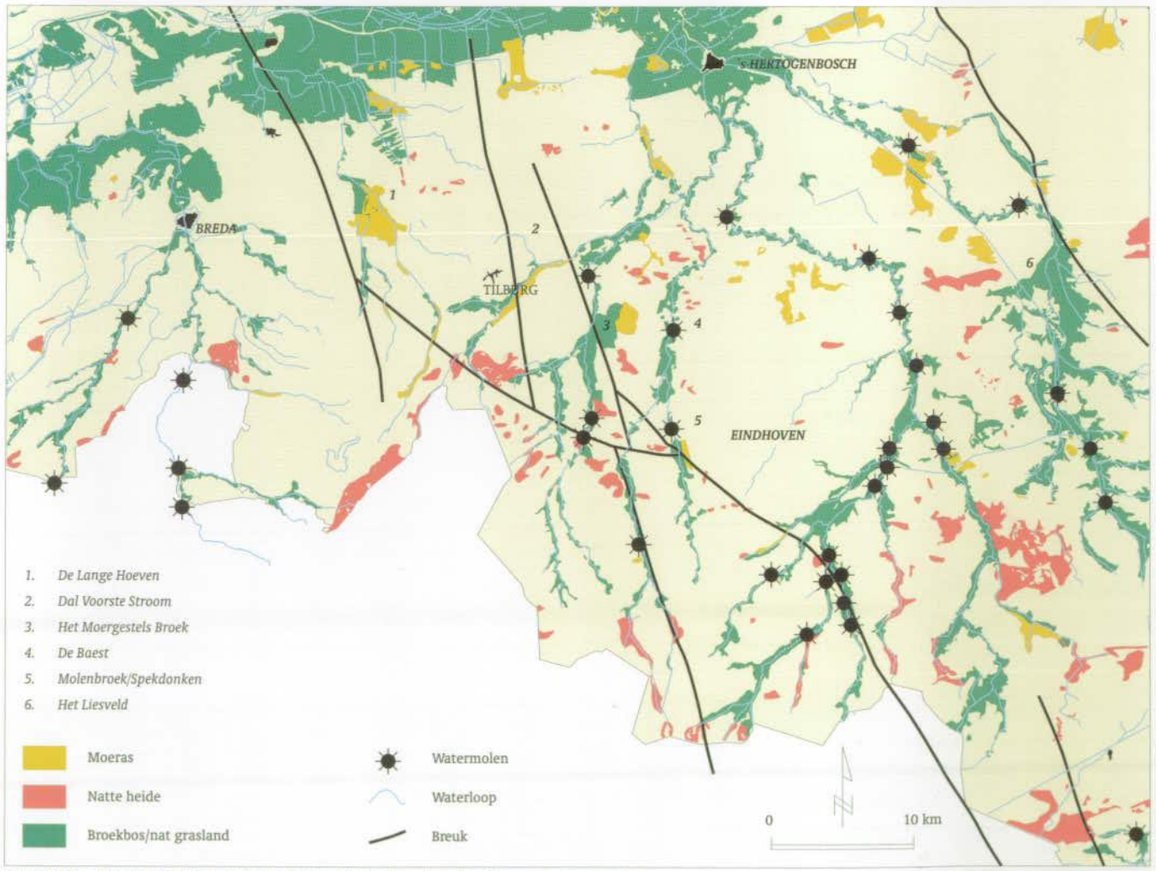
laatste tweeduizend jaar

Het watersysteem is al eeuwenlang continu veranderd. De afgelopen decennia zijn de veranderingen in een stroomversnelling geraakt.

2.4.1 De periode 0-1000 jaar A.D.

Vanaf 700 v. Chr. (IJzertijd) nam de bevolking sterk toe en ontwikkelden zich permanente akkercomplexen, welke vanaf het begin van de jaartelling steeds meer afgestemd raakten op de Romeinse economie. In deze periode kwamen voornamelijk uitgestrekte loofwouden en veengebieden voor. Het beekdal inundeerde regelmatig als gevolg van stormvloeden, kruiend ijs, meandering en beverdammen. Er zijn geen aanwijzingen dat de beken gedurende deze periode op directe wijze door menselijk ingrijpen beïnvloed werden. Wel zal de ontbossing indirect het beeksysteem beïnvloed hebben. Wellicht van belang voor de waterhuishouding in De Mark, Donge, Dieze en hun zijbeken kan de doorbraak zijn geweest van de duinenreeks bij Zeeland rond de vijfde eeuw na Chr. Als gevolg hiervan werd een deel van het veen in noordwest-brabant weggeslagen en kwam bijvoorbeeld De Mark sterk onder zeeinvloed te staan. De grens waar de getijdenwerking nog merkbaar was, verplaatste zich in de loop van de tijd geleidelijk in stroomafwaartse richting. Dit hing samen met verzandingen en het ontstaan van grilliger meanders in de loop van de eeuwen waardoor ook scheepvaart op De Mark geleidelijk onmogelijk werd.

Na de Romeinse tijd raakten het grondbezit in handen van kloosters en hoven ('hofhorigheid'). In deze periode (ca. 800 na Chr.) werden vooral door de kloosters talrijke watermolens aangelegd, waardoor de beekafvoer en het beekpeil sindsdien sterk onder menselijke invloed kwamen te staan. Dit gold in het bijzonder voor de beken in Midden- en Oost-Brabant (figuur 2.17) . In De Mark zijn uit deze periode slechts een viertal watermolens bekend. Overigens werd het beekpeil in deze tijd ook sterk beïnvloed door visserij waarbij het peil plaatselijk opgestuwd raakte en de afvoer geremd werd.



Figuur 2.17 De ligging van watermolens in Midden-Brabant en de verbreiding van natte gronden

2.4.2 De periode 1000-1900 jaar A.D.

Na het verdrijven van de Noormannen (ca. 1100) nam de ontginning ten bate van de landbouw toe. De bevolking groeide sterk, de horigheid en het grootgrondbezit nam af. Het oppervlak bos nam in deze periode sterk af en het oppervlak heide, weiland en akker nam sterk toe. De natuurlijke gronden werden gebruikt voor strooiselwinning, afplaggen en veebeweiding.

Doordat als gevolg van de houtkap een brandstoftekort opgetreden was, ontstond tussen 1000 en 1200 de turfwinning. Hierbij werden eerst de lage gronden in het noordwesten van Brabant ontgonnen waarna geleidelijk het meer zuidelijke, tegen de zandgronden opwiggende veen ontgonnen werd. Hierbij werden talrijke turfvaarten aangelegd. In feite kon tot deze periode alleen de hoge dekzandruggen bewoond worden. Voorbeelden hiervan vormen Baarle-Nassau, Alphen, Oirschot en Valkenswaard. Hiervoor werden op de hogere gronden turfvaarten gegraven en beken gekanaliseerd en verdiept waardoor een sterke verandering in het natuurlijke ontwateringssysteem ontstond.

2.4.3. Stroomgebieden Mark, Aa of Weerijs en Donge

In *westelijk Noord-Brabant* werden een 19-tal turfvaartstelsels gegraven. Ze werden met name begin 1500 aangelegd en waren vaak 4-6 meter breed en voerden ca. 2 meter water. Deze turfvaarten bezaten talrijke sluizen en stonden ook in verbinding met in het veen gelegen waterreservoirs waarmee de vaarten desgewenst gevuld konden worden. Na de ontginning bleef een gebied met heide en duizenden vennen over.

In deze periode startte men ook met de ontginning van de nattere, lagere gronden. Hierbij werden de natte gronden langs de beekdalen verdeeld en vervolgens ontgonnen c.q. ontwaterd. In deze tijd ontstonden de beemden of hooigraslanden. De beemdpercelen liepen soms ver tegen de dalflank op. De lager gronden in westelijk en noordwestelijk Noord-Brabant raakten in deze periode steeds sterker onder mariene invloed. Dit werd veroorzaakt door veenafgraving en zoutwinning. In deze periode ontstond het Hollandsch diep. Als gevolg van de geleidelijk in oostelijke richting oprukkende zee werd het veen met klei afgedekt. Het gebied veranderde in een landschap van platen en gorzen. Deze werden later bedijkt om vervolgens weer door de zee teruggewonnen te worden. Rond 1600 ontstonden de huidige polders.

Onder invloed van de geomorfologische en hydrologische gesteldheid van het gebied ontstonden in deze periode duidelijke agrarische kultuurlandschapspatronen waarbij twee categorieën onderscheiden kunnen worden:

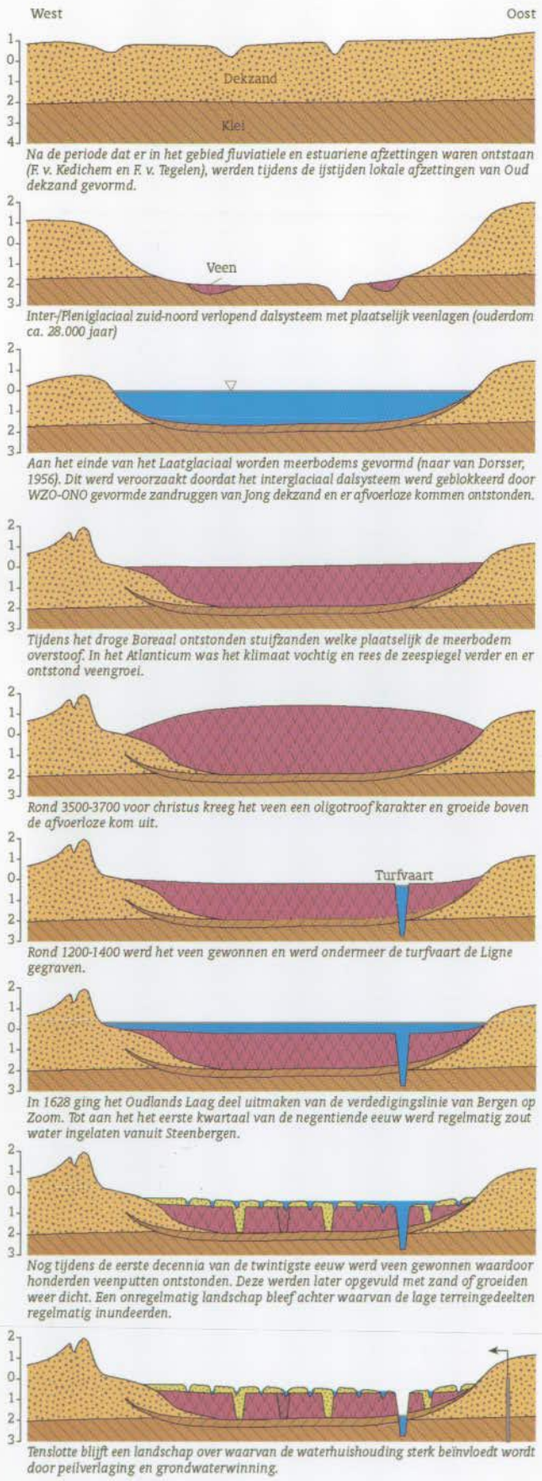
1. de beekdalnederzetting en
2. de plateaunederzetting.

Een voorbeeld van een beekdalnederzetting vormt 't Groeske bij Castelré. Bij dit type nederzetting bevinden zich beemden langs de beek. Deze waren veelal smalle particuliere percelen, loodrecht gerangschikt t.o.v. de beek. Iets hoger op de beekdaloever bevond zich de nederzettingskern welke omgeven was door het akkergebied. Het akkergebied werd meestal door een houtwal gescheiden van de woeste gronden (de Gemeynt) welke uit bossen en heide bestond. Als gevolg van de ontbossing en het intensieve gebruik van de heide, namen vanaf de tiende eeuw zandverstuivingen toe. Hierdoor nam de sedimentlast in de beken geleidelijk toe.

In het begin van 1300 stagneerde de ontwikkeling door allerlei oorzaken (o.a. passieve overheid, tekort aan mest etc.). De ontginning nam nog maar zeer langzaam en kleinschalig toe hetgeen in feite tot in de negentiende eeuw duurde. Belangrijk was echter de introductie van de potstalmest rond 1300 waardoor een driedeling ontstond van woeste gronden, hooilanden en akkers.

In het stroomgebied van *De Mark* en *Aa of Weerijs* stond De Mark in 1554 (volgens edict van Keizer Karel V in geschil tussen Filips de Lalaing en de Prins van Oranje) tot aan de Belgisch-Nederlandse grens onder getijde-invloed. De Mark was bevaarbaar tot aan Hoogstraten waar o.a. scheepsbouw plaatsvond. In het Graafschap Hoogstraten was de beek 24-30 voet breed (8-10 meter). De schepen waren rond de 10 voet (3 meter) breed en 45 voet (15 meter) lang. Er werd ook gevist met kleine schuiten. Uit de 'Memorie' bleek wel dat bruggen nauwelijks gepasseerd konden worden, omdat deze te laag boven de waterspiegel lagen en te nauw waren. Daarnaast bleek De Mark in de omgeving van Galder gekenmerkt te worden door droogten, versmallingen, zandbanken en kronkels. Rond 1610 werd De Mark tweemaal per jaar geschouwd tot aan Merksplas. Uit het schouwrapport blijkt dat de beekbreedtes in deze periode gelijk zijn aan latere metingen in het begin van de negentiende eeuw. Uit verschillende berichten rond 1672 blijkt dat hooi, stro, vis en mosselen per schip naar het Land van Hoogstraten werd vervoerd.

In de achttiende eeuw werd de scheepvaart geleidelijk onmogelijk door verzandingen en de ontwikkeling van grilliger bochten. Rond 1816 werd een laatste poging gewaagd welke strandde bij Meersel-Dreef. Volgens Havermans (1973) werd dit veroorzaakt door de natuurlijke veroudering van de rivier en het wegvallen van de getijdenwerking. Deze getijdenwerking viel weg bij de bouw van de sluis te Dintelsas in 1829. In deze tijd groeiden geleidelijk wateroverlastproblemen in het Boven-Mark traject. Deze hingen samen met de ontginning van duizenden bunders moerassige grond in de provincie Antwerpen (Heemraadschap van De Mark en Dintel, 1915). Hierdoor nam het wateraanbod fors toe terwijl gelijktijdig verzanding plaats vond en zich grote zandbanken ontwikkelden. Regelmatig werd druk uitgeoefend op



Na de periode dat er in het gebied fluviatiele en estuariene afzettingen waren ontstaan (F. v. Kedichem en F. v. Tegelen), werden tijdens de ijstijden lokale afzettingen van Oud dekzand gevormd.

Inter-/Pleniglaciaal zuid-noord verlopend dalsysteem met plaatselijk veenlagen (ouderdom ca. 28.000 jaar)

Aan het einde van het Laatglaciaal worden meerbodems gevormd (naar van Dorsser, 1956). Dit werd veroorzaakt doordat het interglaciaal dalsysteem werd geblokkeerd door WZO-ONO gevormde zandruggen van Jong dekzand en er afvoerloze kommen ontstonden.

Tijdens het droge Boreaal ontstonden stuifzanden welke plaatselijk de meerbodem overstoof. In het Atlanticum was het klimaat vochtig en rees de zeespiegel verder en er ontstond veengroei.

Rond 3500-3700 voor christus kreeg het veen een oligotroof karakter en groeide boven de afvoerloze kom uit.

Rond 1200-1400 werd het veen gewonnen en werd ondermeer de turfvaart de Ligne gegraven.

In 1628 ging het Oudlands Laag deel uitmaken van de verdedigingslinie van Bergen op Zoom. Tot aan het het eerste kwartaal van de negentiende eeuw werd regelmatig zout water ingelaten vanuit Steenbergen.

Nog tijdens de eerste decennia van de twintigste eeuw werd veen gewonnen waardoor honderden veenputten ontstonden. Deze werden later opgevuld met zand of groeiden weer dicht. Een onregelmatig landschap bleef achter waarvan de lage terreingedeelten regelmatig inundeerden.

Tenslotte blijft een landschap over waarvan de waterhuishouding sterk beïnvloedt wordt door peilverlaging en grondwaterwinning.

Figuur 2.18 De evolutie van het watersysteem in het Halsteren laag

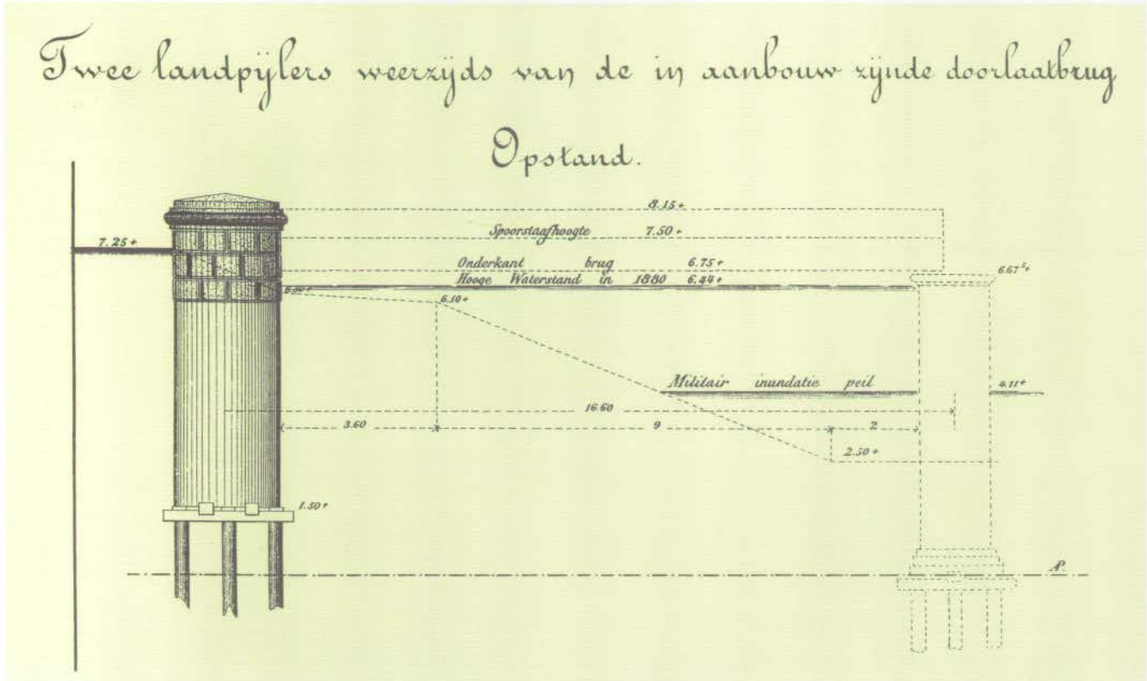
het Heemraadschap om de Boven-Mark uit te diepen, maar deze deed niets omdat het niet tot hun taak gerekend werd (nl. geen bevaarbaar water). De oprichting van het Waterschap 'De Boven-Mark' in 1879 was het gevolg. De ontginning zette voort (afvoer groter), de instelling van het Waterschap resulteerde daaropvolgend in een snellere afvoer. Volgens het 'Voorlopig rapport omtrent de verbetering der afwatering van Noord-Brabant'(1920) nam met name in de periode 1890-1920 de afvoer sterk toe. De Markafvoer werd toen mede bezwaard door bevloeiingen in de Belgische Kempen.

Ook benedenstrooms van Breda was telkens sprake van wateroverlast. Hierdoor werden de beemden onder Hoeven, Etten en Princenhage regelmatig getroffen. De belangrijkste oorzaak lag in het feit dat het peil hoog werd gehouden ten bate van de scheepvaart. De Scheepvaart had hier eerste prioriteit, terwijl de 'vrije ontwatering van polders en beemden een tweede prioriteit kenden voor zover de scheepvaart dat toeliet'. Hierdoor raakten ook zomers de beemden regelmatig onder water. Een verbetering trad op in 1915 toen het Markkanaal geopend werd. Deze staat in open verbinding met De Mark.

Binnen het stroomgebied van *De Mark* en *Aa of Weerijs* bevonden zich van oudsher zeker een zevental watermolens. Over het bestaan van deze watermolens wordt reeds in het begin van de zestiende eeuw gesproken. De molens veroorzaakten vaak overstromingen. Rond 1872 werden door de watermolen te Hoogstraten tot 4 km stroomopwaarts inundaties veroorzaakt welke volgens de geschriften verzuring van de gronden veroorzaakten. De oorzaak van deze inundaties lag echter ook bij de toegenomen afvoer als gevolg van de ontginningen in België. Ook in *De Donge* ter hoogte van Dongen, bevond zich lange tijd een watermolen. Stroomafwaarts van deze molen stond ook De Donge onder invloed van eb en vloed. In figuur 2.18 wordt voor het Halsteren Laag getoond hoe het watersysteem in de tijd voortdurend aan verandering onderhevig was.

2.4.4 Het Dommel-stroomgebied

In *De Dommel* tussen Den Bosch en Boxtel en in de *Voorste- en Essche Stroom* tussen Tilburg en Den Bosch vond in de 18e en 19e eeuw nog kleine scheepvaart plaats.
Van oudsher werden De Dommel en zijn zijbeken opgestuwd door talrijke watermolens. De aanwezigheid van deze molens voert terug tot de achtste eeuw. De gronden langs De Dommel ondervonden mede als gevolg van deze molens wateroverlast. Andere oorzaken vormde weer de ontginning van de woeste gronden, slecht onderhoud (ondiepten, zandplaten) en sinds het midden van de negentiende eeuw de bevloeiing vanuit het Kempens kanaal. Wateroverlast als gevolg van de ontginning van woeste grond werd met name in de periode 1800-1810 sterk merkbaar.
Net als in De Mark veranderde De Dommelafvoer na de afscheiding van België in ongunstige zin. In België startte men nl. in 1847 met grootschalige bevloeiingsprojecten vanuit het Kempens



Figuur 2.19 Rond 1890 moest bij planning van bebouwing en infrastructuur rekening worden gehouden met de functies als militair innundatiegebieden en Overlaat. De figuur toont een bouwtekening van de spoorbrug door de Moerputten bij Den Bosch. Het huidige peil ligt rond 1,50m + NAP (AP≈ NAP)

Kanaal. Rond 1850 werden ca. 3000 ha gronden in het Belgische deel van het stroomgebied bevloeid. Rond 1850 bevond De Dommel zich dan ook in zeer gebrekkige toestand met veel ondiepe plaatsten terwijl een geregelde afvoer onmogelijk gemaakte werd door de talrijke watermolens. Tussen 1876-1886 wordt de afwatering van De Dommel sterk verbeterd. Als gevolg van de instelling van het waterschap (1863) werd nu ook structureel geruimd en gebaggerd en vonden de meest noodzakelijke normalisaties plaats. Deze activiteiten waren afgestemd op de maximumafvoer in de zomermaanden. Rond 1917 namen de klachten over overstromingen en schade echter weer toe. Daarop werd in 1920 een rapport voor de verbetering van de Dommel aan Gedeputeerde Staten aangeboden. Mede op aangeven van deze studie werd tussen 1931-1941 een afwateringskanaal aangelegd om Dommelwater via het Beatrix- en Wilhelminakanaal af te voeren. Daarnaast werd tussen 1933-1936 onder Boxtel een afwateringskanaal aangelegd. Hierdoor werden de voorheen talrijk voorkomende inundaties rond Boxtel grotendeels verholpen.

Stroomafwaarts van Boxtel was de afwatering van oudsher bepaald door de stand van de Maas. Hier vonden ook regelmatig zomerinundaties plaats (o.a. in de Bossche Broek). Echter na aanleg van het Drongelens Afwateringskanaal waren deze zomerinundaties voorbij. Inundaties in de winter werden juist voordelig geacht wegens de toegedichte bemestende werking. Na de eeuwwisseling veranderde men van gedachte omdat bij winterinundaties het gebruik van kunstmest onmogelijk was, de aeratie van de teeltlaag onvoldoende bleek en bewerken en zaaien niet op tijd mogelijk was.

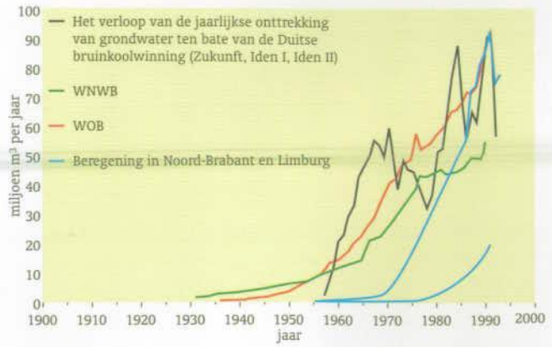
Een gebied dat lange tijd sterk door wateroverlast werd geteisterd vormde *de traverse van De Beersche Maas*. Lange tijd ontlastte de Maas zich bij hoge rivierstanden voor een groot deel dwars door noordoostelijk Noord-Brabant heen, achter de bedijking om (uit: De verbetering der afwatering van Noord-Brabant, 1920). Tot halverwege de negentiende eeuw stond de Maas bij St. Andries namelijk in open verbinding met de Waal waardoor de Maas onafgebroken onder invloed stond van de Waal. Bij hoge Waalpeilen raakte de afvoer van de Maas belemmerd en zocht deze een uitweg door het noordoostelijk poldergebied. Een verbetering trad op bij de installatie van de Heerwaardensche overlaten. Hierbij werd de open verbinding tussen Maas en Waal afgesloten maar kon de Waal zich alleen nog bij hoge peilen ontlasten op de Maas. Op dat moment werd de Maas weer tussen Cuijk en Grave gedwongen zijn weg door het poldergebied te vervolgen. Bij Den Bosch kon deze dan weer terugstromen in de Maasbedding zelf of over de Baardwijkse Overlaat zijn uitweg zoeken naar de Langstraatse Buitenpolders. In 1904 werd door de aanleg van de Amer (Bergsche Maas) de scheiding tussen Maas en Waal volledig. Nu werd het mogelijk om aan een gereguleerde afvoer van de Maas door zijn eigen bedding te werken. Ondanks deze aanpassing was men pas in 1942 definitief verlost van de overlast van de Beersche Maas. Overigens stond het traject van de Beersche maas ook zonder overstroming 's-winters ca. 10 cm onder water als gevolg van kwelwater.

2.4.5 Het Aa-stroomgebied

Ook *De Aa* werd van oudsher gekenmerkt door de aanwezigheid van veel watermolens. Deze paralel aan De Dommel gelegen beek onderscheidde zich door een sterk afwijkende afvoerdynamiek en waterkwaliteit. De Aa vormde immers de hoofdafwatering van de Peelgebieden en voerde hoofdzakelijk zuur, voedselarm water af. Uit 'De beschrijving van de rivier de Aa en van de daarop gelegen watermolens' (Anonymus, 1860) kan een nauwkeurige reconstructie verkregen worden. De Aa ontsprong toen in een ven op het Somerensche Broek. De oevers waren in het algemeen steil waarbij deze dichterbij de watermolens steeds lager werd. Stroomafwaarts van Aarle-Rixtel waren op verschillende plaatsen kaden opgeworpen. De hoge steile oevers vormde een belangrijk probleem bij de afvoer. Ze ontstonden door inscharing, nastorten van grond en tijdens het wegnemen van de 'zandschel' waarbij grond op de oever gegooid werd. Hierdoor werd deze hoger dan het aangrenzende perceel en bleef het water na inundaties onbedoeld langer op het land. De breedte en diepte waren verder zeer ongelijk. Tot aan de Stipdonkse watermolen kon de rivier op enkele plaatsen zelfs zeer makkelijk bewaden worden. Tussen Helmond en Dinther was de breedte van de rivier zeer gelijkmatig terwijl de diepte als gevolg van ijzeroerafzettingen sterk varieerde. Tussen Dinther en de uitstroming in de Dieze werd ook de breedte weer zeer ongelijkmatig. De bodem bestond tot aan Helmond hoofdzakelijk uit los zand. Stroomafwaarts van Helmond werd de bodem geleidelijk harder als gevolg van ijzerafzettingen. Stroomafwaarts van Aarle-Rixtel bevatte de bodem zoveel 'ijzergrond' dat deze een geregelde afvoer belemmerde. Op verschillende plaatsen in dit traject tot aan De Dieze bevonden zich blokken 'ijzergrond' in de rivier. Voor de watermolens waren de zomer- en winterpegels zo ingesteld dat het land stroomopwaarts 'op den geschikten tijd boven en onder water komen'. Echter bleek in de praktijk dat de molens schade veroorzaakten. Daarom werd aan het begin van deze eeuw getracht de molens te verwijderen. In 1920 was dit gelukt voor alle molens stroomafwaarts van Helmond.
Om de afvoer van de Aa verder te verbeteren werden daarnaast tussen 1927-1929 twee afleidingskanalen, boven en onder Helmond, aangelegd. Zij waterden af op de Zuid-Willemsvaart. Bij Den Bosch kon dit water vanuit het kanaal weer worden ingelaten. Deze maatregelen bleken echter nog steeds niet voldoende zodat rond 1934 gestart werd met de normalisatie welke rond 1951 afgerond werd. Hierdoor ontstond echter weer plaatselijk verdroging als gevolg van de diepe insnijding.

2.5 Belangrijkste naoorlogse veranderingen

Sinds de Tweede Wereldoorlog nam de druk op het watersysteem snel toe. Met Marshallhulp werd geïnventariseerd waar de landbouw te lijden had van hoge grondwaterstanden, droogte of verzilting. Deze inventarisatie vormde de start voor grootschalige verbeteringen in het ontwateringsysteem. Dit gebeurde grotendeels tijdens verschillende ruilverkavelingsprojecten met als resultaat dat de grondwaterstand over een groot oppervlak verlaagd werd. Sinds het begin van de twintigste eeuw is gestart met het onttrekken van grondwater voor de drinkwatervoorziening en industrie. Echter pas in de vijftiger jaren vond een sterke groei plaats (zie figuur 2.20). In de vijftiger jaren begon ook de landbouw te onttrekken ten behoeve van beregening. Deze toepassing kreeg een impuls na de oprichting van de "Werkgroep Voorlichting Beregening" en de uitgave van het boekje "Beregening in de Landbouw" (Uitgave Ceres, 1956). De beregening is gegroeid tot ca 90 miljoen m3/jaar in het jaar 2000. In de vijftiger jaren is ook gestart met enorme ontrekkingen in Duitsland om honderden meters diepe bruinkoolgroeves droog te houden. Deze grondwateronttrekking beïnvloed diepe stijghoogten in Limburg en Oost-Brabant. De verbeterde ontwatering en de grondwaterontrekking heeft geleid tot verdroging van de natuur. Onder verdroging wordt zowel verlaging van de grondwaterstand als afname van kwel verstaan.



Figuur 2.20 De ontwikkeling van grondwateronttrekking

De verbetering van de ontwatering maakte een verbetering van de afwatering noodzakelijk. Veel grote waterlopen werden verbeterd en het onderhoud geïntensiveerd. Hierdoor namen regelmatige inundaties af. Incidenteel ontstonden, mede hierdoor, stroomafwaarts wel grote overstromingen. De natuurlijke berging in de overstromingsgebieden werd in feite ongedaan gemaakt. De verbeterde ont- en afwatering heeft ook tot gevolg dat het oppervlaktewaterstelsel in de zomer nog maar zeer weinig water bevat of grotendeels droog staat.

Een recente, zich nog steeds ontwikkelende, verandering vormt de klimaatsverandering. Naar het zich laat aanzien verandert de temperatuur, het neerslagregiem en het zeepeil geleidelijk. Het

wordt warmer, de neerslagverdeling verandert en gaat gepaard met een toename van zeer intensieve buien en het verdampingsregiem zal mede door temperatuureffecten wijzigen. Sinds de afgelopen 100 jaar is de neerslag al met ca 100 mm/jaar toegenomen en het zeepeil met ca 15-18 cm gestegen.

De enorme toename aan grondwateronttrekking heeft ook invloed op de ontwikkeling van het zoet-zout grensvlak. Over eventuele verschuivingen in het zoet-zout grensvlak is weinig bekend omdat er weinig meetpunten en meetdata beschikbaar zijn om een uitspraak te doen. Het is echter niet onwaarschijnlijk dat er (zeer geleidelijke) opwaartse verschuivingen plaats vinden gezien het feit dat grondwaterstanden en -stijghoogten de afgelopen decennia verlaagd zijn. Feit is dat verschillende pompstations de laatste jaren bedreigd worden met verzilting (o.a. Nuland, Genderen).

Naast de hierboven beschreven kwantitatieve aantastingen van het watersysteem is ook de waterkwaliteit de laatste decennia sterk onder druk geraakt. Met name de intensieve veehouderij was hiervoor verantwoordelijk. De mestoverschotten hebben tot hoge stikstof- en fosfaatbelastingen van grond- en oppervlaktewater geleid. Weinig is nog bekend over andere stoffen die met de mest worden aangevoerd zoals hormonen en antibiotica. Naast deze diffuse verontreiniging hebben veel puntverontreinigingen (vuilnisbelten, gasfabrieken etc.) de grondwaterkwaliteit aangetast. De verbreiding van de vervuiling in het grondwater hangt weer samen met de positie van de vervuilingsbron in het grondwatersysteem. Een vervuilingsbron op een infiltratiegebied bedreigd het diepe grondwater. Een bron in een intermediair gebied wordt meestal ondiep afgevoerd naar het ontwateringsysteem.

2.6 Knoppen voor herstel

Om het watersysteem te herstellen en duurzaam te beheren worden de volgende algemene activiteiten uitgevoerd of zijn onderwerp van onderzoek.

- Op mondiale schaal moeten de oorzaken voor door de mens veroorzaakte klimaatsveranderingen worden aangepakt. Dit betekent op de eerste plaats dat de koolzuurgas uitstoot moet worden terug gedrongen. De niet-natuurlijke koolzuurgas uitstoot veroorzaakt namelijk het broeikaseffect waardoor het neerslag- en verdampingsregiem verandert.
- Op internationale schaal moeten voor de grensoverschrijdende rivieren zowel het afvoerregiem als de waterkwaliteit hersteld worden. Dit geldt voor de Maas en Schelde maar even goed voor alle kleinere grensoverschrijdende waterlopen. Het afvoerregiem kan hersteld worden door snelle ont- en afwatering terug te dringen. Dit kan in de eerste plaats door gebruik te maken van bestaande bergingscapaciteit in de brongebieden en in de tweede plaats door verruiming van de bergingscapaciteit langs beken en rivieren.
- Herstel van het oppervlaktewatersysteem door extensiveren ontwateringsstelsel, hermeandering etc.
- Het terugdringen van het gebruik van grondwater in de landbouw en industrie. In de industrie is een positieve trend zichtbaar. In de landbouw en bedrijfsleven nemen het aantal particuliere putten als reactie op een belastingheffing op grondwater sterk toe. Particuliere putten worden gebruikt voor de bedrijfswater voorziening.
- Het terugdringen van het laagwaardig gebruik van grondwater in huishoudelijk gebruik. Per persoon wordt ca. 136 liter/dag water verbruikt. Slechts enkele liters vereisen een hoge kwaliteit. Er bestaan allerlei mogelijkheden om het huiselijk gebruik van grondwater terug te dringen. Ook dient onderzocht te worden in hoeverre water kan worden vervangen door water met een laagwaardige kwaliteit.
- Het terugdringen van de agrarische beregening. Momenteel vindt het project "Beregen op maat" plaats met als doel het onnodig gebruik terug te dringen. Ook het Benelux Waterconserveringsproject draagt bij tot minder gebruik van grondwater.
- Herstel van infiltratie in het stedelijk gebied door afkoppeling van het verhard oppervlak (gescheiden rioolsystemen)
- Extensiveren grondgebruik door de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur.
- De waterkwaliteit kan verbeterd worden door vermindering van het mestoverschot en terugdringen van overstorten.
- Wellicht kan het watersysteem verbeterd worden door afstemming van grondwaterwinning. In (o.a. stedelijke) gebieden met wateroverlast kan water worden onttrokken waardoor elders minder hoeft worden gewonnen.

2.7 Water als ordenend principe

Een specifieke herstelmaatregel bestaat uit het inzicht om "***water als een ordenend principe***" te beschouwen voor ruimtelijke planvorming. Simpel gezegd: het watersysteem zoveel als mogelijk met rust laten bij verdere intensivering van het ruimtegebruik en proberen reeds plaatsgevonden negatieve ontwikkelingen terug te draaien. Het streven naar een meer natuurlijke watersysteem moet weer een plaats krijgen in de ruimtelijke ordening. Dat betekent bijvoorbeeld:

- Het zorgvuldiger omgaan met infiltratiegebieden door het water de kans te geven te infiltreren en te voorkomen dat neerslag niet verloren gaat door hoge verdampingsverliezen (naaldbos) of snelle afvoer naar riool (stedelijk gebied).
- Het zoeken naar een optimale afstemming van ruimtelijke functies met als doel verdroging van natuur terug te dringen (project Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regiem).
- Het positioneren van ruimtelijke functies op de juiste plek in het watersysteem. Dus een functie die "droge voeten" vereist, niet neerleggen in een van nature nat of overstromingsgevoelig gebied.
- Het weer mogelijk maken van inundaties langs beken en rivieren. Hiervoor moet echter ook de waterkwaliteit meer aandacht krijgen.
- Het beschermen van kwelgebieden.
- Het verplaatsen van grondwaterwinningen naar het rivieren gebied. Hier kan oevergrondwater worden gewonnen en/of grondwater worden gewonnen op plaatsen waar het als kwel water niet nuttig gebruikt worden. Bijvoorbeeld in landbouwgebieden. In stedelijke gebieden kan dit zelfs gebruikt worden om wateroverlast terug te dringen.

3 De informatieloketten voor watersysteemgegevens

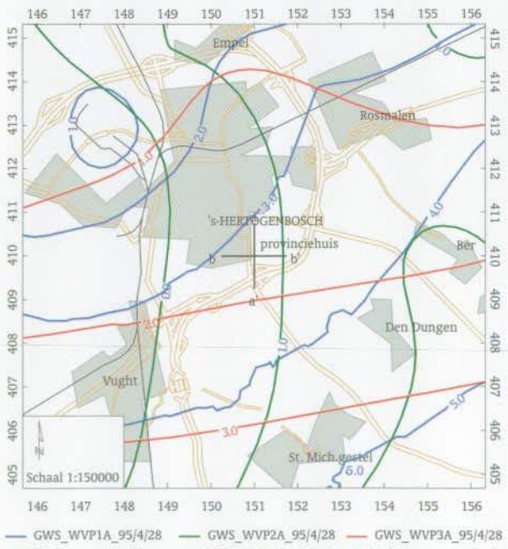
3.1 Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen-TNO

Bij TNO-NITG kunnen van allerhande gegevens over de ondergrond van Nederland worden verkregen. TNO-NITG beschikt over informatie over de volgende gegevens;

- Zoet-zout grensvlak, locaal in profielen of regionaal in contouren,
- Hydrogeologische opbouw, hiervoor zijn alleen de coördinaten nodig. Men kan dan zogenaamde VOSplots (zie figuur 3.1) opvragen. Dit zijn A3 of A4 kleuren plots van een gebied met daarop een kruisprofiel van het REGIS gidslagen- en het hydrogeologisch model en een contourenkaartje van de stijghoogten in de watervoerende pakketen,
- Contouren of grids van KD of c-waarden,
- Grondwaterstanden en -stijghoogten als tijdreeks of isohypsenkaart,
- De grondwaterkwaliteitsdata uit het Landelijk RIVM-meetnet en het Provinciaal Meetnet,
- Incidentele grondwaterkwaliteitsdata,
- Boorgegevens en geofysische boorgatmetingen,
- Geo-elektrische metingen

Voor gegevens kan contact worden opgenomen met:

Peter Jellema,
informatievoorziening Afdeling Grondwater te Delft
Telefoon 015 2697153
Fax 015 2617122
E-mail p.jellema@nitg.tno.nl



Figuur 3.1 Een voorbeeld van een REGIS-VOSplot. De locatie is het provinciehuis Noord-Brabant.

In de naaste toekomst zullen de meeste gegevens via Internet te bevragen zijn.

3.2 De provincie Noord-Brabant

De provincie Noord-Brabant beschikt over gegevens van de locaties waar grondwater wordt onttrokken. Van deze grondwateronttrekkingen kunnen gegevens over ontrokken hoeveelheid grondwater en/of vergunde grondwateronttrekking worden opgevraagd.
Voor deze gegevens kan contact worden opgenomen met:
Secretariaat Bureau Grondwater, afdeling Water
- Telefoon 073 6808092
- Fax 073 6808276

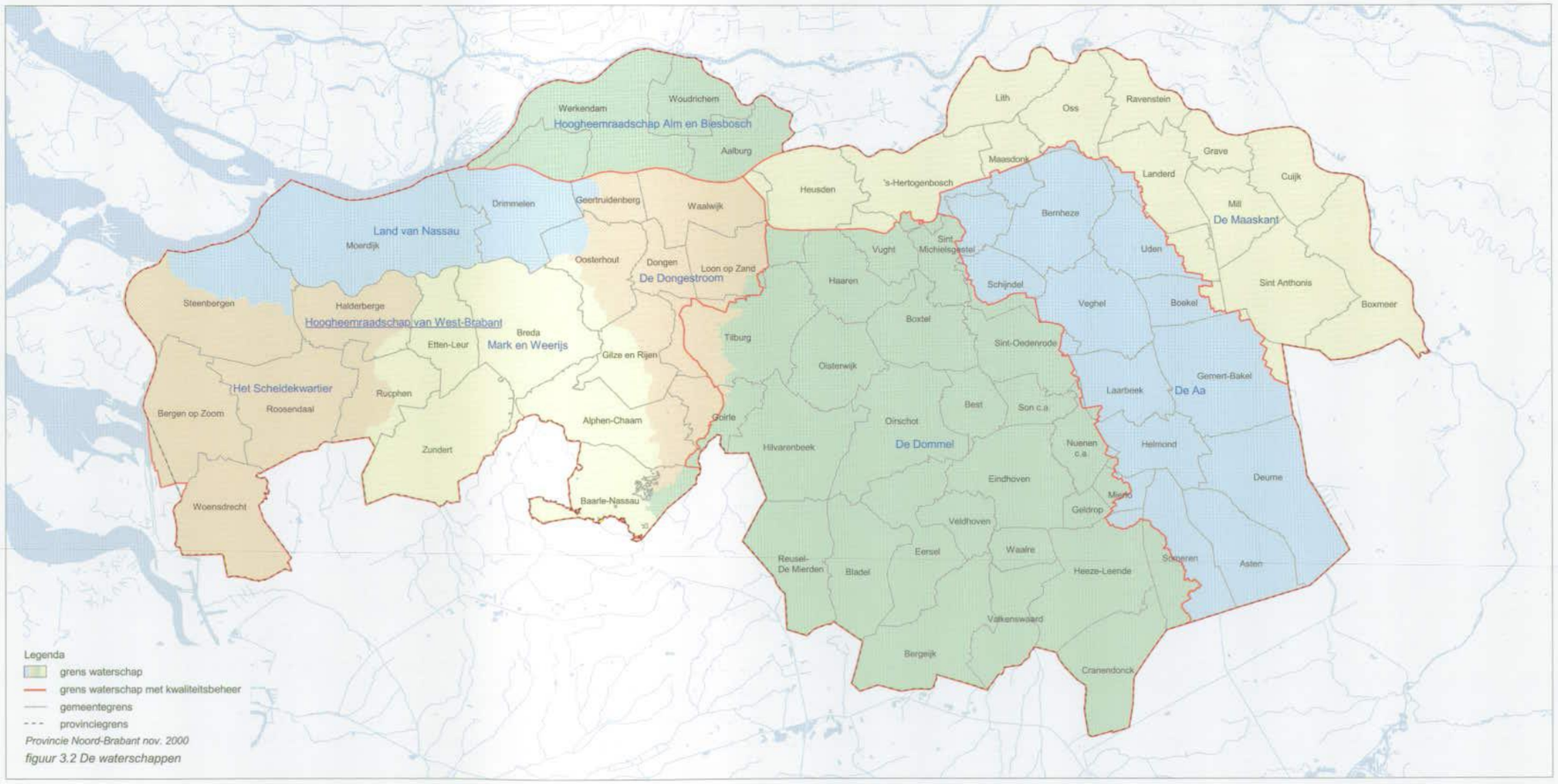
De kaarten in deze atlas zijn in digitale vorm aanwezig bij de provincie. De digitale bestanden zijn op CD-Rom toegevoegd aan dit rapport. Voor planvorming waarbij informatie over watersystemen nodig is, kan de CD-Rom met digitale kaarten gebruikt worden. Het gebruik van de informatie op de CD-Rom is aan voorwaarden verbonden en de provincie behoudt het recht af te zien van levering. Voor meer informatie over kaarten kan een E-mail gestuurd worden naar:
Bureau Beleidsinformatie en Cartografie (BIC)
E-mailadres: BIC@brabant.nl

3.3 De Waterschappen

In Brabant is de zorg voor de oppervlaktewaterhuishouding neergelegd bij de waterschappen. Figuur 3.2 geeft een overzicht van de gebieden waarin de verschillende waterschappen het beheer voeren. Voor de taakinvulling van de zorg voor de waterhuishouding wordt onderscheid gemaakt in: de waterkwaliteit (zuiverheid) en de waterkwantiteit (hoeveelheid). De waterkwantiteitstaak omvat bijvoorbeeld: het beheer over de peilen van het oppervlaktewater in de polders, het reguleren van de drainage en het beheer over de stuwen in het zandgebied. De waterkwaliteitstaak omvat bijvoorbeeld: het beheer van de rioolwaterzuiveringsinstallaties, het verlenen van vergunningen voor het lozen van water op het oppervlaktewater en de algemene zorg voor een goede kwaliteit van het oppervlaktewater. Sommige waterschappen hebben ook het dijkbeheer en dragen daarmee de zorg voor de bescherming van Brabant tegen overstromingen. De waterschappen hebben vanuit hun taak en deskundigheid een belangrijke rol bij de ruimtelijke ordening. Bijvoorbeeld bij het zoeken van locaties voor nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen en de inrichting en het beheer.

Voor de uitvoering van hun taak verzamelen en beheren de waterschappen informatie. Informatie over de kwaliteit is bijvoorbeeld: de oppervaktewaterkwaliteit, locaties van overstorten van rioleringen en kwaliteit van waterbodems. Informatie over de waterkwantiteit is bijvoorbeeld: dimensies van waterlopen, de locaties van kunstwerken (stuwen , duikers, etc.), watervoerendheid van waterlopen en oppervlaktewaterpeilen. Sommige waterschappen hebben ook actuele gegevens over grondwaterstanden.
Voor gegevens over kunt u contact opnemen met de waterschappen:

- **Hoogheemraadschap van West-Brabant** *(kwaliteit- en dijkbeheer)*
  Bouvignelaan 5, Breda, telefoon: 076-5641000
- **Waterschap Het Scheldekwartier** *(kwantiteitbeheer)*
  De Wijper 2, Heerle, telefoon: 0165-304606.
- **Waterschap Mark en Weerijs** *(kwantiteitbeheer)*
  Chaamseweg 18, Ulvenhout, telefoon: 076-5601515.
- **Waterschap De Dongestroom** *(kwantiteitbeheer)*
  Hoofdstraat 49, 's Gravenmoer, telefoon: 0162-372255.



Provincie Noord-Brabant nov. 2000
figuur 3.2 De waterschappen

- **Waterschap Land van Nassau** *(kwantiteitbeheer)*
  Pastoor van Kessellaan 1, telefoon: 0168-350350.
- **Waterschap De Dommel** *(kwantiteit- en kwaliteitbeheer)*
  Bosscheweg 56, Boxtel, telefoon: 0411-618618.
- **Waterschap De Aa** *(kwantiteit- en kwaliteitbeheer)*
  Bosscheweg 56, Boxtel, telefoon: 0411-613100
- **Waterschap De Maaskant**
  (kwantiteit-, kwaliteit- en dijkbeheer)
  Raadhuislaan 30, Oss, telefoon: 0412-698300
- **Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch**
  (kwantiteit-, kwaliteit- en dijkbeheer)
  Middelvaart 1, Woudrichem, telefoon: 0183-305050

4 Vervaardiging en gebruik

4.1 Basiskaarten en afgeleide kaarten

De kaarten in deze atlas zijn enerzijds basiskaarten en anderzijds afgeleide kaarten. In de onderstaande tabel staan de basiskaarten opgesomd en is aangegeven welke afgeleide kaarten hierop zijn gebaseerd.

In het proces van basiskaart naar afgeleide kaart zijn een aantal technieken gebruikt:

- digitaliseren
- selecteren
- combinatie en selectie

4.1.1 Digitaliseren

Dit is het proces waarbij geografische informatie op papieren kaarten wordt omgezet naar geografische informatie voor de computer. Bij kaartmateriaal wordt hierbij gebruik gemaakt van een digitaliseertafel. De x- en y-coordinaten van de punten, lijnen en gebiedsgrenzen op de papieren kaart worden omgezet naar in eerste instantie tafelcoördinaten door deze met de muis aan te klikken. Deze worden getransformeerd naar wereldcoordinaten via het in de computer invoeren van bekende punten. Op basis van deze punten kan de computer de ligging van de punten, lijnen en gebiedsgrenzen in wereldcoordinaten berekenen. De geografische informatie van papier is nu vastgelegd in een kaartbestand (digitale kaart). Voor alle in tabel 1 genoemde analoge basiskaarten geldt dat deze via de digitaliseertafel zijn omgezet naar kaartbestanden.

4.1.2 Selecteren

Het produceren van thematische kaarten kan ook via selectie plaatsvinden. Daarbij wordt uit een bestaand kaartbestand met meerdere verschillende thema's, alleen de benodigde elementen geselecteerd en overgezet naar een nieuw kaartbestand. Dit is bijvoorbeeld uitgevoerd voor de kaart met de sloten en greppels. Deze zijn via selectie uit het Top10vector bestand (Topografische Dienst) gehaald, dat een veelheid aan topografische informatie bevat.

4.1.3 Combinatie en selectie

Een ingewikkelder manier om een nieuw kaartbestand te vervaardigen is waarbij het combineren van verschillende basisbestanden en vervolgens de gewenste informatie uit het gecombineerde bestand te selecteren. In een Geografisch Informatiesysteem (GIS) zijn verschillende analysetechnieken hiervoor beschikbaar. De belangrijkste groepen van analysetechnieken die voor het vervaardigen van de kaarten in de atlas zijn gebruikt, zijn:

- Overlaytechnieken, waarbij 2 kaartbestanden worden verenigd of de doorsnede ervan wordt bepaald.
- Nabijheidsanalyse, waarbij zoneringen om geografische elementen (bv. een weg) kunnen worden gedefinieerd.

De kwel- en infiltratiekaart is een voorbeeld van een kaart die op basis van meerdere bestaande basisbestanden en met behulp van verschillende analysetechnieken is vervaardigd.

4.2 Schaal en resolutie

De schaal geeft de mate van verkleining van kaartobjecten ten opzichte van de werkelijkheid aan en wordt uitgedrukt in een verhoudingsgetal, bv. 1 : 50.000. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt in de karteringsschaal en de presentatieschaal. Voor de kartering in het veld wordt vaak een kaart gebruikt met een bepaalde (presentatie)schaal, bv. 1:10.000, om de te karteren objecten op in te tekenen (punten, lijnen, vlakken). Dit betekent dat de gekarteerde objecten een karteringsschaal hebben van eveneens 1: 10.000. De presentatieschaal is de schaal waarop een kaartbeeld wordt afgedrukt. Duidelijk mag zijn dat de minimale presentatieschaal wordt bepaald door de karteringsschaal. In de systemenatlas is in de meeste gevallen gekozen voor een presentatieschaal 1 : 400.000. Dit betekent dat 1 cm op de kaart overeenkomt met 4 km in werkelijkheid. Als bij de kartering gebruik wordt gemaakt van luchtfoto's wordt eveneens gesproken over een karteringsschaal, omdat op een luchtfoto met name lijnelementen voldoende nauwkeurig worden weergegeven. Bij het gebruik van satellietbeelden wordt bij voorkeur gesproken over resolutie of oplossend vermogen. De resolutie wordt uitgedrukt in een getal dat de grootte van het kleinste beeldelement (pixel, cel) weergeeft, bv. een satellietbeeld van het aardoppervlak met een resolutie van 25 x 25 meter.

In een digitaal kaartbestand zien we hetzelfde. Daar wordt onderscheid gemaakt in vector- en raster-kaartbestanden. Vectorkaartbestanden zijn bestanden waarin de geografische informatie wordt weergegeven in de vorm van punten, lijnen of vlakken. Een rasterbestand of grid bestaat uit rijen cellen, waarbij elke cel een waarde heeft.

4.3 Presentatie in een GIS

Hoewel het soms lijkt alsof de presentatieschaal in een GIS door te "zoomen" geheel vrij te kiezen is, moet ook hier in gedachten worden gehouden dat de karteringsschaal bepalend is voor de presentatieschaal. De karteringsschaal wordt in een digitaal bestand bepaald door de schaal van de basisbestanden waarop een definitief kaartbestand gebaseerd is. Voor een kaartbestand dat met behulp van de digitaliseertafel tot stand is gekomen, is dat de presentatieschaal van de papieren kaart die is gebruikt. En voor een kaartbestand dat is afgeleid uit meerdere basisbestanden is de schaal van het basisbestand met de kleinste schaal bepalend.

Basiskaart	A/D*	R/V°	Schaal/ celgrootte	Jaar uitgave	Afgeleide kaarten
Actueel Maaiveldhoogte bestand (AHN)	D	R	100x100 m.	1999	Kwel- en infiltratie, spanningswaterkwelkaart, berekende waterlopen, berekende substroom-gebieden
Top10Vector	D	V	1:10.000	v.a. 1997	Sloten en Greppels, Gemiddelde Slootdichtheid per ha
Bodemkaart	D	V	1:50.000	1963 – 1984	Slootkwel, kwel- en infiltratiegebieden inundaties op basis van bodemkenmerken
LGN3plus	D	R	25 x 25 m.		Grondgebruik gegroepeerd
Topografische en Militaire kaart van 1830-1850.	A		1:50.000	1830 – 1850	Historische natte gebieden
Historische natte gebieden	D	V	1:50.000		Kwel-gebieden in stedelijk gebied, historische inundatie
Grondwaterwinning grensgebied Nederland België 1986	A	V	1:250.000	1987	Grondwateronttrekkingen
Kaart van de Inundaties in Nederland ten gevolge van de oorlogshandelingen in 1944-1945	A	V	1:800.000	?	Inundaties ten gevolge van oorlogshandelingen in 1944 en1945
Kaart van de geïnundeerde gebieden in de provincie Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland ten ten gevolge van de stormvloed van 31 jan./1febr. 1953	A	V	1:100.000	?	Inundaties ten gevolg van de stormvloed van 31 jan./1 febr. 1953
Overstromingsgebied van de Aa; voorjaar 1937	A	V	1:25.000		Historische Inundatie op basis van histo rische karteringen van diverse auteurs.
Inundatiekaart van het waterschap de Dongestroom	A	V	1:25.000	?	Historische Inundatie op basis van histo rische karteringen van diverse auteurs.
"Atlas van historische vestingwerken in Nederland. Noord-Brabant"	A	V	1: 333.000 1: 100.000	1996	Militaire inundatiën
Kaart met ingetekende water-aanvoergebieden	A	V	1:100.000	1987	Wateraanvoergebieden en inlaatpunten
Waterstaatskaart; overzichtskaart met afwateringseenheden	A	V	1:400.000	1980	Hoofdwatersysteem: afwaterings- en stroomgebieden
5e ed. waterstaatskaart	A	V	1: 50.000	1982-1986	Deelwatersysteem: afwateringsgebieden en stroomgebieden (Scheldekwartier)
Biologische waterkwaliteit in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij)	A	V	1:325.000	?	Hoofdwaterlopen in België
Geologische kaart van Nederland	A/D	V	1:600.000	?	Hydrogeologische deelgebieden
Geohydrologische kaart uit de Atlas van België.	A	V	1: 500.000	1964	Hydrogeologische deelgebieden

Tabel 1
Basiskaarten en hiervan afgeleide kaarten
** D = digitaal, A= analoog, op papier*
° R = raster (cellen), V = vector
In het proces van basiskaart naar afgeleide kaart is een aantal technieken gebruikt:
- digitaliseren
- selecteren
- combinatie en selectie

5 Maaiveldhoogte - AHN

5.1 Inleiding

De maaiveldhoogte-kaart is een bewerking van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) van de Meetkundige Dienst, Rijkswaterstaat. Dit is in verschillende resoluties beschikbaar: 5 x 5 meter, 25 x 25 meter en 100 x 100 meter. Het maaiveldhoogtebestand met een resolutie van 100 x 100 meter, is door de provincie Noord-Brabant aan het TNO-NITG geleverd.

De waarde aan een gridcel van 100 x 100 meter is toegekend door het middelen van de maaiveldhoogten van 400 gridcellen van 5x5 meter. De waarden van de gridcellen met een grootte van 5 x 5 meter zijn via interpolatie afgeleid van het basisbestand met de hoogtepunten. Deze bewerkingen zijn door de Meetkundige Dienst, Rijkswaterstaat uitgevoerd. Volgens de productspecificatie is de precisie van de hoogtemeting minimaal 20 cm. Van de x- en y-coördinaten wordt de precisie geschat op 30 cm in beide richtingen (MD-RWS, 1999).

Het bestand heeft een hoge mate van detail. Beekdalen, havens, dijken en vuilstorten zijn zichtbaar. Voor gebieden met veel open water, glastuinbouw en bebouwing kan de maaiveldhoogte minder nauwkeurig zijn.

Het maaiveldhoogtebestand is voor een aantal kaartbladen als basis gebruikt:

- Kwel- en infiltratiegebieden
- Kweltypen
- Actuele waterlopen en waterlopen berekend o.b.v. maaiveld
- Subwatersysteem voor de waterlopen met een natuurfunctie

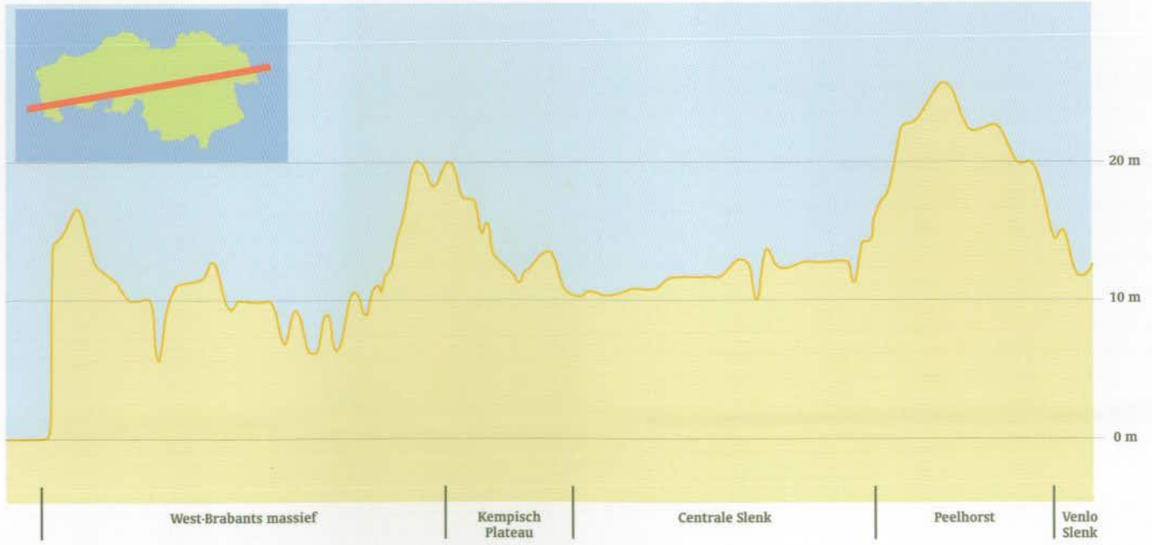
De door het NITG-TNO uitgevoerde bewerkingen op het AHN-bestand staan beschreven in bijlage A.

5.2 De gebruiksmogelijkheden van de kaart

De kaart en bestand van de maaiveldhoogte dient als basis voor verschillende samengestelde kaarten zoals kwelkaarten en watersysteemkaarten. In directe zin heeft de kaart gebruiksmogelijkheden voor thema's als 'kansen voor natuur', 'kans op kwel' en 'kansen voor waterconservering' of 'risico's voor overstroming'. In relatie tot natuur en kwel toont de kaart bijvoorbeeld de gebieden met relatief steile gradiënten. De grondwaterstand heeft een sterke relatie met de maaiveldhoogte en op de plaatsen waar sprake is van een steile gradiënt staan gebieden vaak onder invloed van kwel of kennen een ondiepe grondwaterstand. Waterconservering met behulp van stuwen is het meest effectief in gebieden met een geringe gradiënt. Op basis van dit bestand kunnen zoekgebieden worden aangegeven. De overstromingsgebieden bij verschillende peilscenario's kunnen eenvoudig met behulp van deze kaart worden begrensd.

5.3 Korte bespreking kaartbeeld

Het hoogste punt van Noord-Brabant ligt in de gemeente Luyksgestel in de omgeving van Stevensbergen en bedraagt ca 43 m +NAP. Het laagste punt van de provincie bevindt zich in het noordwestelijk poldergebied langs De Ligne tussen Steenbergen en Het Oudlandsch Laag en ligt op ca 3 m -NAP. Het maaiveld helt in het algemeen in noordelijke richting als gevolg van de daling van het Noordzeebekken. Opvallend is de reliëfsprong op de overgang van het zandgebied naar het poldergebied. Bij Calfven (gemeente Ossendrecht) bedraagt deze sprong zelfs 20 meter. De zone aan de voet van deze sprong wordt in de hele provincie gekenmerkt door het voorkomen van ijzerrijke en calciumrijke kwel. Een ander fenomeen dat in het oog springt, is de trechtervormige depressies van Breda en Den Bosch. Als gevolg hiervan stroomt het grootste deel van het oppervlaktewater naar en grondwater onder deze steden door. Beide steden liggen voor een belangrijk deel in een kwelgebied. Vanuit historisch oogpunt waren dit natuurlijke strategische locaties omdat er genoeg water voorradig was om vestinggrachten te vullen of militaire inundaties te plegen. Ook de beekdalen zijn zichtbaar als langwerpige depressies. In figuur 5.1 wordt in een profiel het hoogteverschil in de provincie getoond. Met behulp van het maaiveldhoogtebestand kunnen dergelijke profielen op een willekeurige plaats vervaardigd worden.



Figuur 5.1 De hoogteverschillen in Brabant in een oost-west profiel (bron A.Mol).

uitsnede zie kaart 5.2b

uitsnede zie kaart 5.2a

5.1 Maaiveldhoogte

in meter +NAP

-3 - 0	
0 - 2	
2 - 4	
4 - 6	
6 - 8	
8 - 10	
10 - 20	
20 - 30	
30 - 40	
40 - 50	
50 - 100	

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing
- geologische breuk

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: AHN (Rijkswaterstaat - Meetkundige Dienst, 1999)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:50.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

5.2a Detailkaart maaiveldhoogte

in meter +NAP

- -3 - 0
- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 100
- onbekend

Berekening en bewerking: TNO-NITG
Bron: AHN (Rijkswaterstaat - Meetkundige Dienst, 1999)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:5.000

Datum : nov. 2000

0 250 500 m

5.2b Detailkaart maaiveldhoogte

in meter +NAP

- -3 - 0
- 0 - 2
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 100
- onbekend

Berekening en bewerking: TNO-NITG
Bron: AHN (Rijkswaterstaat - Meetkundige Dienst, 1999)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:5.000

Datum : okt. 2000

0 250 500 m

6 Landgebruik

6.1 Landgebruik (LGN3-plus)
Dit kaartblad geeft het landgebruik volgens het Landelijk Landgebruiksbestand (LGN3-plus) weer. Dit bestand is afkomstig van Alterra en door de provincie Noord-Brabant aan het TNO-NITG geleverd. Het bestand is opgebouwd aan de hand van satellietbeelden (Landsat TM), waarbij de gebieden met een natuurlijke begroeiing nader zijn onderverdeeld op basis van satellietbeelden, het Top10vector-bestand, CBS-Bodemstatistiek en vegetatiekaarten op papier. Voor de presentatie zijn geen bewerkingen uitgevoerd en is de standaard legenda gebruikt.

Het LGN3plus-bestand beschrijft het landgebruik op basis van gridcellen van 25 x 25 meter. In de legenda worden 39 klassen onderscheiden: zoet en zout water, stedelijke klassen, loof- en naaldbos, natuurklassen en verscheidene agrarische klassen: gras, maïs, aardappelen, bieten, granen, overige landbouwgewassen, kassen en boomgaarden.

Voor meer informatie over de vervaardiging van het bestand wordt verwezen naar het document: Basismateriaal LGN3-plus (de Wit, 1999).

6.1 Landgebruik (39 klassen)

- gras
- maïs
- aardappelen
- bieten
- granen
- overige landbouwgewassen
- glastuinbouw
- boomgaard
- bollen
- loofbos
- naaldbos
- zoet water
- zout water
- stedelijk bebouwd gebied
- bebouwing in buitengebied
- loofbos in bebouwd gebied
- naaldbos in bebouwd gebied
- bos met dichte bebouwing
- gras in bebouwd gebied
- kale grond in bebouwd buitengebied
- hoofdwegen en spoorwegen
- bebouwing in agrarisch gebied
- kwelders
- open zand in kustgebied
- open duinvegetatie
- gesloten duinvegetatie
- duinheide
- open stuifzand
- heide
- matig vergraste heide
- sterk vergraste heide
- hoogveen
- bos in hoogveengebied
- overige moerasvegetatie
- rietvegetatie
- bos in moerasgebied
- veenweidegebied
- overig open gegroeid natuurgebied
- kale grond in natuurgebied

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Landgebruikbestand Nederland 3 (LGN3+), (Staring centrum - DLO, 1997)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 1 2Km.

6.2 Landgebruik (LGN3-plus) gegroepeerd in 10 hoofdklassen
Dit kaartblad beschrijft het landgebruik volgens LGN3-plus op basis van gridcellen van 25 x 25 meter. In de legenda worden 10 hoofdklassen onderscheiden: oppervlaktewater, stedelijk gebied/infrastructuur, akkerbouw, tuinbouw, loofbos, naaldbos, duinvegetatie/heide/open (natuur)gebied, gras/weiland, moeras/riet/kwelders, hoogveen.

In tabel 2 staat beschreven op welke wijze deze 10 hoofdklassen uit de oorspronkelijk 39 basisklassen zijn voortgekomen.

6.3 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden
De ruimtelijke verbreiding van het landgebruik heeft een dominerende invloed op het watersysteem. Het landgebruik beïnvloedt het watersysteem zowel kwantitatief als kwalitatief. Bij kwantitatieve beïnvloeding kan worden gedacht aan de invloed van het grondgebruik op de grootte van het neerslagoverschot, op de voeding van de (diepere) watervoerende pakketten en op de voor bepaalde gewassen noodzakelijke ontwateringseisen. In kwalitatieve zin kent elk type grondgebruik een specifieke belasting, bijvoorbeeld mest en bestrijdingsmiddelen op landbouwgronden of stedelijke vervuiling (pak's, strooizout, (historische) bodemvervuiling, etc.).

Neerslagoverschot
Het landgebruik, i.c. gewastype of mate van verharding (bestrating) bepaalt in sterke mate de grootte van de verdamping en daardoor het neerslagoverschot. Met behulp van de landgebruikskaart en klimaatgegevens kan de potentiële verdamping worden bepaald. Neerslaggegevens kunnen in Noord-Brabant op ca 23 locaties worden opgevraagd, meer uitgebreide klimaatdata zoals de referentie-gewasverdamping kan voor drie KNMI-hoofdstations (Gilze-Rijen, Eindhoven, Volkel) worden verkregen. Het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) kan worden bepaald met behulp van zogenaamde gewasfactoren (CHO TNO, 1988).

Neerslag-oppervlaktewater reactie
Het landgebruik heeft een grote invloed op de afvoerdynamiek. In stedelijke gebieden zal bij intensieve regenval een relatief groot deel snel tot afvoer komen. Dit geldt ook voor gebieden waar vanwege het landgebruik een dicht drainagestelsel aanwezig is.

Belasting
De landgebruikkaart in combinatie met de (sub-)stroomgebiedenkaart kan een indicatie voor de stoffenbelasting opleveren. Bepaalde typen landgebruik vragen om het gebruik van meststoffen en/of bestrijdingsmiddelen. Per substroomgebied kunnen kentallen voor belasting worden bepaald.

Meetnetten
De landgebruikkaart is een noodzakelijk onderdeel voor het opstellen van meetnetten. Bij het ontwerpen van het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet zijn bijvoorbeeld 'homogene' gebieden geconstrueerd op basis van de combinatie van de kaarten: grondwatersystemen, bodem en landgebruik.

6.4 Korte bespreking kaartbeeld
De kaart toont een groot verschil in kavelgrootte tussen het zandgebied en rivierengebied met het zeekleigebied. In het zeekleigebied komen veel grotere kavels voor. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat in het zeekleigebied wisselcultuur plaatsvindt met aardappelen, bieten en granen.
Het landgebruik op het zandgebied wordt gedomineerd door grasland en maïs met respectievelijk een bedekkinggraad (voor de hele provincie) van 27% en 10 %. Deze landgebruikseenheden maken deel uit van de intensieve landbouw. In de huidige bedrijfsvoering worden graspercelen vaak omgezet naar maïs of omgekeerd. De twee belangrijkste andere grote landgebruikeenheden zijn bebouwing (9 %) en naaldbos (6,5 %).

Hoofdklasse	**opgebouwd uit de basisklassen**
Oppervlaktewater	Zoet water Zout water
Stedelijk gebied, infrastructuur	Stedelijk bebouwd gebied Bebouwing in buitengebied Bebouwing in agrarisch gebied Bos in dichte bebouwing Kale grond in bebouwd buitengebied Hoofdwegen en spoorwegen
Akkerbouw	(Maïs) Aardappelen Bieten Granen Overige landbouwgewassen
Tuinbouw	Bollen Boomgaard Glastuinbouw
Loofbos	Loofbos Loofbos in bebouwd gebied
Naaldbos	Naaldbos Naaldbos in bebouwd gebied
Duinvegetatie, heide, en open (natuur)gebied	Open duinvegetatie Gesloten duinvegetatie Duinheide Heide Matig vergraste heide Sterk vergraste heide Open stuifzand Open zand in kustgebied Kale grond in natuurgebied Overig open natuurgebied
Gras, weiland	Gras Veenweidegebied Gras in bebouwd gebied
Moeras, riet, kwelders	Bos in moerasgebied Overige moersvegetatie Rietvegetatie Kwelders
Hoogveen	Hoogveen Bos in hoogveengebied
(Niet gedefinieerd)	(Niet gedefinieerd)

Tabel 2 Hoofdklassen en basisklassen

uitsnede zie kaart 6.1

6.2 Gegroepeerd landgebruik (10 klassen)

- Oppervlaktewater
- Akkerbouw
- Tuinbouw
- Stedelijk gebied, infrastructuur
- Loofbos
- Naaldbos
- Duinvegetatie, heide, open (natuur)gebied
- Gras, weiland
- Moeras, riet, kwelders
- Hoogveen

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
*Bron: Landgebruikbestand Nederland 3 (LGN3+), (celgrootte 25*25m)*
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

5 0 5 Km.

7 Hoofdwaterlopen

7.1 Hoofdwaterlopen

Deze kaart 7.1 geeft de ligging van de grotere waterlopen in Noord-Brabant en België weer. De waterlopen komen ongewijzigd van de plankaart behorende bij het tweede Waterhuishoudingsplan van de provincie Noord-Brabant, schaal 1: 100.000 (Prov. Noord-Brabant, 1998). Het Hollandsch Diep en de Biesbosch zijn aan het bestand toegevoegd en komen uit het top10vectorbestand. De waterlopen in België zijn gedigitaliseerd van de kaart "Biologische waterkwaliteit in Vlaanderen in 1989, 1990, 1991 en 1992' van de Vlaamse Milieumaatschappij, schaal 1: 325.000.

7.2 Actuele hoofdwaterlopen en waterlopen berekend met maaiveldhoogten

Op kaart 7.2 staan de hoofdwaterlopen binnen de provincie in combinatie met de waterlopen die op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) zijn berekend. Deze laatste zijn de waterlopen die je op basis van het huidige relief, (ruggen, hellingen, dalen en de richting hiervan) kan verwachten. De berekende waterlopen in de hoger gelegen vrij-afwaterende gebieden, zoals in het stroomgebied van de Mark en Vliet, de Dommel en de Aa, geven een min of meer natuurlijke situatie weer. De theoretische waterlopen zijn bepaald met de hydrologische modelleringskit die beschikbaar is in Arc/Info. De door het TNO-NITG uitgevoerde bewerkingen voor vervaardiging van het kaartbestand staan beschreven in bijlage A.

7.3 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

Deze kaart kan gebruikt worden als basis voor verschillende GIS-excercities. Voor modelstudies is deze kaart niet relevant. Hiervoor kunnen beter de leggerbestanden van de waterschappen worden gebruikt in combinatie met de in deze atlas getoonde slootdichtheid kaart.

7.4 Korte bespreking kaartbeelden

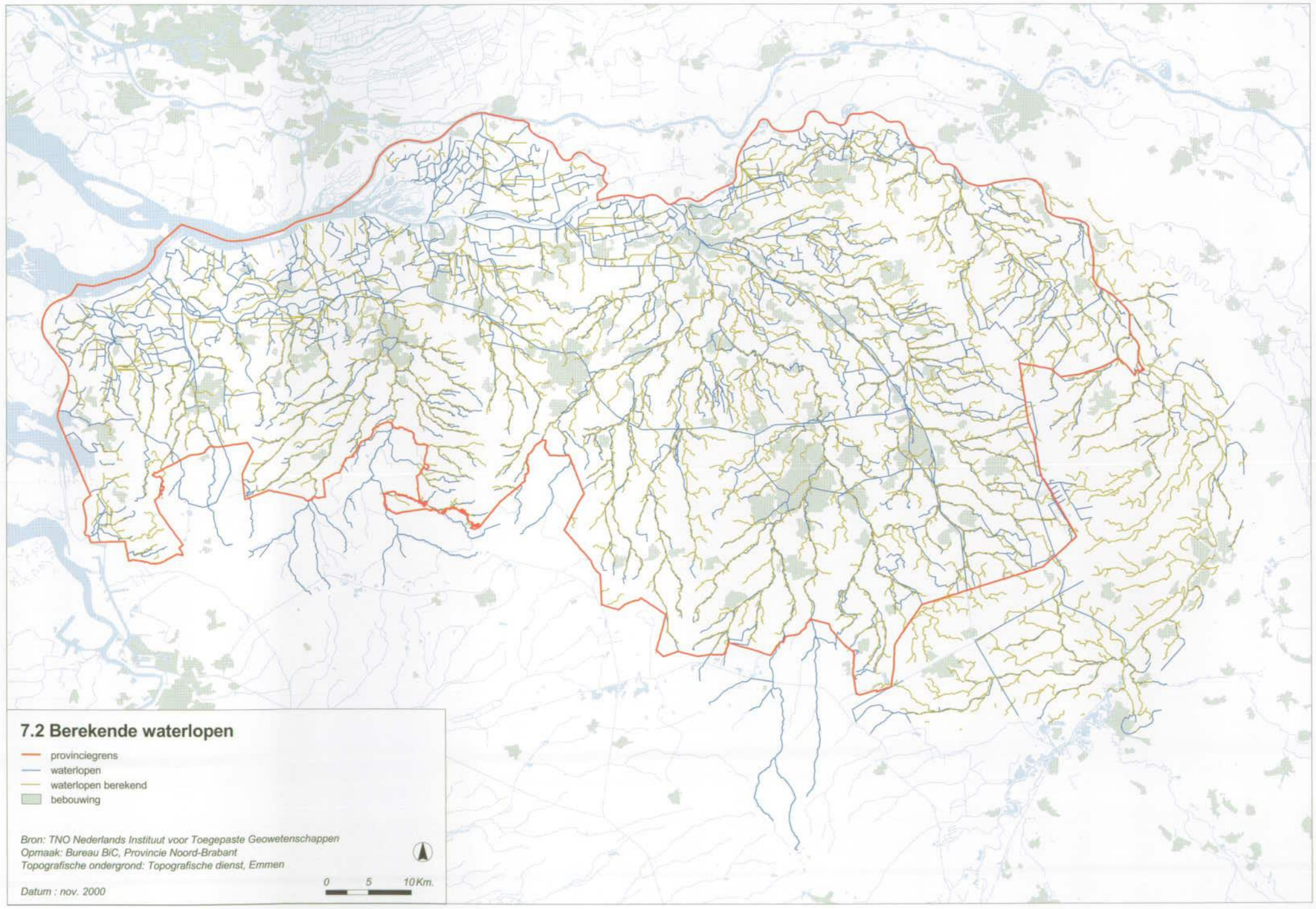
7.4.1 Bestaande waterlopen

De grote natuurlijke waterlopen stromen in het algemeen in noordelijk richting. Dit heeft te maken met de regionale helling (zie hoogtekaart) welke weer samen hangt met de daling van het Noordzeebekken. Alleen ten oosten van de Mark en Aa lopen veel oost-west georiënteerde waterlopen. In het Aa-stroomgebied heeft dit te maken met de ontwatering van de hoger gelegen Peelhorst en de relatief sterke daling van het centrale deel van de Centrale Slenk. Ook de oost-west oriëntatie van Merkske, Strijbeek etc. heeft een relatie met tektonische bewegingen, in dit geval langs de Gilze-Rijenbreuk (zie kaart 13) en mede hierdoor hoger gelegen rug tussen Turnhout en Oosterhout.

7.4.2 Berekende waterlopen

De combinatie van de bestaande waterlopen met de berekende waterlopen geeft een beeld van de waterlopen die gegraven zijn of in het verleden verplaatst zijn. Met behulp van een kleinere grid-resolutie kan dit ook gedetailleerder uitgevoerd worden.

In West-Brabant vallen snel de gegraven waterlopen op zoals de Zoom, de Roosendaalsche Vaart en de Turfvaart.
Op de Peelhorst is ook zichtbaar dat veel waterlopen niet meer het natuurlijke dal volgen. Mogelijk kan deze informatie van nut zijn bij herstel van watersystemen.



7.1 Waterlopen en vennen

waterlopen
vennen

provinciegrens
weg
weg in ontwerp/aanleg
op- en afrit
spoorweg
water
bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Provincie Noord-Brabant
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

5 0 5 Km.

8 Sloten en Greppels

Deze kaart geeft de ligging weer van de greppels en sloten zoals die in de top10vector-bestand zijn opgenomen.
Greppel is gedefinieerd als een in het algemeen niet watervoerende sloot. Sloot is gedefinieerd als een voor de waterbeheersing gegraven geul, waarin het grootste gedeelte van het jaar water staat. De sloten hebben een breedte die ligt tussen de 0.50 en 6 meter en zijn in het algemeen dieper dan 0.50 meter.

Voor meer informatie over het top10vector-bestand wordt verwezen naar de productbeschrijving top10vector (TDN, 1998).

8.1 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

Deze kaart toont een goed beeld van het slotenpatroon, maar is minder bruikbaar voor analyse. Met de kaart kunnen wel waardevolle en bruikbare afgeleide kaarten worden gemaakt. Dit zijn de slootdichtheidkaart (kaart 9) en de (kern-)infiltratiegebiedenkaart (kaart 16). Deze worden elders in de atlas getoond. In het huidige beleid tot herstel van watersystemen spelen de getoonde sloten en greppels een belangrijke rol. Zij worden de haarvaten van het watersysteem genoemd. De som van al deze sloten en greppels bepalen in belangrijke mate de verdroging in Brabant en veroorzaken wateroverlast door hoge piekafvoeren. Bij projecten als het Benelux Waterconserveringsproject wordt in samenwerking met alle waterschappen en het Vlaamse Ministerie getracht om water langer vast te houden in deze haarvaten. Dit project wordt uitgevoerd i.s.m. de ZLTO en honderden vrijwilligers (agrariërs). In dit conserveringsproject worden stuwtjes gebruikt die de agrariërs, op basis van zelf uitgevoerde grondwaterstandsmetingen, kunnen verhogen of verlagen.

De kaart met sloten/greppels kan ook als basis dienen voor een kartering van (sloot-)bodemdiepten. Deze informatie is essentieel voor allerlei hydrologische berekeningen maar wordt meestal geschat (o.a. met behulp van grondwatertrappen uit de Bodemkaart).

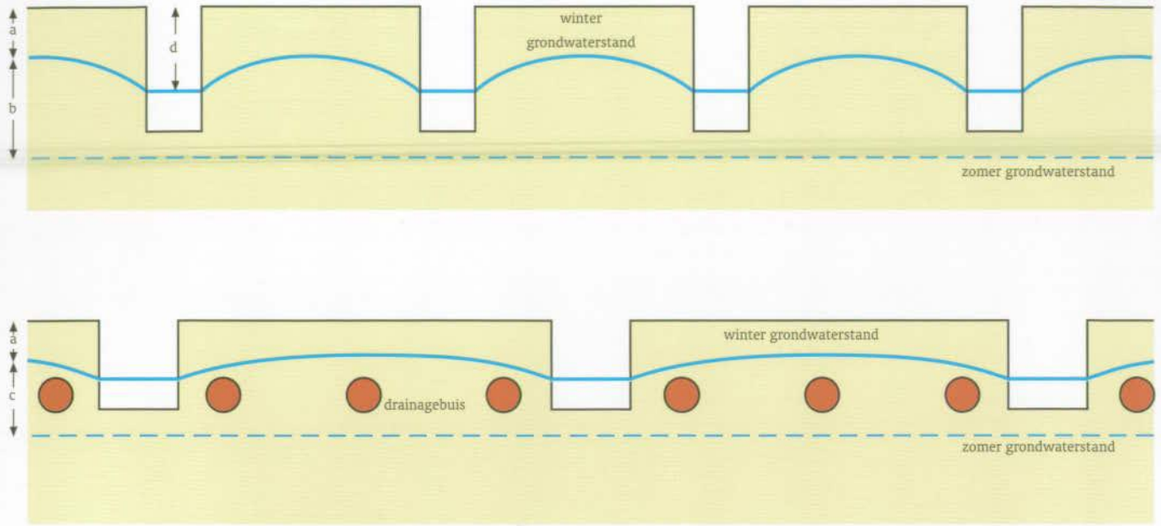
De informatie over ligging en diepte van sloten kan als ingang dienen voor het herstel van watersystemen (figuur 8.1). Veel sloten zijn namelijk ruim gedimensioneerd, en dan in het bijzonder in de verticaal (diepte), om incidenteel voorkomende hoge peilen en afvoeren te kunnen verwerken. Hierdoor wordt vaak onnodig veel grondwater afgevoerd. Het is bijvoorbeeld mogelijk sloten te verondiepen en tegelijk te verbreden zodat de afvoerfunctie behouden blijft maar onnodige drainage van grondwater terug gedrongen wordt. Ook het verondiepen van de drainage in combinatie met verdichting kan zorgen voor een structureel hoger grondwaterstand zonder landbouwkundig nadeel. Ook in het stedelijk gebied kunnen vergelijkbare veranderingen helpen het watersysteem te herstellen.

8.2 Korte bespreking kaartbeeld

De kaart laat zien dat in de afgelopen eeuwen in de provincie veel gegraven is. Met name ten noorden van de Midden-Brabantse Dekzandrug is de hoeveelheid sloten opmerkelijk. De gebieden die in de kaart weinig of geen sloten kennen zijn de infiltratiegebieden of de bebouwde gebieden. In de bebouwde gebieden vindt de afwatering hoofdzakelijk via het rioolsysteem plaats.

De noodzaak voor de aanleg van een dicht slotenstelsel kan verschillende achtergronden hebben;

- De natuurlijke drainage was onvoldoende om het neerslagoverschot te verwerken. Dit hangt ook samen met: de hoogte van het neerslagoverschot, de helling van het maaiveld en de doorlatendheid van de ondergrond. Als gevolg hiervan ontstonden bijvoorbeeld de natte heidegebieden en de uitgestrekte hoogveenbegroeiing. Deze hoogvenen ontwikkelden zich als gevolg van deze processen langs en op de regionale waterscheidingen. De hydrologische randvoorwaarden voor deze regenwater afhankelijke systemen kunnen meestal relatief eenvoudig worden hersteld door simpel de sloten en greppels weer dicht te gooien.
- Naast het neerslagoverschot kan ook kwelwater toestromen en hangt de noodzaak tot ontwatering samen met het grote wateraanbod van kwel en neerslag.
- Soms bevinden zich stagnerende lagen in de ondergrond. Dit kunnen geologische structuren zijn zoals leemlagen maar ook bodemhorizonten als ijzeroer. Onder zulke omstandigheden kunnen schijn grondwaterspiegels ontstaan waardoor zich drassige gronden en/of vennen ontwikkelen.
- Soms zijn greppels en sloten gegraven terwijl de grondwaterstand zich ver onder maaiveld bevond. Dit gebeurde omdat plasvorming en (tijdelijke) drassige situaties werden geconstateerd. Deze hingen echter niet samen met de grond waterstand maar met grondbewerking waardoor de infiltratiecapaciteit werd verslechterd (o.a. verdichting van de grond door machines en verslemping).



Figuur 8.1 Het watersysteem kan beter worden beheerd als het drainagesysteem verondiept wordt. Hierdoor zakt de grondwaterstand in de zomer minder diep (afstand c is kleiner dan b). De voorjaarsgrondwaterstand (a) blijft gelijk.

Drooglegging: Het hoogteverschil tussen de waterspiegel in een waterloop en het grondoppervlak (afstand (d) in figuur 8.1).

Ontwatering: De afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen.

8 Sloten en greppels

sloot of greppel

provinciegrens
weg
weg in ontwerp/aanleg
op- en afrit
spoorweg
water
bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Top10vector, Topografische dienst, Emmen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:10.000

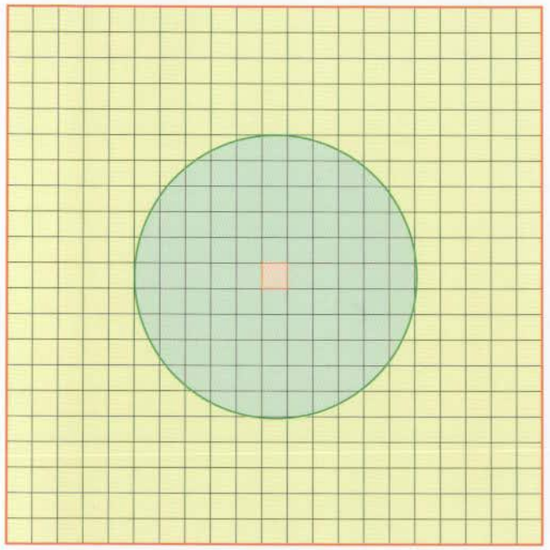
Datum : nov. 2000

5 0 5 Km.

9 Gemiddelde slootlengte per hectare

De kaart met de gemiddelde slootlengte per ha. is gebaseerd op de greppels en sloten uit het top10 vector-bestand. Greppel is gedefinieerd als een in het algemeen niet watervoerende sloot. Sloot is gedefinieerd als een voor de waterbeheersing gegraven geul, waarin het grootste gedeelte van het jaar water staat.

De gemiddelde slootlengte per ha. is uitgerekend voor een cirkelvormig gebied met een straal van 500 meter oftewel 5 gridcellen van 100 x 100 meter. In de kaart is voor elke cel van 100x100 meter) de gemiddelde slootlengte, uitgedrukt in meters weergegeven (zie figuur 9.1).
In de kaart worden 11 klassen onderscheiden:



Figuur 9.1 Methodiek voor de berekening van de gemiddelde slootlengte per ha. voor een cirkelvormig gebied met een straal van 500 meter.

0		(meter)
1	-	50
50	-	100
100	-	150
150	-	200
200	-	250
250	-	300
300	-	350
350	-	400
400	-	1100

Het minimum, het maximum, het gemiddelde en de standaarddeviatie van de gemiddelde slootlengte per hectare staan weergegeven in de onderstaande tabel.

	Gemiddelde Slootlengte (in meters)
Minimum	0
Maximum	410
Gemiddelde	72
Standaard dev.	48

Tabel 3 Statistische gegevens bij de gemiddelde slootlengte per ha.

De door het NITG-TNO uitgevoerde bewerkingen voor vervaardiging van het kaartbestand met de gemiddelde slootlengte per ha., staan beschreven in bijlage A.

9.1 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

In eerste instantie levert deze kaart de begrenzing van de belangrijkste (kern)-infiltratiegebieden van Noord-Brabant. Dit zijn de gebieden waar niet of nauwelijks greppels of sloten voorkomen. Na vergelijking met de geomorfologische- en bodemkaart is ervoor gekozen dat een (kern-)infiltratiegebeid moet voldoen aan het criterium < 50 m. Wat de betekenis van (kern-)infiltratiegebieden voor het grondwatersysteem is wordt later behandeld bij de bespreking van de systemenkaart. De mate van slootdichtheid toont de noodzaak voor ontwatering en geeft aan uit welke gebieden veel water moet worden afgevoerd. De slootdichtheid zal ook een relatie tonen met de afvoerreactie op regenval. Hoe dichter de slootdichtheid, hoe sneller de reactie. De slootdichtheidkaart kan ook zeer nuttig zijn voor grondwatermodelstudies. Met behulp van de slootdichtheid in combinatie met gegevens over slootdiepte kan bijvoorbeeld de drainageweerstand geschat worden.

9.2 Korte bespreking kaartbeeld

De gebieden met weinig tot geen sloten komen goed overeen met de dekzandruggen en stuifduinen. Een vertroebelde indruk wordt veroorzaakt door het stedelijk gebied. Deze hebben een geringe slootdichtheid maar bezitten juist geen grondwateraanvullende rol van betekenis. De gebieden met de hoogste slootdichtheid liggen in de Centrale Slenk rond Boxtel en in de westelijke Langstraat bij Waspik en Waalwijk. Ook in westelijk Noord-Brabant, op de overgang van het zandgebied naar het poldergebied, neemt de slootdichtheid sterk toe (De Naad van Brabant). Voor het gebied rond Boxtel, heeft de grote slootdichtheid een relatie met: de morfologie (schotelvormige depressie in centrale deel van de Slenk), de aanwezigheid van slecht doorlatende leemlagen (Brabantleem) en de toestroming van opkwellend grondwater. In de westelijke Langstraat zijn dit de zogenaamde Binnenpolders met grotendeels een veenbodem terwijl ook kwel optreedt.

9 Slootdichtheid

Gemiddelde slootlengte per hectare voor een cirkelvormig gebied met een straal van 500 meter

- 0
- 1 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- 250 - 300
- 300 - 350
- 350 - 400
- 400 - 1100

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing
- geologische breuk
- waterlopen

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Top10vector
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

5 0 5 Km.

10 Stroomgebieden en afwateringsgebieden

10.1 Hoofdwatersysteem: afwateringsgebieden en stroomgebieden

Met afwateringsgebieden worden bedoeld de polders die via een of meerdere kunstwerken afwateren op een oppervlaktewater. Met stroomgebieden worden de vrijafwaterende gebieden bedoeld. De begrenzing van de afwateringsgebieden en de stroomgebieden behorende tot het hoofdwatersysteem is grotendeels gebaseerd op de Waterstaatskaart, schaal 1: 400.000 (RWS-MD, 1980) en gecorrigeerd op basis van aanvullende informatie van de Waterschappen en het Hoogheemraadschap van West-Brabant.

De waterstaatskaart kent meer poldereenheden dan hier worden getoond. Voor deze overzichtskaart zijn de polders samengevoegd indien ze op hetzelfde rijkswater afwateren. Voorts is ervoor gekozen om in de kaart de afwateringseenheden die via het rioolstelsel op een oppervlaktewater lozen weg te laten. Een voorbeeld hiervan is de stad Breda. In een vrijafwaterende situatie zou dit stedelijk gebied deel uitmaken van het stroomgebied van de Mark en de Steenbergsche Vliet, in de huidige situatie daarentegen loost de stad Breda via het rioolstelsel op de Amer.

De Dommel heeft het grootste stroomgebied van de provincie (totaal 181.140 ha) en ligt gedeeltelijk in Vlaanderen (41.040 ha). Ongeveer 4.550 ha van het stroomgebied ligt in Limburg. De Mark is in grootte het tweede stroomgebied van de provincie (totaal 76.650 ha). De helft van het stroomgebied ligt in Vlaanderen (38.020 ha). De Aa ligt bijna in zijn geheel binnen de provinciegrenzen en kent in tegenstelling tot de twee eerder genoemde stroomgebieden een sterke ruimtelijke interactie met het Maasstroomgebied vanwege de wateraanvoer vanuit de Kempense en Limburgse kanalen (zie figuur 11.1).

10.1 Hoofdwatersysteem

Afwaterings- en stroomgebieden

1 (Bemalingsgebied) Altena	11 Graafsche Raam		waterlopen
2 (Bemalingsgebied) Hagoort	12 Groote Molenbeek		
3 Aa / Grote Wetering	13 Hertogswetering		
4 Astense Aa	14 Hollandsch Diep / Amer		provinciegrens
5 Beerze	15 Maas- en Diezepolders		weg
6 Beneden Dommel	16 Mark / Vliet		weg in ontwerp/aanleg
7 Biesbosch	17 Neerbeek		op- en afrit
8 Boven Dommel	18 Sambeekse Uitwatering		spoorweg
9 Brabantse Wal	19 Voorste Stroom		water
10 Donge	20 Zandleij		bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: De Brabantse waterschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:200.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

10.2 Deelwatersystemen

Deze kaart geeft in meer detail de afwateringsgebieden en stroomgebieden weer. Deze zijn voor het grootste deel aangeleverd door de verschillende Brabantse waterschappen.
Alleen van het waterschap Scheldekwartier zijn de stroomgebieden gedigitaliseerd van de waterstaatskaart 1: 50.000 (RWS-MD, 1982 /1984/1985/1986).

10.3 Subwatersysteem voor de waterlopen met een natuurfunctie (WHP)

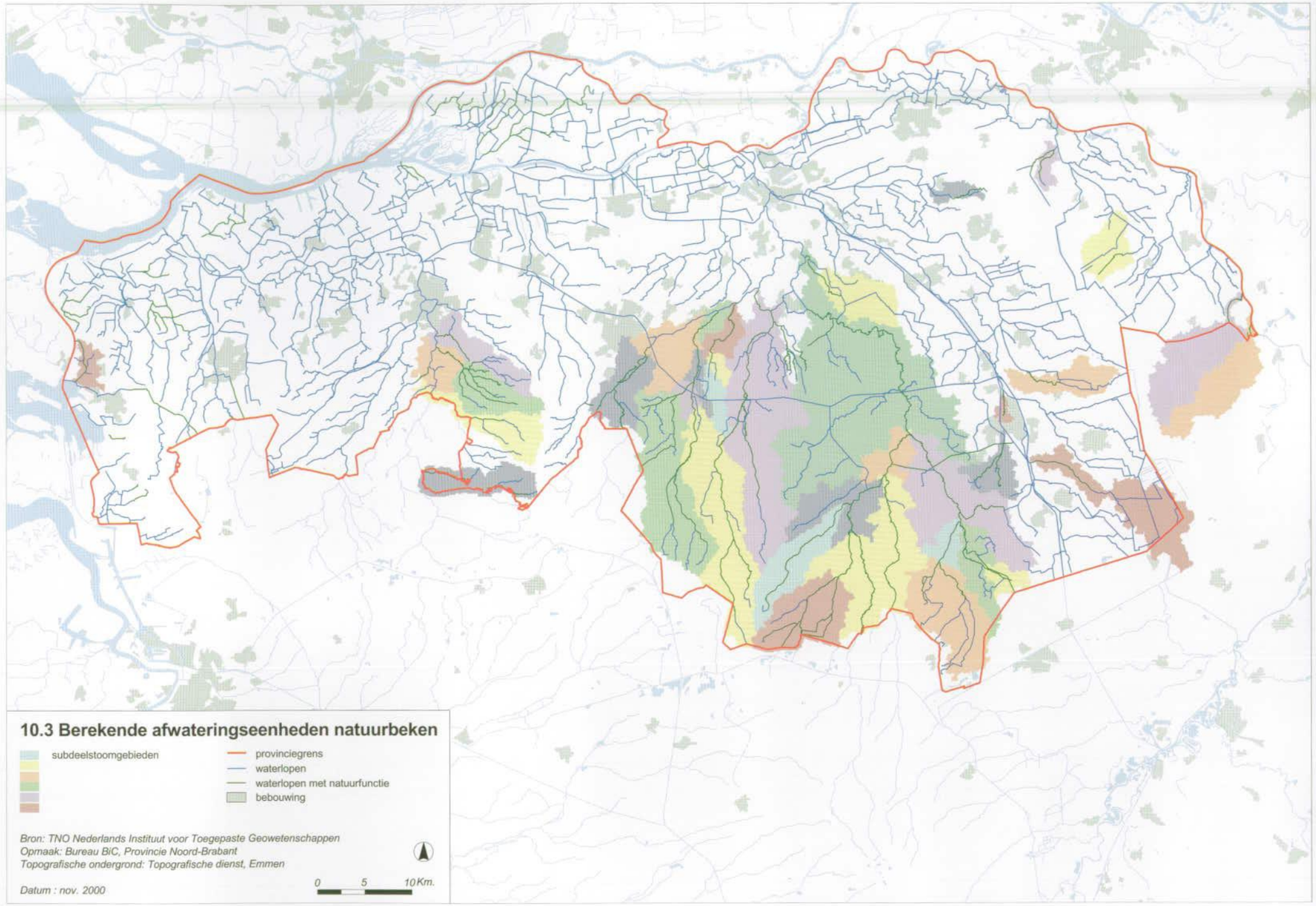
De substroomgebieden (figuur 10.1) op deze kaart zijn berekend op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Dit is alleen gedaan voor de waterlopen waaraan volgens het tweede waterhuishoudingsplan een natuurfunctie is toegekend.

Het uitgangspunt voor de substroomgebieden vormen de op basis van de maaiveldhoogte berekende theoretische waterlopen (kaart 7.2). De waterlopen met een natuurfunctie volgens het tweede waterhuishoudingsplan, zijn eerst vergeleken met de ligging van de theoretische waterlopen. Voor alle waterlopen met een natuurfunctie, waarvan de ligging nagenoeg overeenkwam met de ligging van een theoretische waterloop, is een substroomgebied berekend. Van de waterlopen met een natuurfunctie die niet in het theoretisch waterlopenbestand konden worden teruggevonden, is het substroomgebied ontleend aan de stroomgebieden van het deelwatersysteem.

De substroomgebieden zijn bepaald met de hydrologische modelleringskit die beschikbaar is in Arc/Info. De door het TNO-NITG uitgevoerde bewerkingen voor vervaardiging van het kaartbestand staan beschreven in bijlage A.

10.4 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De (hoofd-)afwateringseenheden tonen op hoofdschaalniveau de ruimtelijke samenhang voor het oppervlaktewater. De kaart toont bijvoorbeeld hoeveel oppervlak van een stroomgebied buiten de provinciegrenzen ligt. De aanpak voor herstel wordt vaak moeilijker als een deel van een stroomgebied onderdeel uitmaakt van andere provincie of land. De (WHP)-subwatersystemen geven aan welke oppervlakten invloed hebben op de natuurwaarden binnen deze begrenzing.



10.2 Deelwatersysteem

Afwaterings- en stroomgebieden

- waterlopen
- afwaterings- en stroomgebieden
- deelstroomgebieden

enz.

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Rijkswaterstaat, De Brabantse waterschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:50.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

11 Aanvoergebieden en inlaatpunten

11.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad

De aanvoergebieden en inlaatpunten zijn afkomstig van een kaart schaal 1: 100.000 met de titel "Wateraanvoergebieden (5-8-1987)". Op deze kaart waren de aanvoergebieden en inlaatpunten handmatig ingetekend. De gegevens zijn afkomstig van Rijkswaterstaat.

De aanvoergebieden worden onderscheiden naar de herkomst van het aangevoerde oppervlaktewater, dat wil zeggen dat deze genoemd zijn naar de rivier of het kanaal waaruit oppervlaktewater wordt ingelaten. De kaart is bruikbaar vanaf een schaal 1: 100.000. Hierbij wordt opgemerkt dat de ligging van de inlaatpunten een beperktere nauwkeurigheid heeft.

11.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

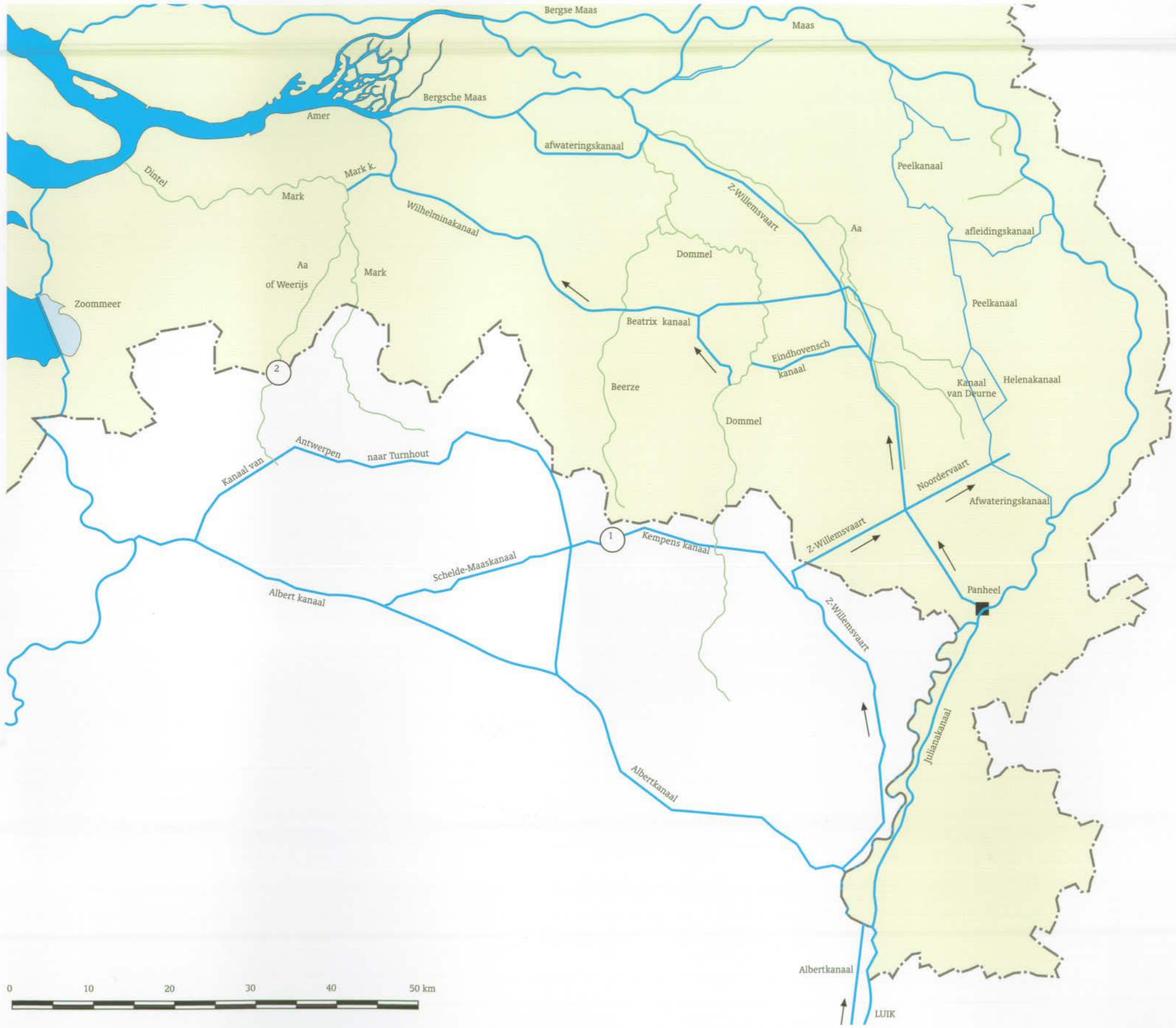
De aanvoergebiedenkaart levert aanvullende informatie over de herkomst van het oppervlaktewater. Deze wateraanvoer vindt met name in de droge periode plaats. Op basis van deze kaart kan bijvoorbeeld zichtbaar worden gemaakt welke delen van de provincie afhankelijk zijn van Maaswater. Wordt het oppervlaktewater ergens belast met ongewenste stoffen dan kan mede op basis van deze kaart inzicht worden verkregen over het beïnvloedde gebied. Mede op basis van deze kaart kunnen ook waterstromen gekwantificeerd worden.

11.3 Korte bespreking kaartbeeld

Op het hoogste niveau kunnen, op basis van de herkomst van het aangevoerde water, drie typen worden onderscheiden, (1) Maaswater, (2) Volkerak/Zoommeer water en (3) gebiedseigen water.

Maaswater wordt aangevoerd vanuit Panheel/Maasbracht en vanuit Luik via de Zuid-Willemsvaart en de noordelijke Kempense kanalen. De bestaande aanvoercapaciteit bedraagt ca 3 m3/s (ca 100 miljoen m3/jaar). Ook in het noorden van de provincie wordt op verschillende plaatsen Maaswater ingelaten.

De kaart toont dat wateraanvoer in het laaggelegen poldergebied bijna altijd voorkomt. Wat betreft het zandgebied vindt in het stroomgebied van de Aa grootschalige wateraanvoer plaats. Daarnaast wordt op enkele plaatsen in het Dommelstroomgebied en langs het Afwateringskanaal water aangevoerd. Twee 'bijzondere' gevallen komen langs de grens met België voor. De Beekloop ontvangt water uit de Kempense vloeiweiden (1) dat afkomstig is uit het Kempisch kanaal. Dit betreft Maaswater dat bij Luik wordt afgetapt. Bij de Kleine Beek zijn plannen in voorbereiding om water aan te voeren vanuit de Aa of Weerijs (2).



Figuur 11.1 De belangrijkste kanalen en rivieren in Brabant en omgeving

11 Aanvoergebieden en inlaatpunten

Herkomst aanvoergebied

- Potentieel aanvoergebied
- 1 Afleidingskanaal
- 2 Afwateringskanaal 's-Hertogenbosch - Drongelen
- 3 Amer
- 4 Bergsche Maas
- 5 Defensie-/Peelkanaal
- 6 Dintel
- 7 Dintel, Mark
- 8 Dintel, Mark en Hollandsch Diep
- 9 Donge, Wilhelminakanaal
- 10 Gekanaliseerde Dieze
- 11 Hollandsch Diep, Amer
- 12 Hollandsch Diep, Roode Vaart
- 13 Defensie-/Peelkanaal, Wilhelminakanaal, Zuid-Willemsvaart, Eindhovensch kanaal, Kanaal van Deurne
- 14 Kivietsloop
- 15 Maas
- 16 Mark
- 17 Mark - Vlietkanaal
- 18 Mark, Markkanaal
- 19 Nieuwe Merwede, Afged. Maas, Bergsche Maas, Steurgat
- 20 Nieuwe Merwede, Ruigt of Reugt, Steurgat
- 21 Oude Maasje, Zuiderkanaal
- 22 Roode Vaart
- 23 Steenbergsche Vliet
- 24 Steenbergsche Vliet, (Nieuwe) Roosendaalsche Vliet
- 25 Volkerak, Steenbergsche Vliet
- 100 Onbekend

- waterlopen

Aanvoer - kunstwerken

- Inlaatpunt
- Uitlaatpunt

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Rijkswaterstaat, De Brabantse waterschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000
Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

12 Inundatie

Doel van de kaartenserie 'Inundatie' is een zoektocht naar de gebieden die in het verleden van nature en/of door menselijk handelen regelmatig inundeerden. Deze inundatie moet meerdere dagen per jaar zijn voorgekomen. Het verleden is hier aangeduid als de periode 1850-1960. Er zijn hiervoor vijf kaarten samengesteld:

12.1 Historisch geïnundeerd gebied.
12.3a Militaire inundaties
12.3b Historische inundaties bij overlaten
12.3c Ondergelopen gebied als gevolg van de stormvloed 31 jan/ 1 feb.1953.
12.3d Inundatie ten gevolge van oorlogshandelingen in de jaren 1944 en 1945,

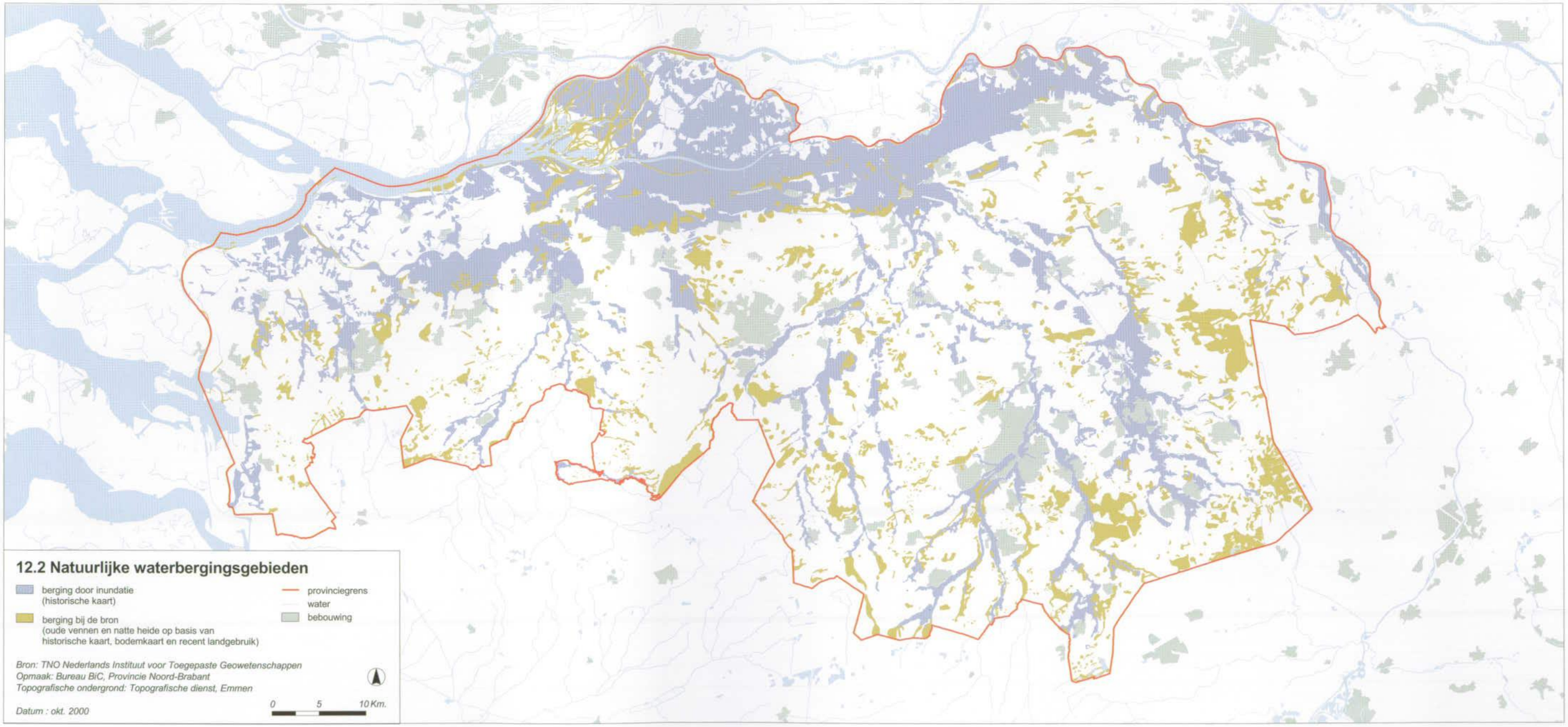
12.1 Historisch geïnundeerd gebied

Deze kaart 12.1 geeft de laaggelegen historische natte gebieden (zie kaart 20.1) weer. Deze gebieden zijn: Moeras, Graslanden met sloten, Broekbos, Boekweitpercelen, Schorren en gorzen, Wadden, slikken en platen. Deze zijn uit het kaartbestand met historische natte gebieden geselecteerd en weergegeven (schaal 1:50.000). De kaart is gebaseerd op talrijke historische bronnen. Deze bronnen zijn grotendeels uit de periode 1920-1940. Tijdens de kartering werd duidelijk dat de mozaïek die ontstond bijna naadloos samen viel met de laaggelegen graslanden en moerassen uit de Topografische Militaire kaart. Over deze activiteit verschijnt een apart rapport (Stuurman, in prep). De informatie uit de Topografische Militaire kaart is dus als inter- en extrapolatie gebruikt voor de hier gepresenteerde kaart. Het blijkt dat de gebieden waar in het verleden regelmatig inundaties voorkwamen samen vallen met kwelgebieden. Dit is verklaarbaar. Zowel kwel als oppervlaktewater zoeken immers het laagste punt.

12.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De kaarten kunnen een bijdrage leveren voor studies naar de kansen voor natuurherstel en naar de kansen voor waterconservering. Steeds duidelijker wordt dat de voor Brabant typische natte natuurwaarden afhankelijk zijn van zowel kwel als regelmatige overstromingen. Eveneens wordt duidelijk dat het verbeteren van de afwatering stroomafwaarts serieuze problemen oplevert. De historische inundatiekaart geeft in feite de gebieden aan waar oppervlaktewater tijdelijk geborgen kan worden. De kaart kan gecombineerd kunnen worden met kaarten met stedelijke bebouwing en economisch belangrijke agrarische omgevingen.

Op de zoektocht naar het herstel van watersystemen is tevens een aanvullende kaart gemaakt (figuur 12.2). Deze kaart is een verdere uitwerking van kaart 12.1 doordat nu ook de hoger gelegen gebieden, waar water kon worden geborgen, zijn weergegeven. Dit zijn natte heiden, vennen en hoogvenen. In feite zijn dit gebieden waar bovenstrooms in het watersysteem regenwater kon worden geborgen. De vennen en natte heide zijn afkomstig uit de Historische kaart en de bodemkaart (gooreerd- en moerige podzol bodems). Voor de begrenzing van hoogveen is de actuele verbreiding gebruikt. In de kaart zijn deze gebieden getypeerd als "berging bij de bron" ter onderscheid van de stroomafwaarts gelegen laagliggende inundatie gebieden.



12.1 Historisch geïnundeerd gebied

Geïnundeerd gebied
waterlopen
provinciegrens
weg
weg in ontwerp/aanleg
op- en afrit
spoorweg
water
bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

12.3 Vier kaarten met historische inundaties

Op dit blad staan de eerste vier kaarten weergegeven.
Deze zijn respectievelijk afkomstig van de volgende bronnen:

- "Kaart van de Inundaties in Nederland ten gevolge van de oorlogshandelingen in 1944-'45" schaal 1:800.000 (b.o.).
- "Kaart van de geïnundeerde gebieden in de provincie Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland ten gevolge van de stormvloed van 31 jan./1febr. 1953" schaal 1:100.000 (b.o.)
- Militaire inundatiën: "Atlas van historische vestingwerken in Nederland. Noord-Brabant" (Sneep et al., 1996).
- Historische inundaties bij overlaten: voor het gebied van de Beersche Maas: kaart behorende bij het Kon. besluit 1919, Staatsblad nr. 748, schaal 1: 50.000. De westelijke overlaten - Bokhovensche en de Baardwijkse overlaten – zijn afkomstig van een kaart uit ca. 1900, aangeleverd door RWS, dir. Noord-Brabant

12.4 Kaartbespreking

12.4.1 Overlaatsystemen

Rond de 13e eeuw ontstond de verbinding van de Maas met de Waal bij St. Andries. Voorheen stroomde deze op de plaats waar men aan het einde van de 19e eeuw de Bergse Maas heeft gegraven. De verbinding van de Maas met de Waal was zeer nadelig voor de Maasafvoer. Er ontstonden langdurige hoge waterstanden. Hierdoor werd het noodzakelijk de Maasdijken te verhogen en dwarsdijken aan te leggen. De reeds bestaande dijken aan de Gelderse zijde werden hierdoor bedreigd. Onder politieke Gelderse druk is vermoedelijk de Beerse Overlaat ontstaan waardoor de Maas zijdelings ontlast kon worden (1472). Deze weg over Brabants grondgebied werd bekend als de "Beerse Maas" of "Groene rivier" en zorgde voor veel overlast. Sinds de aanleg heeft men getracht deze overlaat ongedaan te maken waar men pas in 1942 in is geslaagd. De overlaat bevond zich tussen Cuijk en Grave en was ca 3200 meter lang. Tot 1816 bezat de overlaat een hoogte van 10.03 m +NAP, daarna tot 1922 10.19 m +AP en tussen 1922-1942 10.80 m +NAP. Ondanks de verhoging in 1922 vonden daarna (met name in de winter 1925/1926) grote overstromingen plaats die tot enorme schade hebben geleid.

Naast de Beerse Overlaat bestond langs de Maas een tweede overlaat, namelijk tussen Den Bosch en Heusden (de Bokhovense Overlaat). Als deze in werking was gesteld stroomde Maaswater in zuidelijke richting. Bij hoge Maaspeilen en een geactiveerde Beerse Maas kon Dommel en Aa water niet meer naar de Maas afstromen. Dit zorgde voor stagnerende afvoer en grote overstromingen langs deze waterlopen. Om toch een afvoer te realiseren werd de Baardwijkse overlaat ingesteld. Het Dommel- en Aawater kon bij Den Bosch in westelijke richting over land naar de buitenpolders boven Waalwijk afstromen. Om deze inundaties te stoppen werd hiervoor later het Afwateringskanaal van Den Bosch naar Drongelen aangelegd.

12.4.2 Militaire inundaties

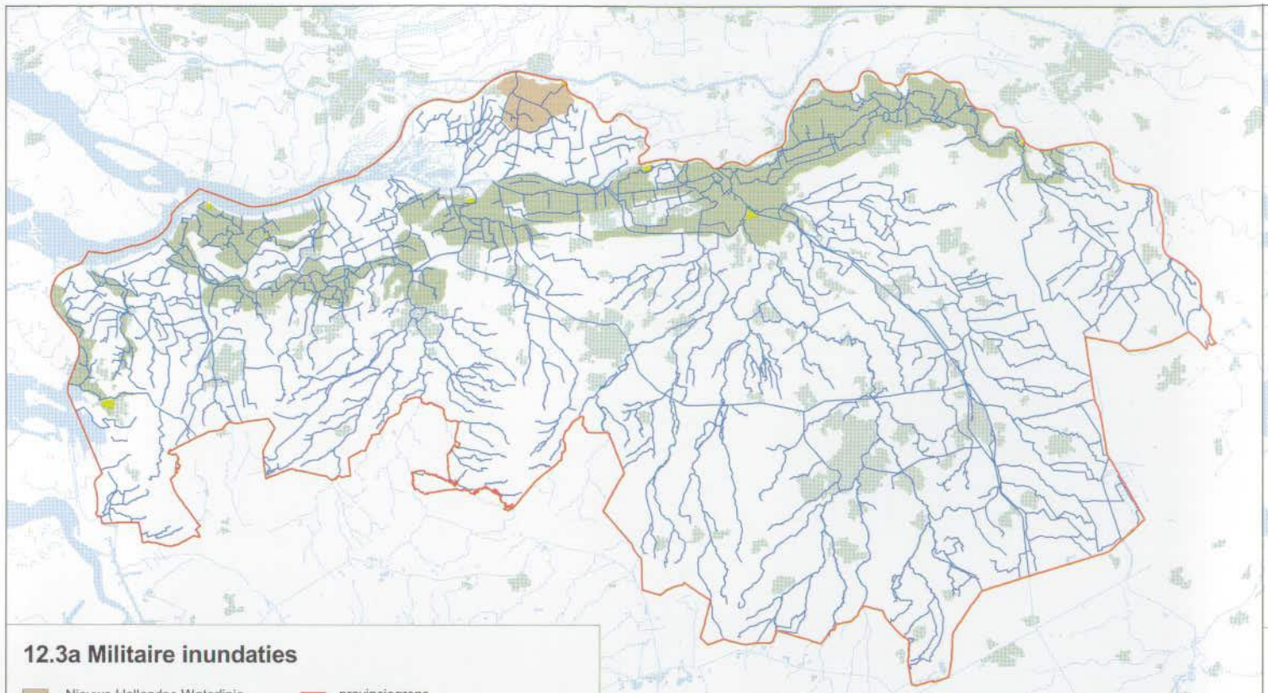
Sinds 1400 werden veel steden beschermd door waterlinies waar op de zwakke (droge) plekken schansen gebouwd werden. Deze waterlinies, inundatie gebieden, werden aangelegd in de van nature laaggelegen terreinen en bleven tot ver in de negentiende eeuw in tact. Regelmatig zijn deze gebieden onder water gezet. Soms, zoals in Het Oudlandsch- en Halsteren Laag (vesting Bergen op Zoom) werd zelfs zeewater ingelaten. Om deze verdedigingswerken operationeel te houden golden verschillende maatregelen zoals bouwverboden of verplichtingen om speciale maatregelen te nemen. Het Bosche Broek en de Moerputten bij Den Bosch maakten zowel deel uit van een overlaatsysteem als van een militair inundatie gebied. Bij de aanleg van de spoorlijn Den Bosch-Geertruidenberg is daarom in de Moerputten een bijna 400 meter lange spoorbrug aangelegd.

12.4.3 Overstromingen in de WO II en 1953

Door Rijkswaterstaat zijn de gebieden in kaart gebracht die tijdens de Tweede Wereld Oorlog en de ramp van 1953 overstroomden. In de Tweede Wereldoorlog werden de overstromingen grotendeels veroorzaakt doordat gemalen buiten werking waren. In 1953 kon onderscheid gemaakt worden tussen gebieden die overstroomden doordat dijken waren doorgebroken en gebieden waar de afvoer stagneerde. Bij de kartering is ook onderscheid gemaakt tussen gebieden waar het water zoet of zout was.

12.5 Toepassingsmogelijkheden

De informatie over historische inundatiegebieden kan gebruikt worden bij het zoeken naar bergingsgebieden. Het kan ook van nut zijn bij (eco-)hydrologische systeembeschrijvingen. De historische overstromingen kunnen bijvoorbeeld een verklaring vormen voor de ondiepe grondwatersamenstelling of zelfs voor het voorkomen van plantesoorten.



12.3a Militaire inundaties

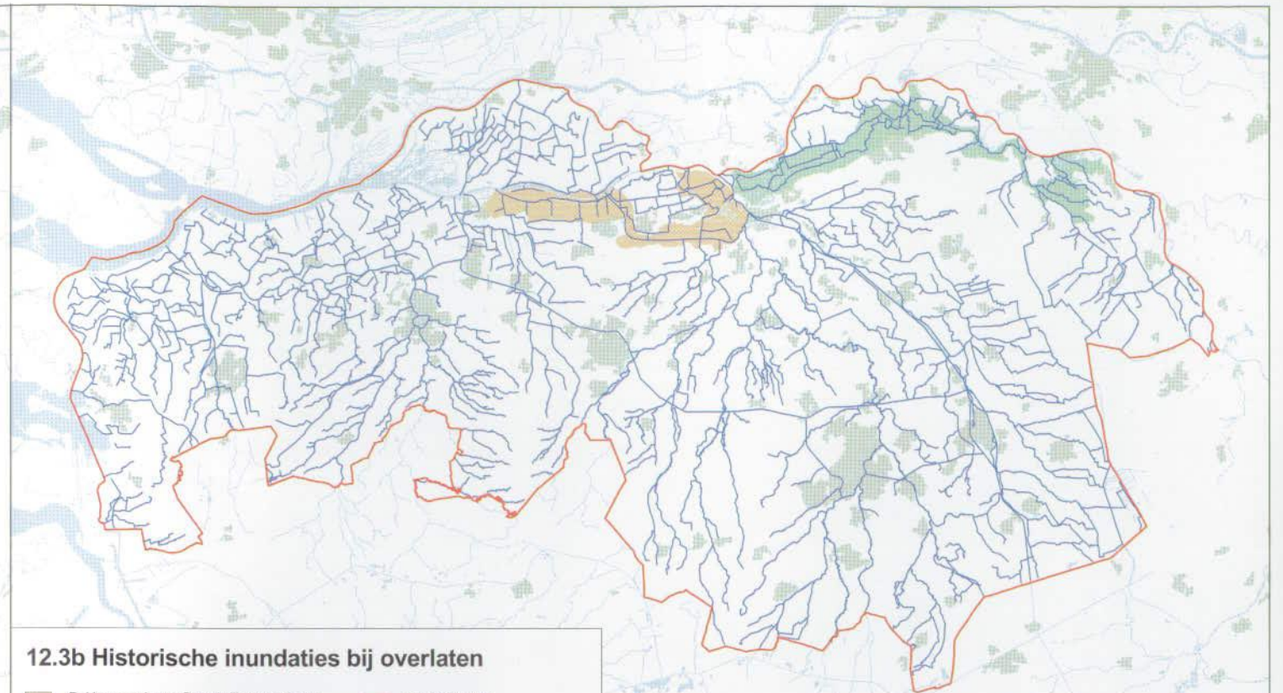
- Nieuwe Hollandse Waterlinie
- Vestigingsplaats
- Zuidfrontier
- provinciegrens
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: zie bijlage A
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.



12.3b Historische inundaties bij overlaten

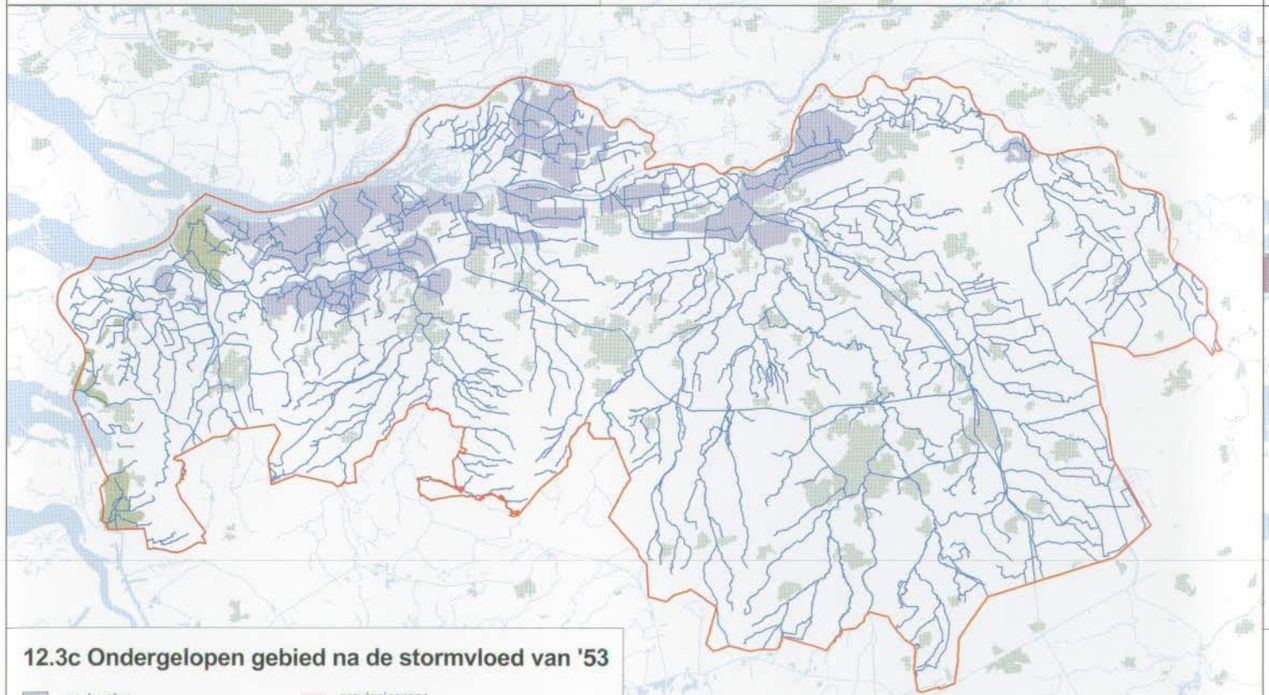
- Bakhovensche en Baardwijkse overlaten
- Gebied rond de Bergsche Maas
- provinciegrens
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: zie bijlage A
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:50.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.



12.3c Ondergelopen gebied na de stormvloed van '53

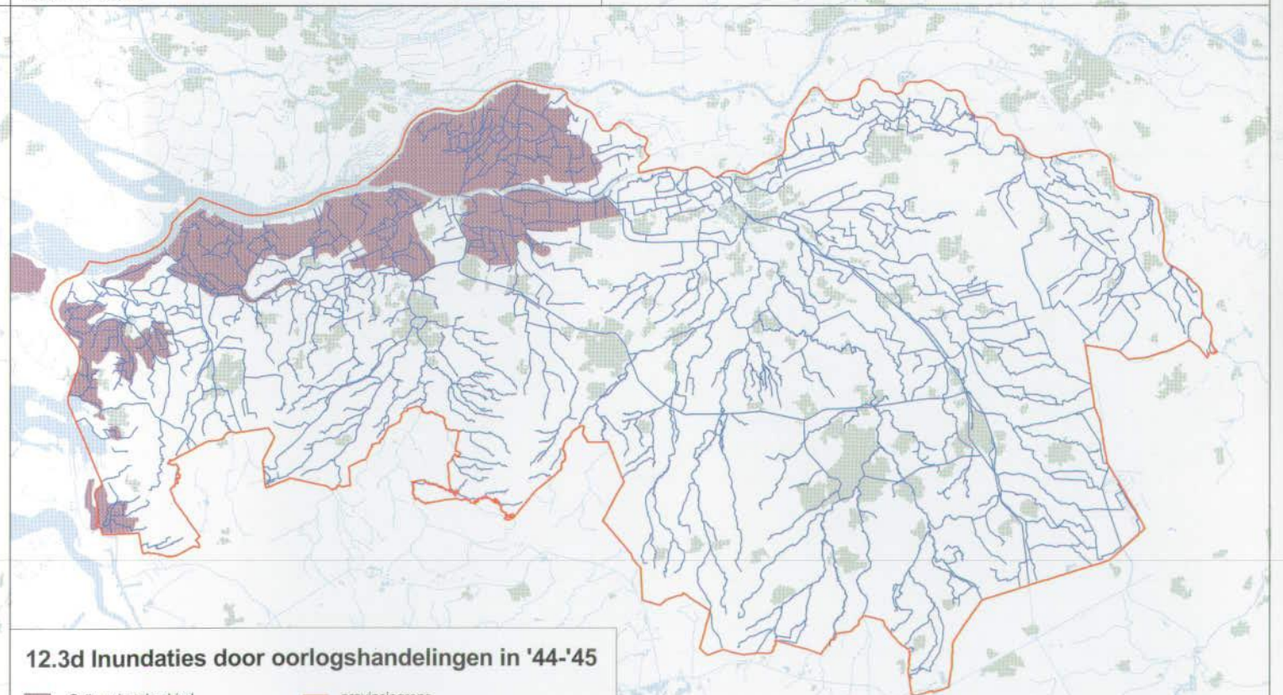
- zoet water
- zout water
- provinciegrens
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: zie bijlage A
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:50.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.



12.3d Inundaties door oorlogshandelingen in '44-'45

- Geïnundeerd gebied
- provinciegrens
- water
- bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: zie bijlage A
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

13 Geohydrologische deelgebieden

13.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad

De kaart met de hydrogeologische deelgebieden is gebaseerd op verschillende bronnen. De belangrijkste zijn:

- Vereenvoudigde Geologische kaart van Nederland, schaal 1: 600.000 uit de Atlas van Nederland,
- Geohydrologische kaart uit de Atlas van België , schaal 1 : 500.000 (1964).
- Verbreiding van de Formatie van Tegelen volgens het REgionaal Geohydrologische InformatieSysteem, project Noord-Brabant (REGIS, 1:50.000)
- RGD-kartering naar winbare grind- en zandvoorkomens (1:25.000).

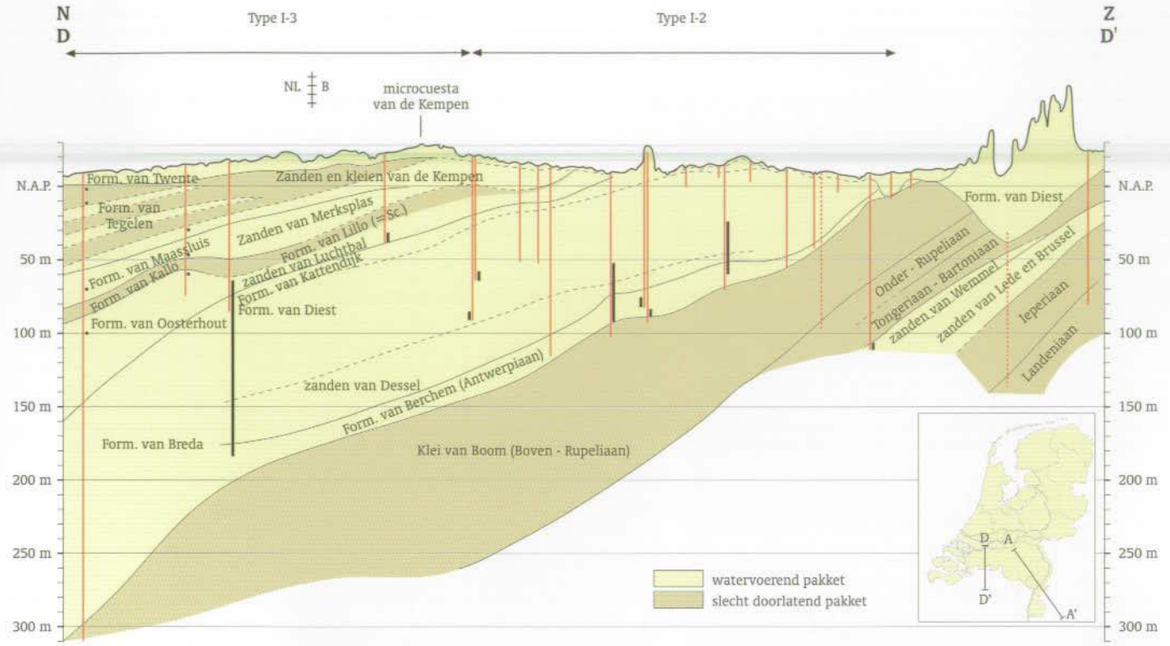
Bij de schematisatie van de profieltypen is eerst een onderverdeling gemaakt in vier typische, door tektonische breukinvloeden bepaalde, hydrogeologische deelgebieden, namelijk (I) westelijk Noord-Brabant, (II) het Kempische Plateau, (III) de Centrale Slenk en (IV) de Peelhorst/Venlo Slenk. Binnen deze gebieden is vervolgens weer een onderverdeling aangebracht in het deel dat wel of niet Holocene rivier- of zeeafzettingen kent. Vervolgens is de hydrogeologische opbouw bestudeerd om tot de uiteindelijke indeling te komen. Tenslotte zijn indicatieve weerstanden voor de slechtdoorlatende pakketten weergegeven op basis van verschillende literatuurbronnen en is de dikte van de watervoerende pakketten bepaald.

13.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

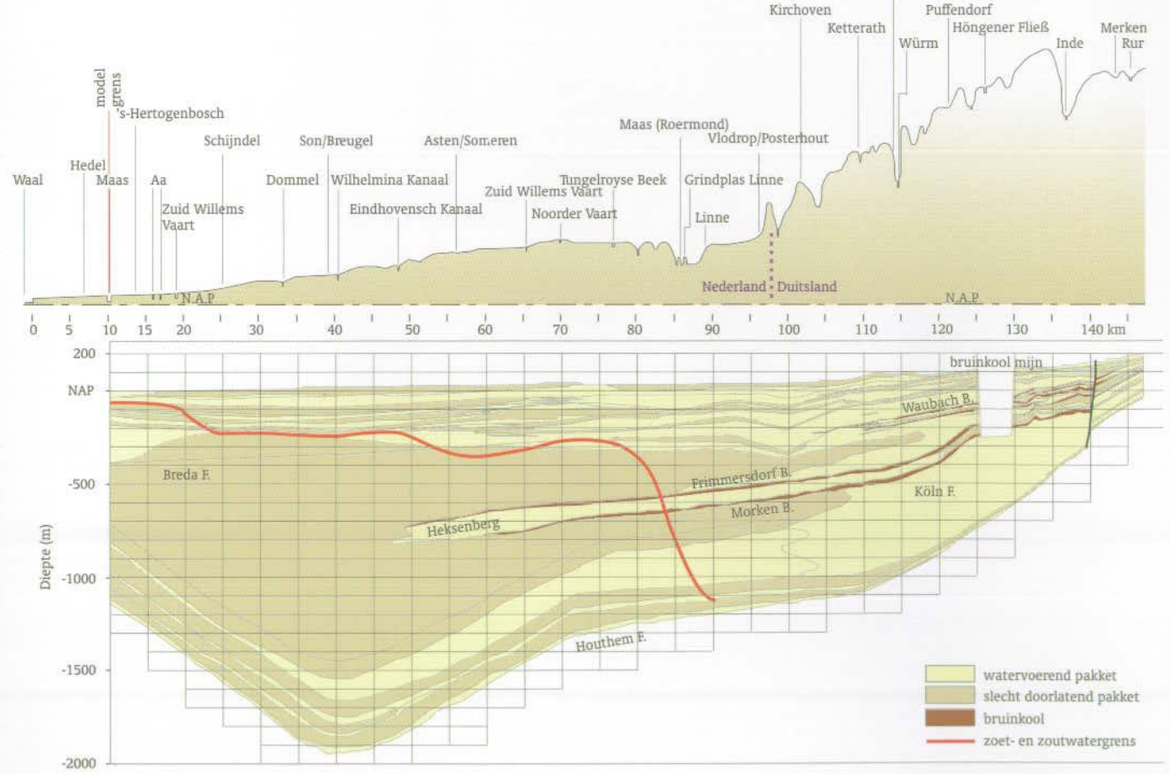
De kaart geeft inzicht over de 'werking' van het grondwatersysteem. De aan- of afwezigheid van een slechtdoorlatende laag aan de bovenzijde van het profiel geeft bijvoorbeeld een indicatie voor de kwetsbaarheid van het grondwatersysteem voor verontreiniging of voor het effect van een onttrekking. Bij afwezigheid van een slechtdoorlatende laag zal het effect sterk locaal merkbaar zijn. Bij aanwezigheid van een slechtdoorlatende laag aan het oppervlak zal het effect zich meer uiten in de stijghoogte binnen het afgesloten pakket en een veel groter gebied beïnvloeden. Op de freatische grondwaterstand is het effect dan geringer. Het winningeffect is in feite diffuus verdeeld over een groot oppervlak. Voor kwelgebieden kan dit echter grotere consequenties hebben, verlaging van de stijghoogte betekent immers vermindering van de kwel. In de Centrale Slenk komen zelfs meerdere 'afgesloten' pakketten voor. Een onttrekking vanuit het diepe watervoerende pakket onder de KedichemTegelen kleilagen zal als gevolg van de zeer hoge weerstand van deze kleilagen (ca 50.000 dagen) niet of nauwelijks effect hebben op de locale grondwaterstand. Een grondwaterwinning van enkele miljoenen m3/j veroorzaakt hier echter wel een stijghoogteverlaging die op kilometers nog merkbaar is. Voor gedetailleerde hydrogeologische informatie kan het TNO-NITG Regis systeem worden geraadpleegd (zie hoofdstuk 3).

13.3 Korte bespreking kaartbeeld

De kaart wordt in zuiden begrensd door de cuesta van de Boomse klei, en aan de de oostzijde door de Maas. Een cuesta is een richel in het landschap met aan de ene zijde een flauwe helling en aan de andere zijde een scherpe helling welke is ontstaan door verschillen in erosiegevoeligheid. De flauwe helling is in noordelijke richting. Ter plaatse van de cuesta dagzoomt de kleilaag die in noordelijke richting helt en binnen Nederland op honderden meters diepte ligt. Ten zuiden van de cuesta dagzomen de pakketten welke zich stratigrafisch onder de Boomse klei bevinden. De Boomse klei wordt in veel grondwaterstudies in zuidelijk Nederland als de hydrogeologische basis beschouwd. De Boomse klei, die als een zeer homogene klei in een uitgestrekt Tertiair kustgebied werd afgezet en ca 50-100 meter dik is, bezit een weerstand van miljoenen dagen. Veel hoger dan alle bovenliggende slechtdoorlatende pakketten. Het profieltype I1 in het westelijk deel van de kaart bestaat uit zanden welke in West-Brabant het watervoerend pakket vormen. Dit watervoerend pakket is in West-Brabant afgedekt met de slecht doorlatende Kedichem-Tegelen kleien. De zuidelijke begrenzing hiervan uit zich in de Microcuesta van de Kempen (zie figuur 13.1). De met deze cuesta samenhangende morfologie heeft er ook voor gezorgd dat de grondwaterscheiding bijna 1 op 1 samenloopt met deze cuesta. In Midden-Brabant liggen als gevolg van postsedimentaire dalingsprocessen de Kedichem-Tegelen kleien veel dieper. Op de kaart is de zuidelijke begrenzing echter wel goed te vervolgen omdat deze hier de grens naar andere profieltypen vormt. In figuur 13.2 wordt een hydrogeologisch profiel in de lengterichting van de Centrale Slenk getoond. De basis van dit profiel bestaat uit 'harde' niet klastische sedimenten. Opvallend is de dikte van de fijne zanden en kleien van de Formatie van Breda. De figuur is oorspronkelijk gemaakt om meer inzicht te krijgen over de effecten van bruinkoolwinning in Duitsland op het Nederlandse grondwatersysteem.



Figuur 13.1 Een hydrogeologisch noord-zuid profiel door West-Brabant



Figuur 13.2 Een grensoverschrijdend hydrogeologisch NW-ZO profiel door de Centrale Slenk

I4
Westland d=5-10/c=1000
Kreftenheije d=10-15
Kedichem/Tegelen d=30-40/c=3000-5000
Maassluis/Oosterhout d=50-200
Kalio
Rupel

I3
Twente
Kedichem/Tegelen d=30-40/c=3000-5000
Maassluis/Oosterhout d=50-200
Kalio
Rupel

I2
Westland d=5-10/c=1000
Kalio
Merksplas/Diest d=30-50
Rupel

I1
Kalio
Merksplas/Diest d=25-150
Rupel

II1
Nuenen Groep
Winterslag/Lommel d=25-150

II2
Sterksel d=5-25
Kedichem/Tegelen d=10-15/c=500-1000
Maassluis/Oosterhout d=50-200

III1
Nuenen Groep
Kreft/Veghel/Sterk d=100
Reuver/berv. Brunssum d=10-30/c=100000
Zanden v.Pey d=20-50
ond. Brunssum
Waubach zanden d=50-100
Breda

III2
Betuwe
Kreft/Veghel/Sterk d=100
Reuver/berv. Brunssum d=10-30/c=100000
Zanden v.Pey d=20-50
ond. Brunssum
Waubach zanden d=50-100
Breda

III3
leemrijk (deklaag) d=15-30/c=1500-3000
d=40-80
klei d=25-50/c=50000
d=10-40
d=5-40/c=50000
zand/grind
d=10-75
fijn zand/klei

III4
Nuenen Groep d=5-15/c=600-1500
Sterksel/Veghel/Kref d=40-80
Kedichem/Tegelen d=25-50/c=50000
Tegelen d=10-40
d=5-40/c=50000
Belfeld/Maassluis
d=10-75
Breda

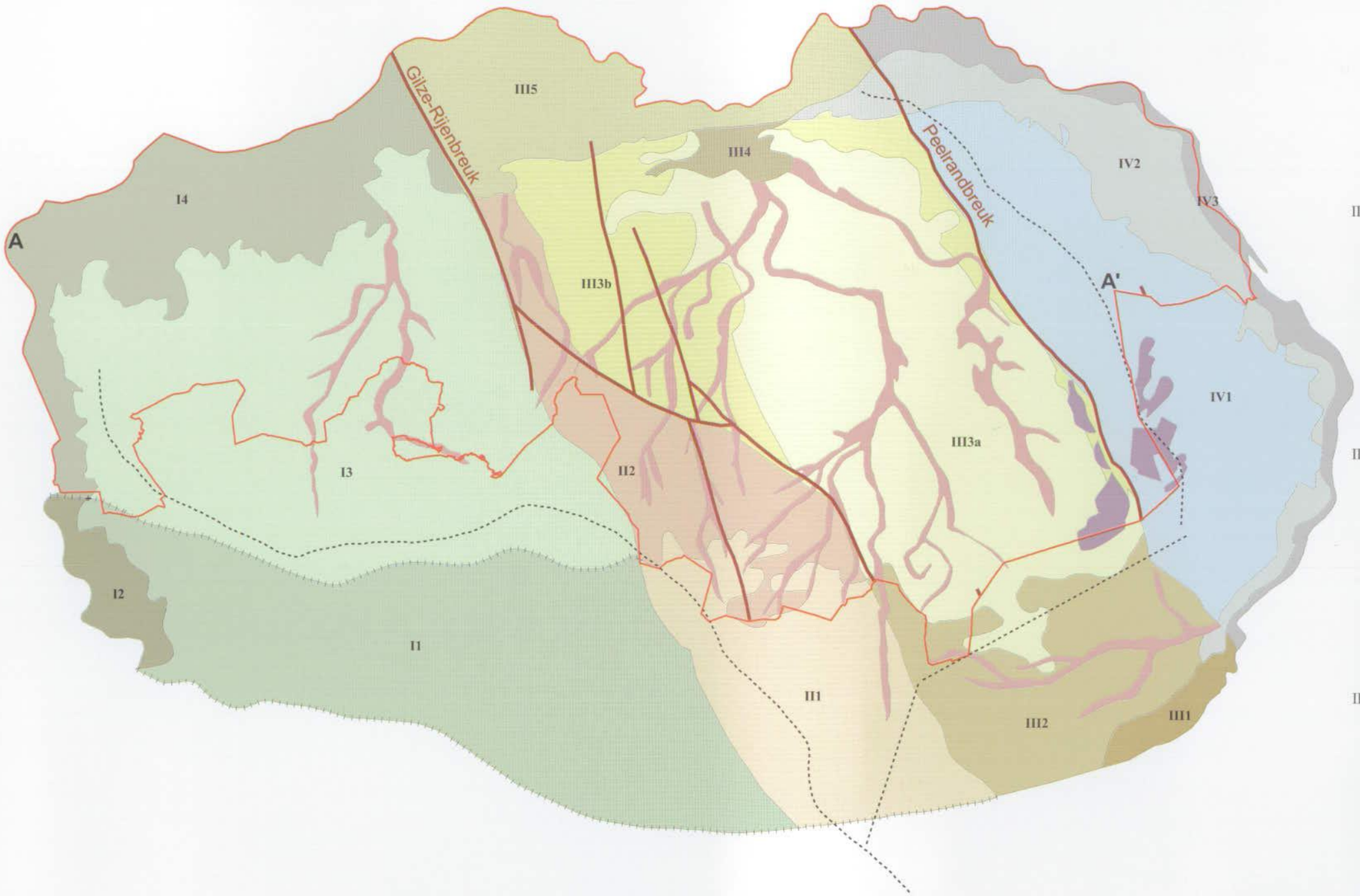
III5
Betuwe d=5-10/c=1000
Nuenen Groep d=5-10/c=500-1000
Sterksel/Veghel/Kref d=10-15
Kedichem/Tegelen d=25-50/c=50000
Tegelen d=150-250
Breda

III6
Betuwe d=5-10/c=1000
Kreft/Veghel d=10-15
Kedichem/Tegelen d=25-50/c=50000
Tegelen d=150-250
Breda

IV1
Nuenen Groep d=1-2.5/c=100-250
Veghel/Sterksel d=30-50
Breda

IV2
Veghel/Sterksel d=30-50
Breda

IV3
Betuwe d=2.5/c=500
Veghel/Sterksel d=30-50
Breda



13 Geohydrologische deelgebieden

provincies grens
waterscheiding
cuesta (zie 13.3)
laagveen
hoogveen
geologische breuk

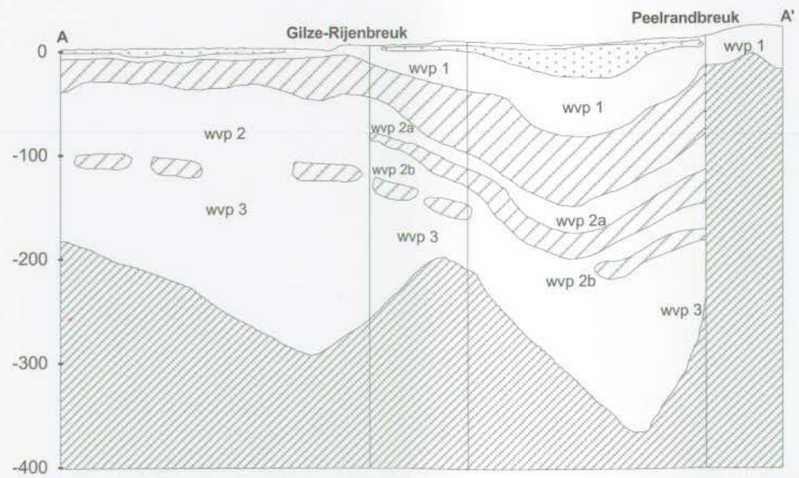
profieleenheden
leemrijk (deklaag)
klei
zand/grind
fijn zand/klei

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant

Presentatieschaal: > 1:500.000

Datum : nov. 2000

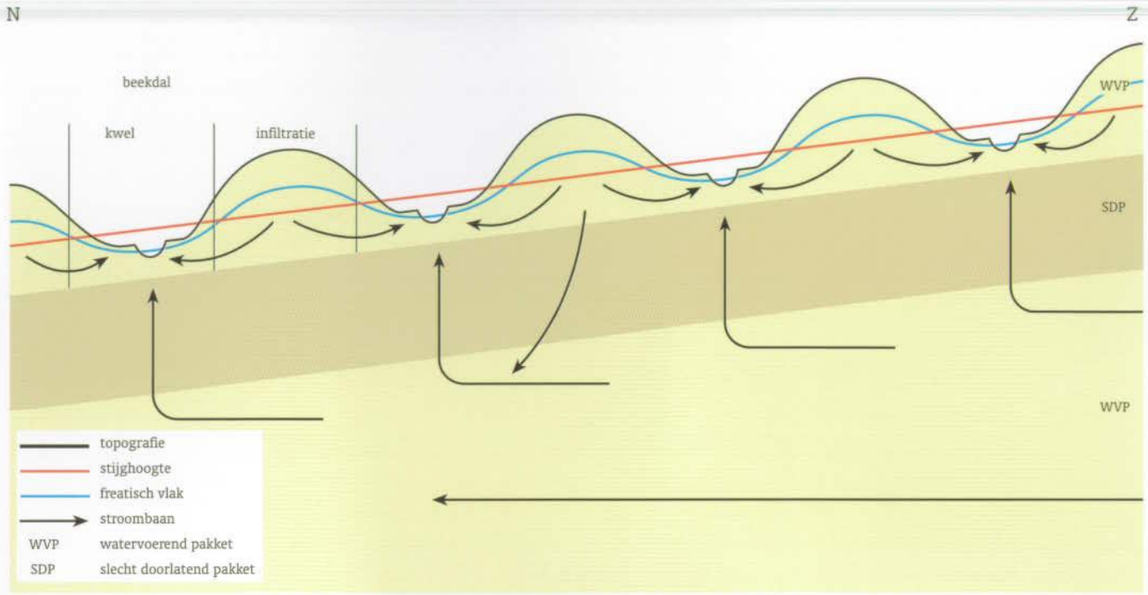
0 10 20 Km.



14 Stijghoogte in het eerste watervoerend pakket

Het freatisch vlak of grondwaterstand kan men bepalen door een kuil te graven of een gat te boren en de afstand tussen het maaiveld en het waterpeil te meten. Nauwkeuriger is het om met een handboor een gat te boren tot ca 100 cm beneden het freatisch vlak en hier een volledig geperforeerde buis in aan te brengen welke met een dop kan worden afgesloten.
Voor het bepalen van de stijghoogte is een schep of handboor meestal niet genoeg. Hiervoor moet het diepe (afgesloten) watervoerende pakket bereikt worden waar verschillende boortechnieken voor beschikbaar zijn. In het boorgat kunnen tientallen meters lange buizen worden geplaatst met alleen aan de onderzijde een filter. De doorboorde kleilagen moeten afgedicht worden met "zwelklei" (bentoniet). Nu kan de waterdruk in dit diepe pakket worden bepaald. In infiltratiegebieden is het freatisch vlak hoger, in kwelgebieden lager dan de stijghoogte. Op verschillende plaatsen kan de stijghoogte beduidend hoger liggen dan het aardoppervlak (zie figuur 14.1).

De hoogte van het freatisch vlak hangt af van locale factoren, die van de stijghoogte heeft van nature een relatie met de regionale helling in de topografie (zie figuur 14.2).



Figuur 14.2 De stijghoogte is onder natuurlijke omstandigheden regionaal bepaald. Het fratische vlak is lokaal gestuurd. Hierdoor ontstaan stijghoogteverschillen waardoor verticale stroming ontstaat.

Figuur 14.1 In de zeventiger jaren bevond de stijghoogte zich in het Limburgse deel van de Centrale Slenk meer dan 10 meter boven het maaiveld. Voor een onderzoek naar grondwatertemperatuur was het noodzakelijk een hoogwerker te gebruiken. De kosten hiervoor zouden nu niet meer gemaakt hoeven te worden!

14.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad

Deze stijghoogtekaart voor het eerste watervoerende pakket (Formatie van Sterksel, Kreftenheije, Veghel) is vervaardigd ten behoeve van REGIS, het REgionaal Geohydrologisch InformatieSysteem. De kaart is gemaakt op basis van de grondwaterstanden op 28 april 1995, waarbij een interval van plus/minus 14 dagen is gehanteerd indien voor bepaalde meet locaties op die datum geen meting beschikbaar was. De keuze voor het jaar 1995 is afhankelijk geweest van de, op het moment van vervaardigen, digitaal beschikbare en gecontroleerde stijghoogtemetingen.

Het jaar 1995 wordt gekenmerkt door zeer veel regen in januari en februari. Samen met een natte decembermaand in 1994 werd het hiermee de op één na natste winter van de 20e eeuw (KNMI, 1995 en 1996). In figuur 14.3 staat een grafiek met gemeten grondwaterstijghoogten in het eerste watervoerende pakket voor de periode 1978 – 2000. Hieruit valt op te maken dat de stijghoogte van april 1995 representief lijkt voor de 1990-1999.

Het stijghoogtepatroon is vervaardigd met een interpolatietechniek, waarbij gebruik wordt gemaakt van de stochastische aspecten van ruimtelijke variatie. Deze techniek staat bekend als "kriging". In hoeverre de werkelijke ruimtelijke variatie in de stijghoogte door het op deze wijze verkregen stijghoogtepatroon wordt weergegeven, is afhankelijk van de dichtheid van de filterlokaties. Op plaatsen waar de variatie in stijghoogte op een relatief geringe afstand groot is, zoals bijvoorbeeld rondom winningen, kan het stijghoogtepatroon in werkelijkheid plaatselijk afwijken van het getoonde kaartbeeld doordat de dichtheid aan filterlokaties te gering was.

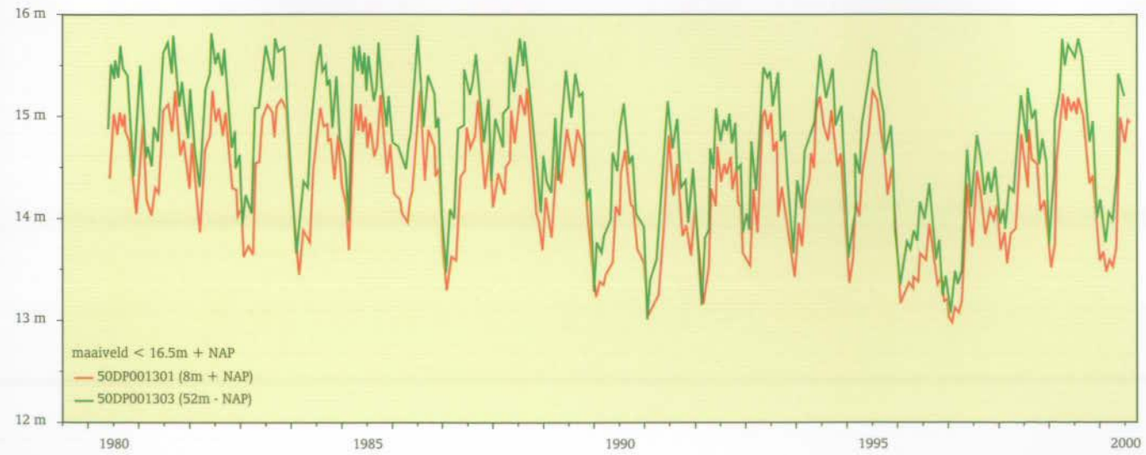
De door het TNO-NITG uitgevoerde bewerkingen voor vervaardiging van het kaartbestand met de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, staan beschreven in bijlage A.

14.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De stijghoogtekaart vormt de basis voor afgeleide kaarten zoals de grondwatersystemenkaart, de spanningswater kwelkaart en de kweltypenkaarten. De directe toepasbaarheid zit in het feit dat een beeld wordt verkregen van de regionale grondwaterstroming in het ondiepe watervoerende pakket (zandgebied West-Brabant WVP2, rest van Brabant WVP1;zie kaart 13 of 15).

14.3 Kaartbespreking

De grondwaterstroming ligt loodrecht op het stijghoogtepatroon. De kaart toont dat de richting van de grondwaterstroming sterk overeenkomt met de regionale helling van het maaiveld. In midden-Brabant stroomt het grondwater gemiddeld in noordelijke richting, langs de Brabantse wal deels naar het westen, terwijl het grondwater op de Peelhorst voor het grootste deel naar of de Maas of de Centrale Slenk stroomt. De kaart laat ook twee depressies in het stijghoogtevlak zien, namelijk in het Land van Altena ten oosten van de Biesbosch en in het poldergebied ten noorden van Breda. Hier stroomt grondwater vanuit alle richtingen toe en kan alleen bestaan doordat het grondwater hier opkwelt of wordt gedraineerd. In de depressie boven Breda wordt de vanuit het noorden toestromende grondwatercomponent gevoed door de Bergsche Maas en het Hollands Diep. De Bergse Maas is pas 100 jaar geleden gegraven en het Hollandsch Diep bestaat nog maar iets langer dan 1000 jaar. Momenteel bestaat deze stromingscomponent dan ook uit grondwater dat voor deze veranderingen in het watervoerende pakket aanwezig was. Hierbij moet beseft worden dat grondwater in het algemeen uiterst traag stroomt. In het hier gepresenteerd eerste watervoerende pakket wordt een stroomsnelheid geschat van 5-10 m/j.



Figuur 14.3 Gemeten grondwaterstijghoogte en freatische grondwaterstand in het tweede watervoerende pakket voor de periode 1978 t/m 2000 in meetpunt 50D13 (Castelré, Baarle Nassau)

14 Stijghoogte in watervoerend pakket 1

april 1995 (in meter + NAP)

- -20 - 0
- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 35
- 35 - 40
- 40 - 50
- isohypsen

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing
- geologische breuk

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

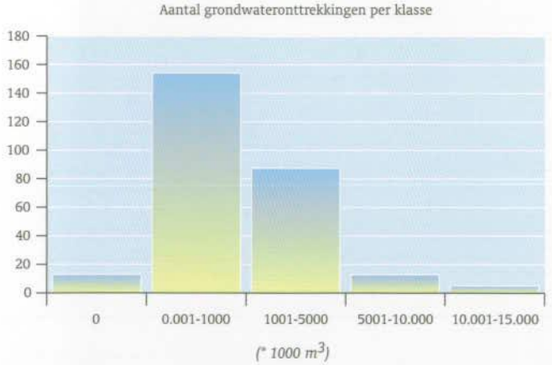
0 5 10 Km.

15 Grondwateronttrekkingen voor de openbare watervoorziening en de industrie

15.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad

De gegevens van grondwateronttrekkingen van industrie en openbare watervoorziening in Noord-Brabant zijn afkomstig van de provincie Noord-Brabant, bureau Grondwater. Dit zijn in totaal 219 vergunningsplichtige onttrekkingen. De locaties in België zijn afkomstig van resp. de kaart getiteld "Grondwaterwinning grensgebied Nederland / België 1986" (RWS, 1987) aangevuld met gegevens voor het jaar 1993 (RIZA, 1995). De locaties van grondwateronttrekkingen in Limburg zijn aangeleverd door de provincie Limburg.

De onttrekkingsklassen in de legenda zijn gebaseerd op de hoeveelheid, uitgedrukt in 1000 m^3/j, grondwater die in 1998 in Noord-Brabant is onttrokken. Voor België zijn gegevens uit 1993 gebruikt. De onttrekkingshoeveelheden variëren sterk. In onderstaand histogram staat per onttrekkingsklasse (0.001-1000, 1001-5000, 5001-10000, 10001-15000) het aantal onttrekkingen weergegeven.

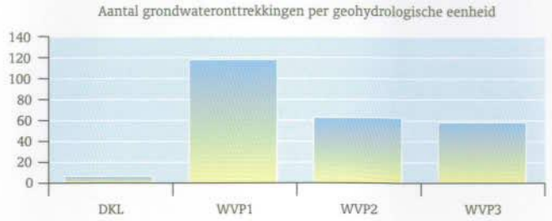


Figuur 15.2 Histogram met het aantal grondwateronttrekkingen per onttrekkingshoeveelheid-klasse(x 1000 m3)

Grondwater wordt onttrokken uit verschillende watervoerende pakketten.
De kleinere grondwateronttrekkingen, tot en met één miljoen m3/jr, onttrekken voornamelijk uit het eerste watervoerende pakket. De grotere onttrekkingen onttrekken (ook) uit de diepere watervoerende pakketten. In onderstaand histogram fig. 15.3 staat het aantal onttrekkingen per watervoerend pakket weergegeven. De som van de onttrekkingen per watervoerend pakket is groter dan het aantal onttrekkingslokaties, omdat sommige onttrekkingen uit meerdere watervoerende pakketten onttrekken.

15.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De aanwezigheid van een (grote) grondwateronttrekking heeft op verschillende manieren invloed op de ruimtelijke planvorming. Een grondwateronttrekking van deze orde vraagt om een gewaarborgde waterkwaliteit hetgeen niet moet conflicteren met het landgebruik binnen het intrekgebied. De aanwezigheid van een onttrekking kan ook van invloed zijn op de kansen voor natuurherstel of -ontwikkeling. En de aanwezigheid van een grondwaterwinning moet meegenomen worden bij stads-



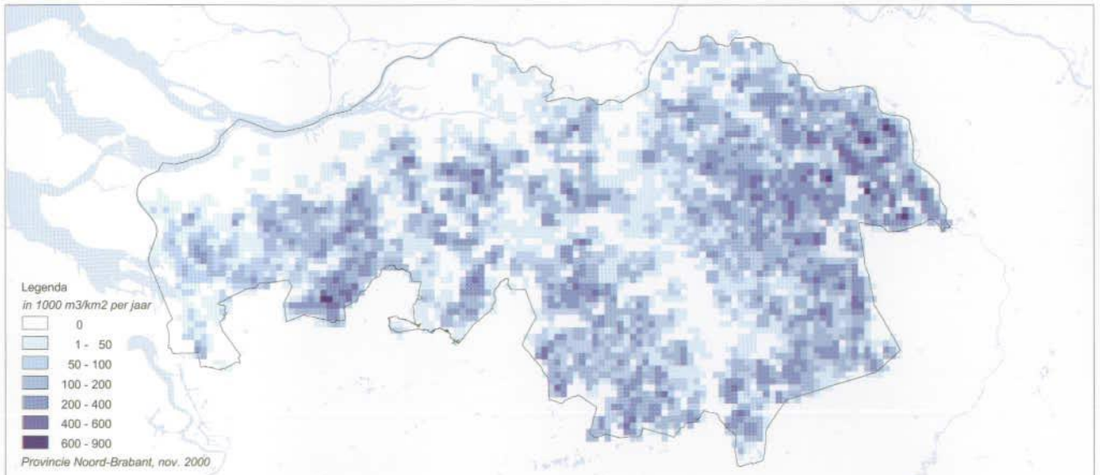
Figuur 15.3 Histogram met het aantal onttrekkingen in de deklaag en de verschillende watervoerende pakketten

ontwikkeling. Het is mogelijk dat de grondwaterstand nu verlaagd is als gevolg van de onttrekking maar dat de grondwaterstand in de toekomst stijgt bij sluiting.

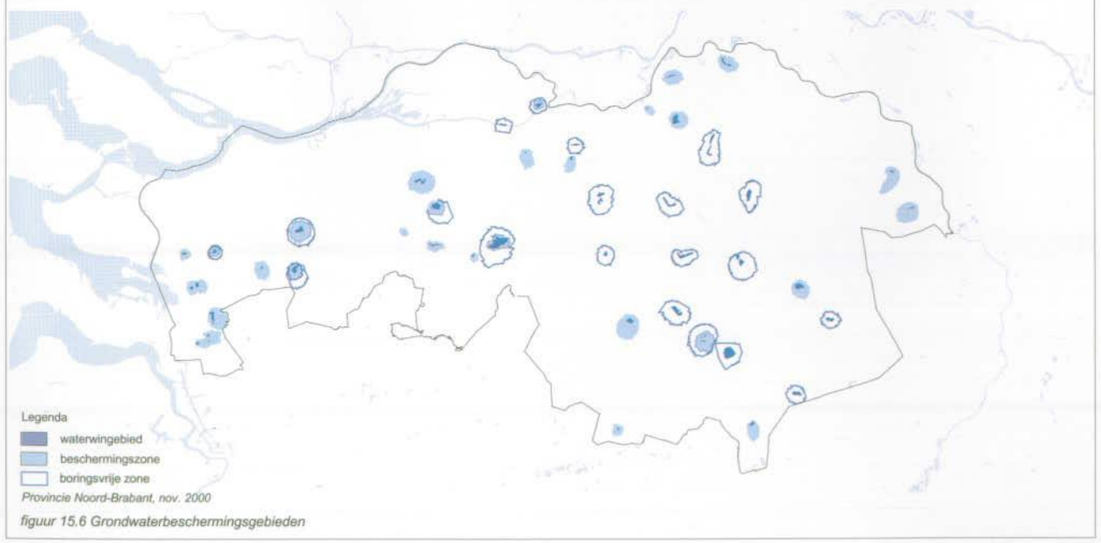
15.3 Korte bespreking kaartbeeld

De kaart toont naast de grondwateronttrekkingen in de Provincie Noord-Brabant ook die van de omgeving. Er is echter nog een grote grondwateronttrekking die het Brabantse watersysteem beïnvloed, namelijk de bemalingen die de honderden meters diepe bruinkoolgroeves in Duitsland droog houden (zie figuur 15.4). Over de invloed van de groeves op het grondwatersysteem van Noord-Brabant is nog weinig bekend, echter de grondwaterwinning is dermate massaal (70-100 miljoen m3/j) dat een beïnvloeding van het zeer diepe grondwater in de Centrale Slenk ook in Noord-Brabant waarschijnlijk is. Wat de verspreiding van grotere onttrekkingen betreft vallen een paar patronen op.
In het noordwesten zijn nauwelijks winningen doordat het grondwater hier vaak brak tot zout is. Ook in het oosten zijn weinig winningen, hier doordat er alleen ondiep zoet grondwater voorkomt dat daarnaast vaak sterk beïnvloed is door vermesting. Concentraties van winningen zijn zichtbaar rond de grotere steden, Eindhoven, Den Bosch, Tilburg en Breda. Op de Brabantse wal komen ook veel onttrekkingen voor. Hier wordt water gewonnen voor de watervoorziening van een groot deel van de provincie Zeeland.
De drie grootste onttrekkingen zijn Pompstation Seppe (14.496.000 m3), Pompstation Gilzerbaan (13.378.200 m3) en Pompstation Oosterhout (11.339.500 m3). Deze onttrekkingen zijn alle drie voor de openbare watervoorziening en zijn op de kaart 15.1 in rood weergegeven.

In Noord-Brabant wordt voor verschillende doeleinden grondwater onttrokken. Voor industriële doeleinden, de openbare drinkwatervoorziening, voor beregening van landbouwgewassen en voor (tijdelijke) bemalingen van bouwputten of bodem/grondwater saneringen. In figuur 15.5 wordt de verspreiding van het aantal bij de provincie geregistreerde beregeningsputten getoond. De liggingen zijn niet precies omdat alleen postcode-informatie beschikbaar is van de eigenaren.
Ten slotte worden in figuur 15.6 de grondwaterbeschermingsgebieden rond de pompputten van de openbare drinkwatervoorziening getoond.



figuur 15.5 Grondwateronttrekkingen landbouw



figuur 15.6 Grondwaterbeschermingsgebieden

Figuur 15.4 De ligging van de bruinkoolgroeves in het sedimentaire bekken waar ook Brabant deel vanuit maakt.

Gilze-Rijenbreuk

Peelrandbreuk

A

A'

15.1 Grondwateronttrekkingen

Openbare watervoorzieningen en industrie

Onttrekkingshoeveelheid (in 1000 m3/jr)

- 0.001 - 1000
- 1001 - 5000
- 5001 - 10000
- 10001 - 15000
- onbekend

- afwaterings- en stroomgebieden
- geologische breuk
- provinciegrens
- water

Onttrekkingshoeveelheid (in 1000 m3/jr)

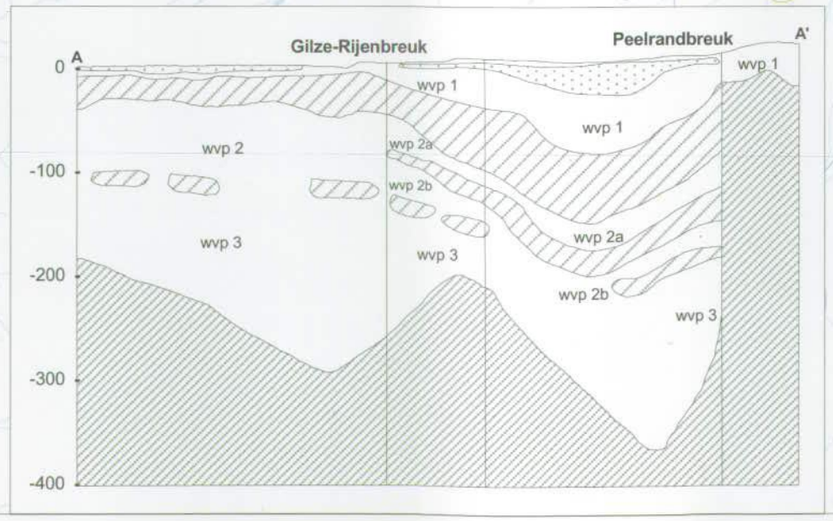
- deklaag
- watervoerend pakket 1
- watervoerend pakket 2
- watervoerend pakket 3

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Noord-Brabant - Waterschappen 1998, Limburg - Prov. Limburg 1998, België - RWS/RIZA 1993
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst Emmen

Presentatieschaal: > 1:200.000

Datum: nov. 2000

0 5 10Km.



16 Kwel- en infiltratiegebieden

16.1 Kaartblad: kwel en infiltratiegebieden en slootkwel

Met behulp van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), de stijghoogte voor april 1995 in het eerste watervoerend pakket (REGIS), de grondwatertrappen van de bodemkaart (STIBOKA) is een kwel- en infiltratiegebieden kaart vervaardigd. In aanvulling hierop is op vergelijkbare wijze aan de hand van de ligging van greppels en sloten en het AHN de "slootkwel" (kwel die in sloten terechtkomt) bepaald.

In de kaart worden twee typen kwel weergegeven:

- Kwel, op basis van het verschil tussen de freatische voorjaarsgrondwaterstand en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.
- Slootkwel, op basis van het verschil tussen het slootpeil en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.

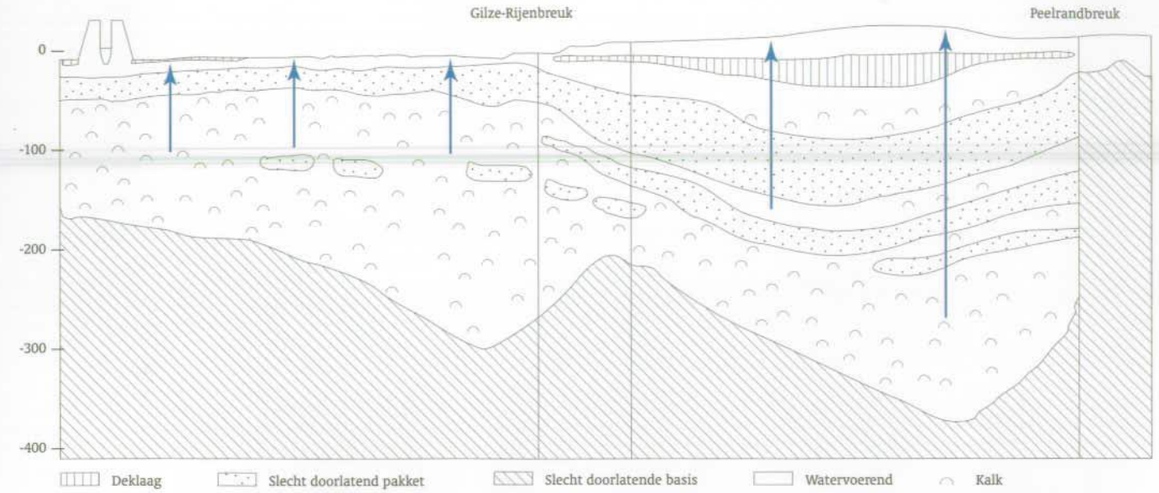
De vervaardiging bestond uit de volgende stappen:
De grondwatertrappen van de bodemkaart zijn omgerekend naar een gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand t.o.v. NAP. Vervolgens is het verschil bepaald tussen de stijghoogte (april 1995) in het eerste watervoerend pakket en de gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand. Voor het zandgebied van West-Brabant is de stijghoogte van het wvp2 gebruikt. Aan de hand van de verdeling van de stijghoogteverschillen zijn de kwelgebieden bepaald. Voor de gekarteerde kwelgebieden geldt hier dat het stijghoogteverschil groter dan 50 cm is. Deze aanname is gebaseerd op kaartvergelijkingen. Gebieden (met name stedelijk gebied) waaraan met de hierboven beschreven methode geen kwel of infiltratie toegekend kon worden, zijn aangevuld aan de hand van de historische natte gebieden en expert judgement. Tenslotte is met behulp van de kaart met greppels en sloten op een vergelijkbare wijze de kwel die in sloten terechtkomt bepaald. Verder is er een kaartlaag aangemaakt met de grote rivieren en kanalen. Op basis van de kwel- en infiltratiegebieden kaart is bepaald waar deze infiltrerend dan wel drainerend zijn. Voor een uitgebreidere beschrijving van de vervaardiging van de kwel- en infiltratiegebieden, wordt verwezen naar bijlage A. Deze kaart is als een aparte GIS bestand beschikbaar.

Grondwaterstand (freatisch niveau)
De hoogte t.o.v. een referentieniveau van een punt waar het grondwater een drukhoogte gelijk nul heeft (dit komt bij benadering overeen met het waterniveau dat zich na enige tijd in een ondiep open boorgat instelt).

Stijghoogte
De som van drukhoogte en plaatshoogte. Deze grootte kan worden gemeten met een grondwatermeetpunt waarvan de hoogte t.o.v. een refentievlak bekend is. Het resultaat heeft betrekking op de plaats waar het filter is gesteld (over stijg hoogte wordt in het algemeen gesproken als men filters onder slecht doorlatende pakketten heeft geplaatst)

Drukhoogte
De hoogte van de waterkolom die een druk levert gelijk aan de waterdruk.

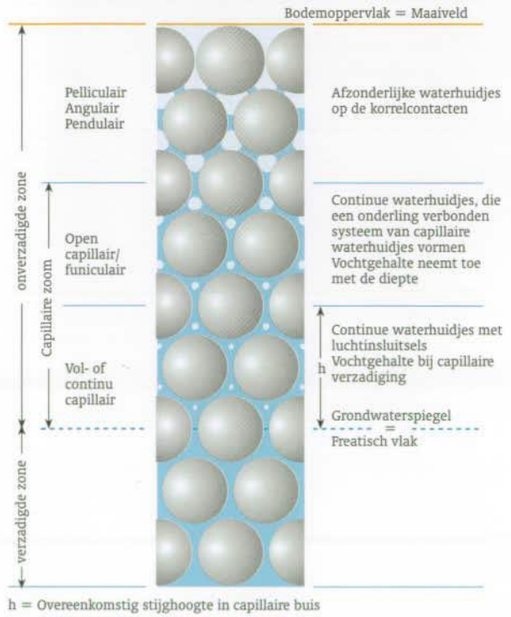
Plaatshoogte
Hoogte van een deeltje grond of water t.ov. een referentieniveau.



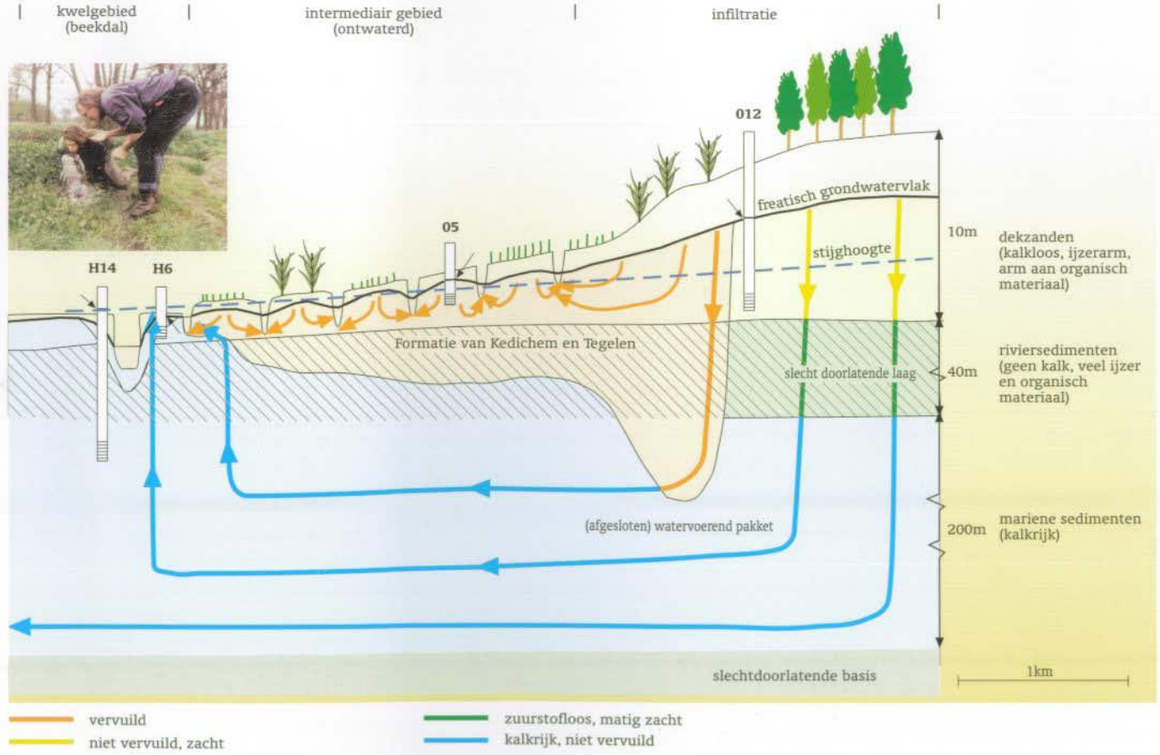
Figuur 16.2 De minimale herkomstdiepte van de kwel in kaart 16.

16.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De kaart is bruikbaar voor ruimtelijke planning, het ontwerpen van meetnetten etc. De ligging van kwelgebieden is van belang voor de natuurontwikkeling of -beheer en ook bij bouwen. Het zal niet de eerste keer zijn dat na bouwactiviteiten wateroverlast ontstaat omdat men niet op de hoogte was van het feit dat men met een kwelsituatie te maken had. Ter aanvulling hierop is een zogenaamde spanningswater kwelkaart vervaardigd welke gebiedsdekkend een inschatting maakt van het stijghoogteverschil over de deklaag. Deze kaart is bruikbaar bij het ontwerpen van bouwputten of het bouwen op heipalen. Met name bij het vervaardigen van heipalen met behulp van de mortelschroefmethode is het belangrijk om het stijghoogteverschil te kennen (zie kaart 17). Bij duurzame planning stelt elke eenheid zijn specifieke eisen aan het grondgebruik. In infiltratiegebieden moet de grond-wateraanvulling zoveel mogelijk in tact blijven of worden herstelt. In stedelijk gebied zijn daar talrijke mogelijkheden voor (wadi's, gescheiden riool met infiltratie etc). Op de infiltratiegebieden moet ook zeer voorzichtig met de belasting van de bodem aan het oppervlak worden omgegaan. Vervuilingen komen via het wegzakken van het water snel in diepere grondwatervoorraden terecht. De intermediaire gebieden hebben een grote invloed op de afwatering. Het zijn de gebieden die grotendeels agrarisch gebruikt worden en bezitten daardoor een slechte waterkwaliteit. In deze gebieden moet aandacht worden besteed aan een reconstructie van het drainagesysteem op een wijze dat de grondwaterstand in de zomer minder daalt en piekafvoeren wordt verminderd. Bij bestudering van de kaart valt op dat een zone langs De Naad van Brabant bij Weimeren, ten noordwesten van Breda niet als kwelgebied is geïdentificeerd. In werkelijkheid is dit wel het geval. Een recent grondwatermeetpunt van de provincie bevestigt dit. In het kader van het project Gewenst Grondwater en oppervlaktewater Regieme (GGOR) is voor de provincie ook een zogenaamde referentiekwelkaart gemaakt. Hiervoor zijn naast stijghoogtegegevens ook bodemkarakteristieken, maaiveldgradiënten en historische kenmerken gebruikt. De kaart geeft aan waar in het verleden kwel voorkwam (zie CD-Rom).



Figuur 16.1 De zones van capillair vocht en van grondwater in de bodem. (Dufour, 1999)



Figuur 16.3: Een grondwatersysteem geschematiseerd (West-Brabant situatie). In de kwelgebieden kan men artesische putten slaan.

16 Kwel- en infiltratiegebieden

kwel- en infiltratiegebieden in stedelijk gebied en uiterwaarden
- kwel
- intermediair
- infiltratie

kwel- en infiltratiegebieden
- kwel
- intermediair
- infiltratie

- slootkwel

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing

rivieren en kanalen
- infiltrerend
- drainerend

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

17 Gebieden met spanningswater

17.1 Inleiding

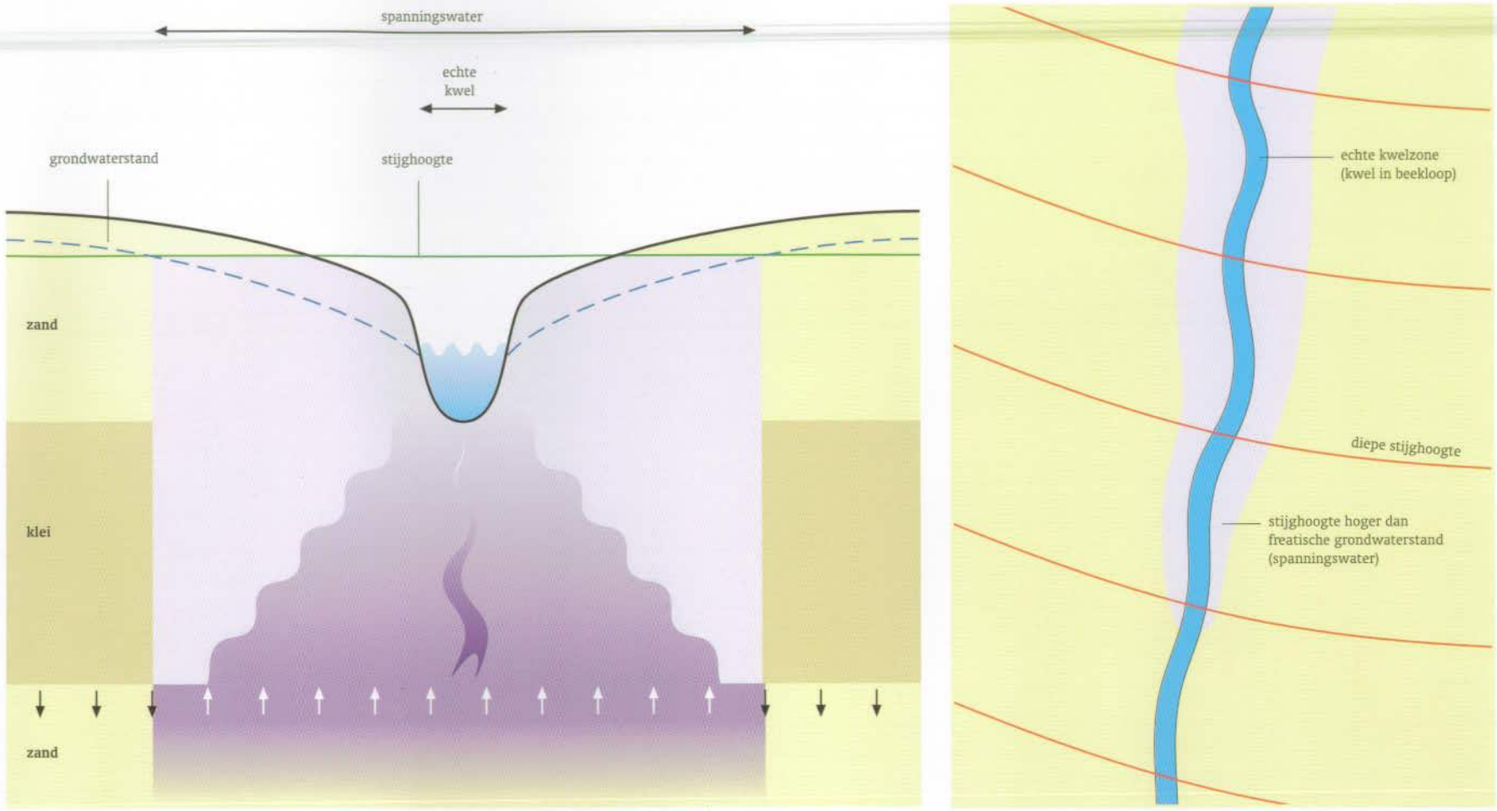
Deze kaart geeft de gebieden weer waarbij de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket hoger is dan de freatische voorjaarsgrondwaterstand, waardoor er sprake is van een opwaartse grondwaterbeweging. De kaart is vervaardigd met behulp van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), de stijghoogte voor april 1995 in het eerste watervoerend pakket (REGIS) en de grondwatertrappen van de bodemkaart (STIBOKA). De door het TNO-NITG uitgevoerde bewerkingen voor vervaardiging van het kaartbestand met de gebieden met spanningswater (kweldruk) onder de deklaag, staan beschreven in bijlage A.

17.2 Het verschil tussen spanningswater en kwel

In figuur 17.1 wordt getoond hoe de ruimtelijke begrenzing van gebieden met spanningswater verschilt met de zone waar werkelijk kwelwater uittreedt. Langs de beekdalen of aan de voet van dekzandruggen komt het vaak voor dat wel spanningswater aanwezig is maar er geen kwelwater aangetroffen wordt. De begrenzing van de zone waar werkelijk kwel uittreedt is op basis van gis en/of rekenmodellen moeilijk te bepalen. In de kwelkaart in de systemenkaart is dit proefondervindelijk ondervangen door een marge van 50 cm te nemen. Dus pas als het stijghoogteverschil groter is dan 50 cm wordt daar kwel aangeduid. In de hier gepresenteerde spanningswaterkaart zijn alle gridcellen waar de stijghoogte hoger is dan het freatisch vlak aangeduid.

17.3 Toepassingsmogelijkheden

Deze kaart kan als hulpmiddel voor bouwwerkzaamheden worden gebruikt (gewaarschuwd wordt dat de informatie indicatief is en dat geen rechten kunnen worden bedongen). Op basis van de kaart kunnen risico's worden ingeschat voor bijvoorbeeld de aanleg van bouwputten of het installeren van heipalen. Het zal duidelijk zijn dat bij het verlagen van de grondwaterstand in de bouwput de druk van het spanningswater zal toenemen. In een Brabantse gemeente hebben zich problemen voorgedaan omdat men heeft getracht heipalen te injecteren met behulp van de betonmortel methode. Hierbij werd een gat door de kleilaag geboord, vervolgens beton geïnjecteerd en ten slotte de stalen bewapening ingebracht. Doordat hier spanningswater aanwezig was werd het beton kort hierna langs de bewapening naar boven gestuwd.



Figuur 17.1 Het verschil tussen spanningswater en de 'echte' kwelzone.

17 Gebieden met spanningswater

kweldruk onder de deklaag

kweldruk (in cm.)
- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 150
- 150 - 200
- 200 - 250
- > 250
- niet gedefinieerd

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing
- geologische breuk

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron geologische breuken: LHS (1996)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

18 Kweltypen en bijbehorende profielen

18.1 Inleiding

Deze kaart geeft de kwelgebieden van kaart 16 weer, maar dan onderverdeeld naar kweltypen afhankelijk van:

- of er sprake is van kwel aan maaiveld of slootkwel
- het zandgebied of poldergebied
- specifieke situatie (breuken, boezem-polder, rabatten)

In werkelijkheid bestaan er meer kweltypen dan er op de kaart zijn weergegeven. Deze konden op basis van de huidige informatie niet altijd goed worden begrensd.

Zandgebied

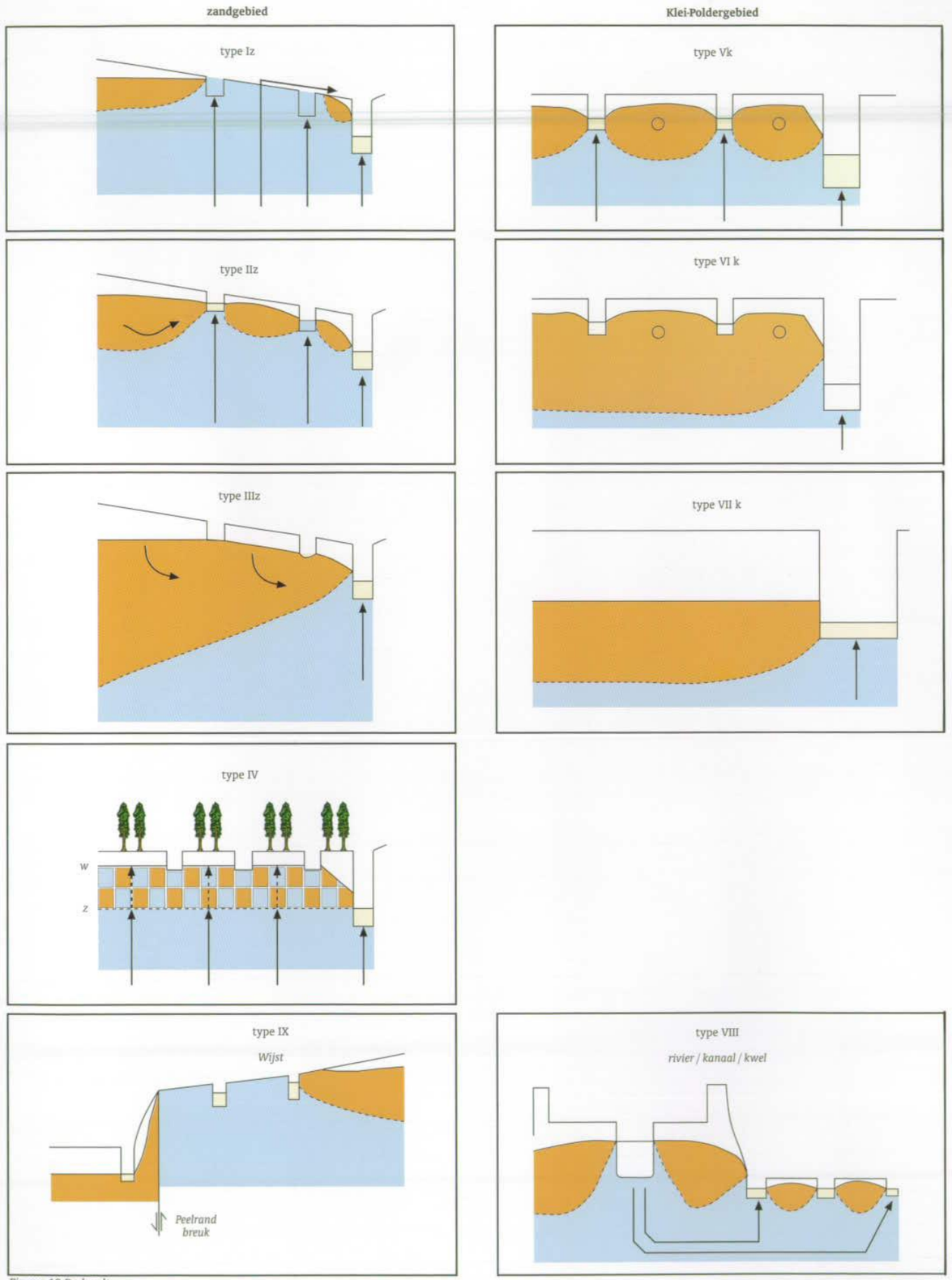
Het voor de kwelafhankelijke standplaats optimale kweltype (type Iz) houdt in dat het kwelwater over maaiveld wordt afgevoerd. Hierdoor kan regenwater niet infiltreren en staat de wortelzone alleen onder invloed van grondwater. Dit kweltype kwam vroeger veel voor maar is nu zeer zeldzaam. Alleen langs het Merkske, in de Urkhovense Zeggen (Kleine Dommel) en langs de Dommel bij de Malpiebeemden komt dit type nu nog voor. In de eerste twee gevallen is deze zone
grotendeels met riet begroeit en als hooigrasland verlaten. Bij de Malpiebeemden bevindt zich een broekbos.
Het kweltype IIz komt op meer plaatsen voor maar is ook zeldzaam. Het is veelal een degeneratie-stadium van het eerste type. De kwel beïnvloedt direct de greppels en omgeving. Het komt ook voor dat de tussen de greppels gelegen graslanden in de zomer, nadat de regenwaterlens is verdampt/afgevoerd, via capillaire werking toch beïnvloed worden door kwelwater.
Het type IIIz is het volgende degeneratiestadium en is veel voorkomend. Bekende voorbeelden zijn de Aa of Weerijs en de Smalbroeken (Kampina). Hier is duidelijk sprake van kwel maar treedt deze direct in de waterloop uit. Dit onbeïnvloede grondwater gaat dan door menging met het vervuilde beekwater verloren.
Twee typische gevallen op de zandgronden zijn het bos-rabbatten-type (IV) en wijst (type IX). In het rabatten-type wordt een belangrijk deel van het neerslagoverschot in de winter afgevoerd. In de droge periode kan het bos wel optimaal verdampen omdat in de leemrijke bodems grondwater (kwel) capillair kan opstijgen. Deze bossen staan o.a. bekend om het voorkomen van kalkindicators als bijvoorbeeld de Slanke Sleutelbloem. Bekende voorbeelden zijn het Velderschbos (Boxtel) en het Liesbos (Breda). De wijstgronden komen voor langs de breuken op de Peelhorst. Afstromend grondwater wordt hier geremd door een verticale weerstand die is veroorzaakt door de breukwerking. Bijzonder is dat hier aan de hoge kant sprake is van kwel en dat aan de lage kant van de breuk de gronden droog zijn.

Klei-poldergebied

Kwel in het poldergebied komt alleen in de waterlopen voor. In de binnenpolders nog in greppels (V - VIIk), in de meer rationeel georganiseerde kleipolders hoofdzakelijk in de diepe poldervaarten.
In poldergebieden zijn kweltypen samen gevoegd omdat onvoldoende informatie beschikbaar was om verder onderscheid te maken. Een bijzonder type (VIII), dat plaatselijk ook op de zandgronden voorkomt, is het door oppervlaktewater gevoede kweltype. Dit komt voor langs de rivieren en op plaatsen waar de Kempense kanalen lage zones passeert zoals beekdalen (Urkhovense Zeggen, De Opslag).

18.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

Op basis van de kaart wordt duidelijk hoe het kwelwater in relatie staat met het oppervlak. Bij ontwikkeling van gebieden kan hierop worden ingespeeld. Als bijvoorbeeld veel kwel alleen onder de waterloop omhoog komt kan worden gezocht naar aanpassingen om dit water alsnog ten bate van de natuur te laten komen.



Figuur 18 De kweltypen.

18 Kweltypen

- slootkwel
- Iz
- IIz
- IIIz
- IV
- Vk-VIIk en VIII
- IX
- niet gedefinieerd

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing
- geologische breuk

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron geologische breuken: LHS (1996)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

19 Relaties en stroomrichtingen tussen infiltratie en kwel

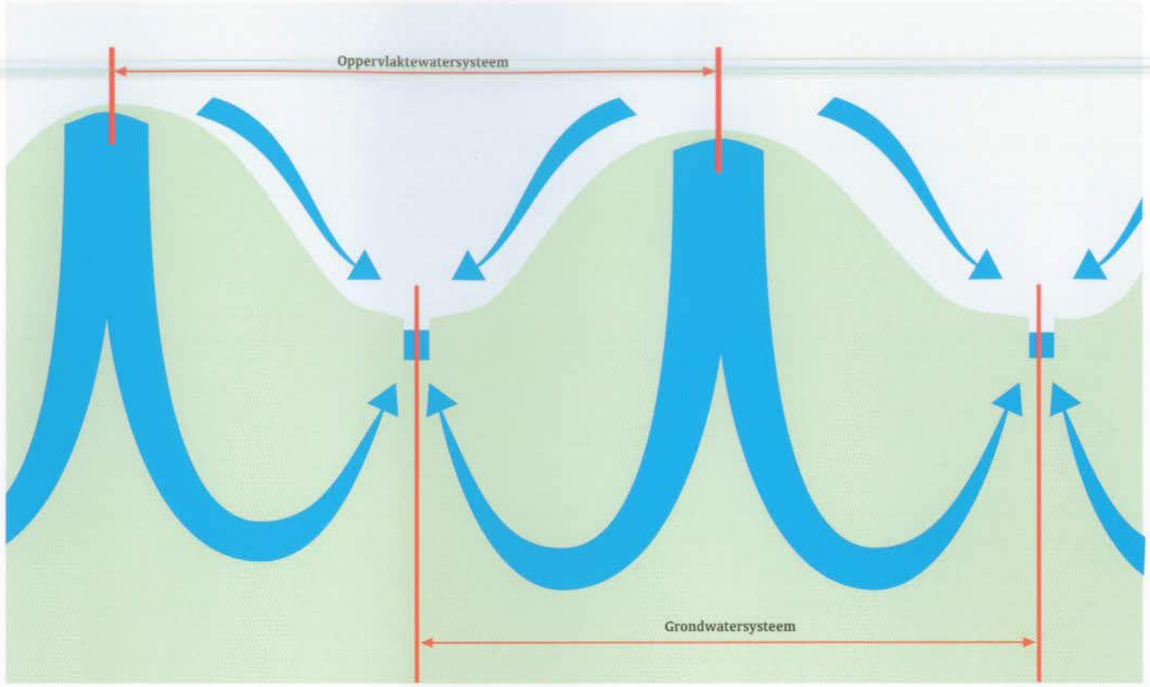
Op deze kaart zijn de kwel- en infiltratiegebieden (kaart 19) weergegeven en de grenzen van in regionaal opzicht bij elkaar horende kwel- en infiltratiegebieden, de zogenaamde (grondwater)systemen (figuur 19.1). Dit beeld is afkomstig uit de Landelijke Hydrologische Systeemanalyse voor provincie Noord-Brabant (Stuurman et al.,1996).
De lokale systemen zijn op de kaart aangegeven met pijlen. Dit is alleen gedaan voor die lokale systemen, waarvan op basis van literatuur bekend is dat deze bestaan.

19.1 Korte bespreking kaartbeeld

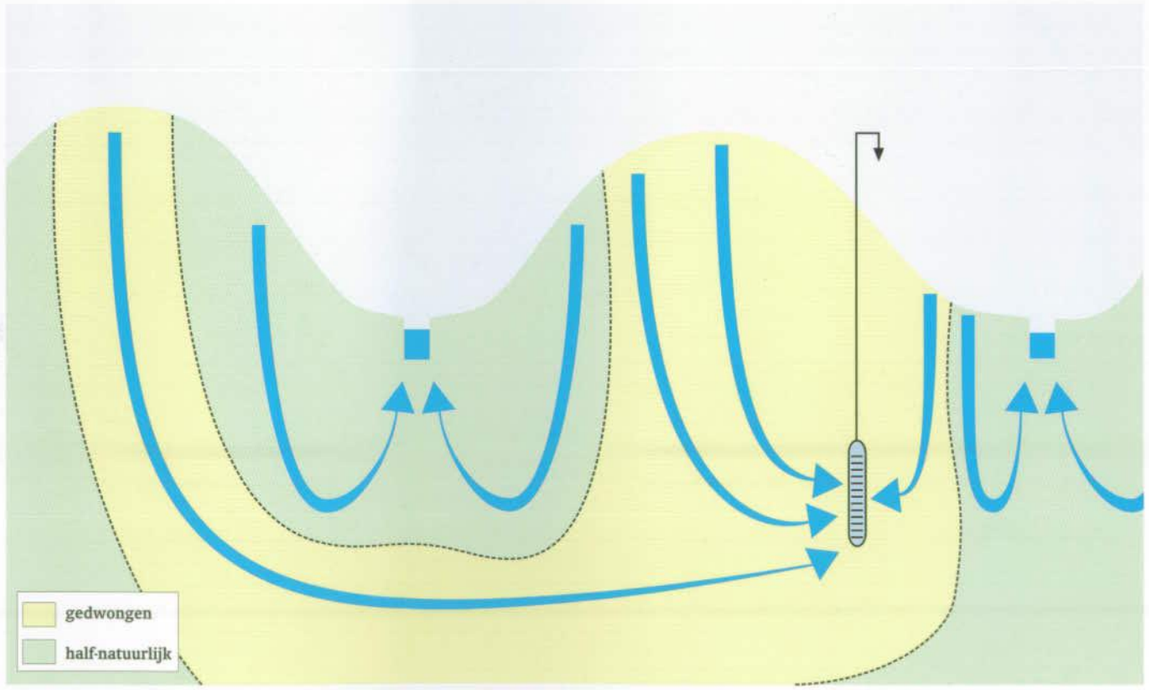
De kaart toont de relaties tussen infiltratie- en kwelgebieden. De pijltjes symboliseren de richting van de grondwaterstroming. De systeemgrenzen bestaan meestal uit kwelgebieden (rivier- en beekdalen). Voor de door rivierwater gevoede systemen worden de grenzen vaak gevormd door diepe afwateringskanalen. In samenhang met deze locale systemen komen ook regionale en grensoverschrijdende supra-regionale systemen voor. Deze zijn niet aangeduid. Zij bevinden zich meestal onder de hier gekarteerde locale systemen. Plaatselijk dagzomen ze in kwelgebieden. Deze kwel wordt vaak 'diepe kwel' genoemd en wordt gekenmerkt door ouderdom en een hoog ijzer- en calciumgehalte.
Bij het gebruik van de kaart wordt gewaarschuwd dat het hier de regionale 'natuurlijke' watersystemen betreft. In werkelijkheid zijn door ondermeer grondwateronttrekkingen veel zogenaamde 'gedwongen' watersystemen ontstaan. Vaak liggen deze 'gedwongen' systemen genest binnen de 'natuurlijke' systemen. In figuur 19.2 is het verschil zichtbaar gemaakt.

19.2 Gebruiksmogelijkheden

De kaart kan gebruikt worden voor ruimtelijke planning op streekschaalniveau.



Figuur 19.1 De begrenzing van watersystemen (bron A.Mol).



Figuur 19.2 Gedwongen- en (half) natuurlijke grondwatersystemen.

19 Relaties en stroomrichtingen tussen infiltratie en kwel

kwel- en infiltratiegebieden in stedelijk gebied en uiterwaarden
- kwel
- intermediair
- infiltratie

kwel- en infiltratiegebieden
- kwel
- intermediair
- infiltratie

- slootkwel

- provinciegrens
- weg
- weg in ontwerp/aanleg
- op- en afrit
- spoorweg
- water
- bebouwing

- kwel met locale herkomst
- systeemgrenzen

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron systeemgrenzen: LHS (1996)
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:100.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

20 Historische natte gebieden

20.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad
De historische natte gebieden-kaart is gebaseerd op de Topografische en Militaire kaart van 1830-1855. Hieruit zijn de gebieden geselecteerd die gekenmerkt worden door drassige omstandigheden, dus gebieden met het gehele jaar door een ondiepe tot zeer ondiepe grondwaterstand.
Naamgeving zoals "Broek", "Broekbos", "Hooilanden" e.d. zijn kenmerkend voor drassige gebieden rond 1850. Tevens zijn sloot-dichtheden, ligging van moerassen, plassen en vennen en veen-voorkomens gebruikt om de natte gebieden af te bakenen. Hiertoe behoren ook boekweitpercelen. Boekweit werd hier gekweekt op gedeeltelijk ontwaterde en afgebrande venen of heide. Rond 1900 waren deze percelen weer in gebruik als hooi-landen.

De kaart geeft een beeld van de natte gebieden in Noord-Brabant in een tijd waarin er nog nauwelijks sprake was van beïn-vloeding van de waterhuishouding door de mens. Deze kaart is voor het rapport gecombineerd met de Brabantse wegenkaart uit 1904. Op deze combinatiekaart is tevens de huidige bebouwing opgenomen (topkaart 1:250 000)

20.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden
De kaart kan dienen als referentie en uitgangspunt voor het natuurherstel en het herstel van oorspronkelijke watersystemen. Ook is op de uitsnedes goed te zien dat de huidige bebouwing veelal in historisch natte gebieden is gelegen.
In deze atlas is de kaart bijvoorbeeld gebruikt als basis van de historische inundatiegebiedenkaart. In het onderzoek van de Gewenste Grondwatersituatie Noord-Brabant heeft de kaart als basis gediend voor het bepalen van de begrenzing van historische kwelgebieden.

20.1 Historische natte gebieden

op basis van millitaire kaart 1830-1855

- Boekweitpercelen
- Broekbos
- Graslanden met sloten, hooigrasland
- Hoogveen
- Moeras
- Natte heide
- Open water
- Overig
- Schorren en gorzen
- Stad
- Uiterwaarden
- Wadden, slikken en platen

- spoorwegen
- tramwegen langs kunstwegen
- kunstwegen
- bevaarbare rivieren, kanalen
- kleine rivieren en waterlopen
- huidige provinciegrens
- contour huidige bebouwing

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Topografische dienst, Emmen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Brabantse wegenkaart 1904

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

EVENBERGEN
Terheijden
OOSTERHO
Zwartenberg
Hoevenind
Teteringen
Beek
Leur
BREDA
Dorst
Liesbosch
Princenhage
Ginneken
Molensch
Etten
Bavel
Ulvenhout
ndel
MARK
DE LEURSCHE HAVEN
Weerijs
Mark

20.2a Detailopname historische natte gebieden

op basis van millitaire kaart 1830-1855

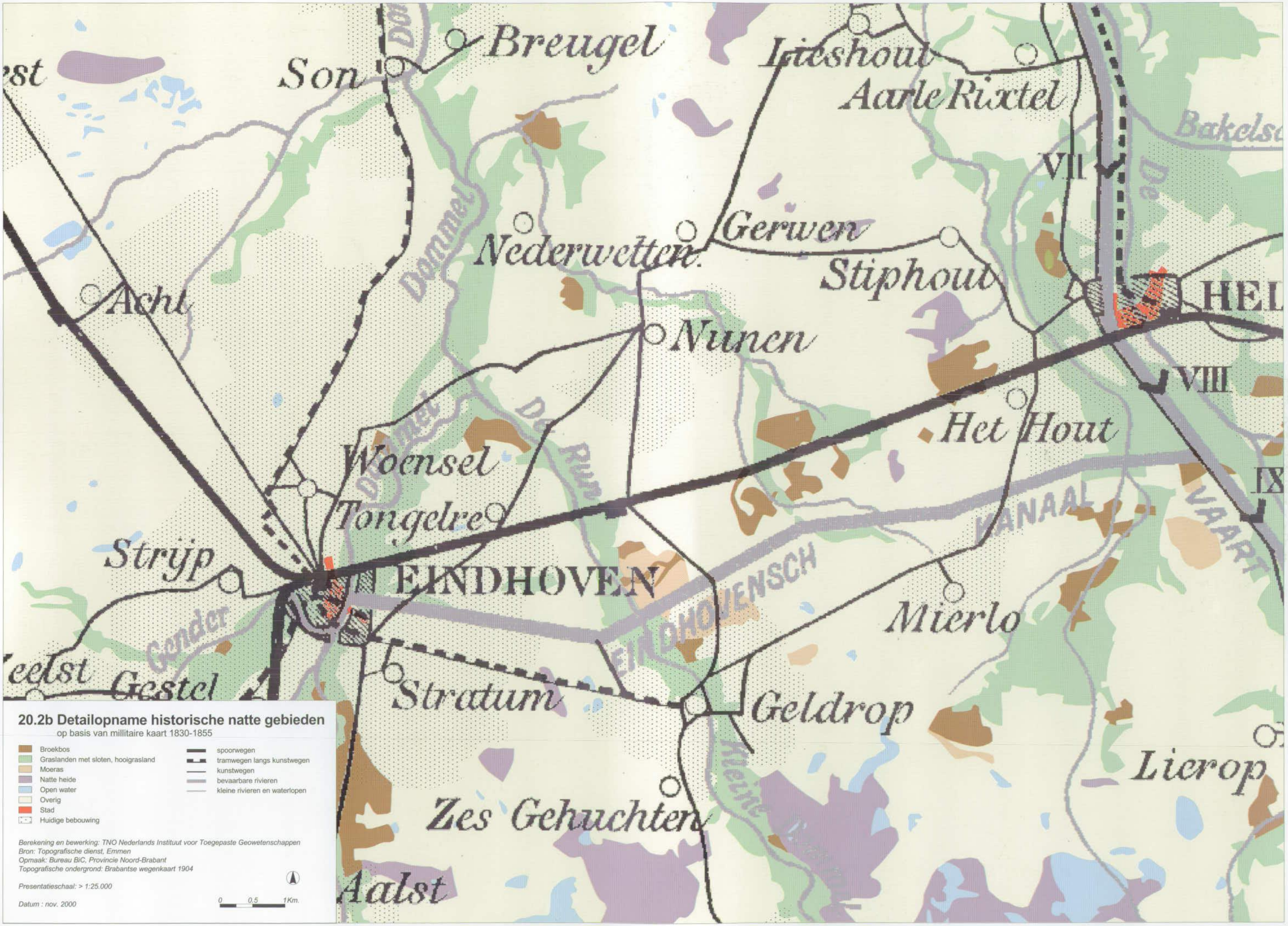
- Broekbos
- Graslanden met sloten, hooigrasland
- Moeras
- Natte heide
- Open water
- Overig
- Stad
- Huidige bebouwing
- spoorwegen
- tramwegen langs kunstwegen
- kunstwegen
- bevaarbare rivieren
- kleine rivieren en waterlopen

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Topografische dienst, Emmen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Brabantse wegenkaart 1904

Presentatieschaal: > 1:25.000

Datum : nov. 2000

0 0,5 1Km.



Breugel
Son
Lieshout
Aarle Rixtel
Bakelsc
VII
De
Dommel
Nederwetten
Gerwen
Stiphout
HEL
Acht
Nunen
VIII
Het Hout
Woensel
Tongelre
IX
KANAAL
VAART
Strijp
EINDHOVEN
EINDHOVENSCH
Mierlo
Gender
Gestel
Stratum
Geldrop
Lierop
Zes Gehuchten
Aalst
20.2b Detailopname historische natte gebieden
op basis van millitaire kaart 1830-1855
Broekbos
Graslanden met sloten, hooigrasland
Moeras
Natte heide
Open water
Overig
Stad
Huidige bebouwing
spoorwegen
tramwegen langs kunstwegen
kunstwegen
bevaarbare rivieren
kleine rivieren en waterlopen
Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: Topografische dienst, Emmen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Brabantse wegenkaart 1904
Presentatieschaal: > 1:25.000
Datum : nov. 2000
0 0.5 1Km.

21 Grensvlak zoet en brak grondwater

21.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad
Deze kaart is afkomstig uit REGIS, het REgionaal Geohydrologisch InformatieSysteem (Informatieloket TNO-NITG). Het zoet/zout-grensvlak (grens: chloride gehalte > 150 mg/l) is vastgelegd in een grid met cellen van 500 x 500 meter en geeft een globaal beeld van de variatie in de diepteligging van het grensvlak. Lokale afwijkingen nabij pompstations zijn niet zichtbaar.

De kaart is gebaseerd op gegevens van grondwaterkaarten, geo-elektrische onderzoeksrapporten, boorgatmetingen en waterkwaliteitsgegevens. De diepte tot het zoet/zout grensvlak is voornamelijk op basis van geo-elektrische onderzoek van TNO-NITG bepaald.

21.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden
Kennis over de diepteligging van het zoet-zout grensvlak is noodzakelijk bij het installeren van putten voor agrarisch of industrieel gebruik. Dit geldt voor installaties waar het grondwater ook daadwerkelijk wordt gebruikt voor bijvoorbeeld veedrinkwater, beregening, viskwekerijen etc. maar ook voor gesloten systemen zoals koude- of warmteopslag.

21 Grensvlak zoet en brak grondwater

(Cl-gehalte: 150 mg/l)

meter onder maaiveld

-50 - 0	provinciegrens
-100 - -50	weg
-150 - -100	weg in ontwerp/aanleg
-200 - -150	op- en afrit
-250 - -200	spoorweg
-300 - -250	water
-350 - -300	bebouwing
-400 - -350	geologische breuk
-450 - -400	
-500 - -450	
-550 - -500	
-600 - -550	

Berekening en bewerking: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Bron: TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen
Opmaak: Bureau BiC, Provincie Noord-Brabant
Topografische ondergrond: Topografische dienst, Emmen

Presentatieschaal: > 1:200.000

Datum : nov. 2000

0 5 10 Km.

Literatuurlijst

CHO TNO (1988). Van Penman naar Makkink. Een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. Rapport No. 19.

De Wit, A.J.W. (1999). Basismateriaal LGN3-plus (word-document). Alterra, 1999.

Dufour, F.C. (1998). Grondwater in Nederland. Onzichtbaar water waarop wij lopen. TNO-NITG, Delft. ISBN:90-6743-536-8

Kuijlaars, E.A.C., Teeuw, M.P., Van Eijnsbergen, C.(1999). Kwaliteitsdocument LaserAltimetrie. Provincie Noord-Brabant oostelijk deel. Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat Delft, 1999.

Leenders, K.A.H.W. (1989). Verdwenen venen. Pudoc Wageningen 1989

Van Heerd, R.M. & Van 't Zand, R.J. (1999). Produktspecificatie AHN. Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat Delft, 1999.

Provincie Noord-Brabant, 1998. Waterhuishoudingsplan 2. Samen werken aan water.

Topgrafische Dienst Emmen (1998). Produktbeschrijving Top10vector.

KNMI (1995). Jaaroverzicht van het weer in Nederland. Jaar 1994. RWS, De Bilt, 91e jaargang nummer 13.

KNMI (1996). Jaaroverzicht van het weer in Nederland. Jaar 1995. RWS, De Bilt, 92e jaargang nummer 13.

RIZA (1995). Rapportage met betrekking tot de grondwaterwinning in de grenszone van België en Nederland. Benelux werkgroep water.

Sneep, J., Van Hoof, J.P.C.M., Koolhof, G.J.L., Poppema, S.H. (1996). "Atlas van historische vestingwerken in Nederland. Noord-Brabant". Red. de Studiecommissie van de stichting Menno van Coehoorn. Walburg Pers.

Stuurman, R.J., Witte, J.Ph.M., Van der Meijden, R., Groen, C.L.G. (September, 1996). Landelijke Hydrologische Systeemanalyse, Deelrapport 5. Deelgebied Noord-Brabant/Limburg. De regionale grondwaterstromingsstelsels rond het Kempisch Plateau. de Brabantse dekzandruggen en de Limburgse maasterrassen. TNO-rapport: GG-R-96-66(B), TNO-GG te Delft,

Bijlage A Technische beschrijving kaartbestanden

5 Maaiveldhoogte – AHN
In het door de provincie Noord-Brabant aangeleverde grid met resolutie van 100 x 100 meter zaten met name in Oost-Brabant nog gridcellen met 'NODATA', d.w.z. gridcellen zonder een waarde voor de maaiveldhoogte.

Door het NITG-TNO zijn de gridcellen zonder maaiveldhoogten ingevuld met behulp van het Arc/info-commando 'FOCALMEAN'. Daarbij wordt voor elke gridcel zonder maaiveldhoogte een waarde bepaald door voor een bepaald zoekgebied rondom deze gridcel de maaiveldhoogten te middelen. Het zoekgebied had een grootte van 300 x 300 meter. Voor het opvullen van gebieden met meerdere aaneengesloten gridcellen zonder maaiveldhoogte, is de procedure een aantal achtereenvolgende keren (in totaal 4 keer) herhaald.

Het hieruit voortkomende provinciedekkende maaiveldhoogtebestand is gepresenteerd en gebruikt als basisbestand voor andere kaarten.

6 landgebruik
Het eerste kaartblad geeft het landgebruik volgens LGN3-plus weer in een grid met resolutie van 25 x 25 meter. Daarvoor is de standaard legenda behorende bij het bestand gebruikt.
Het bestand is ten behoeve van dit project door bureau BIC van de provincie Noord-Brabant aangeleverd.
Het tweede kaartblad is op basis van het LGN3-plus bestand samengesteld door een aantal klassen samen te nemen. Met het grid-commando 'CON()' zijn de gridcellen met de te groeperen waarden geselecteerd en is hieraan een waarde voor de nieuwe klasse toegekend. De wijze waarop de nieuwe klassen zijn samengesteld is toegelicht in tabel 2.

7 Hoofdwaterlopen
De hoofdwaterlopen in de provincie Noord-Brabant zijn ongewijzigd overgenomen van de plankaart van het tweede waterhuishoudingsplan.

Het Hollandsch Diep en de Biesbosch zijn geselecteerd uit het top10vectorbestand. Daarbij is in Info-tabel: region.water op de tdn-codes geselecteerd die grotere oppervlaktes met water weergeven. Dit zijn de codes 6102 en 6103. De geselecteerde 'regions' zijn in een nieuw bestand gezet met het Arc/Info-commando 'PUT'.

De waterlopen en kanalen in België zijn gedigitaliseerd van de kaart "Biologische waterkwaliteit in Vlaanderen in 1989, 1990, 1991 en 1992' en van de Vlaamse Milieumaatschappij, schaal 1: 325.000.

De theoretische waterlopen zijn berekend op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) met een resolutie van 100 x 100 meter. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de hydrologische modelleringskit in Arc/Info.
De gehele procedure bestaat uit de volgende stappen:

1. Opvullen van "depressies" in het maaiveldhoogtegrid met het grid-commando "FILL"
2. Aanmaken van een grid dat per cel de richting van de steilste helling aangeeft. Dit wordt bepaald op basis van de maaiveldhoogte van de omliggende cellen met het grid-commando "FLOWACC"
3. Aanmaken van een grid dat per cel aangeeft uit hoeveel omliggende cellen deze water ontvangt. Dit wordt bepaald op basis van het grid van stap 2 met het commando "FLOWDIR". Deze procedure berekent de cumulatieve toestroom van water uit cellen die hellingopwaarts gelegen zijn.
4. Selecteren van de gridcellen die zoveel water ontvangen uit omliggende cellen dat er sprake is van een hoofdwaterloop. De grens hiervoor is gesteld op 150 cellen (d.i. dus 150 hectare!).
5. Omzetten van dit grid naar een lijnenbestand met waterlopen met het grid-commando "STREAMS" Voor uitgebreidere informatie over deze procedure wordt verwezen naar de Arc/Info-documentatie.

8 Sloten en greppels
De sloten en greppels zijn geselecteerd uit het top10vectorbestand. In de Info-tabel: route.water is op de tdn-codes geselecteerd die de lijnobjecten van de entiteit water weergeven. Voor de greppels zijn dit de codes 6000 en 6002,
voor de sloten zijn dit de codes 6010, 6012, 6020, 6022. De geselecteerde lijnen zijn in een nieuw bestand gezet met het Arc/Info-commando 'PUT'.

9 Slootdichtheid; gemiddelde slootlengte per hectare
De aanmaak van deze kaart bestond uit de drie stappen:

1. Snijden van het lijnenbestand met de sloten en greppels met een polygonenbestand met cellen van 100 x 100 meter.
2. Optellen van de lengtes van alle lijnen binnen elke cel van 100 x 100 meter
3. Stedelijk gebied uit het bestand "clippen"
4. Middelen van deze slootlengtes per hectare voor een cirkelvormig gebied met een straal van 500 meter.

Eerst is een polygonenbestand aangemaakt met cellen van 100 x 100 meter. Het bestand met sloten en greppels is gesneden met het polygonenbestand met het Arc/Info-commando "intersect". Dit resulteerde in een lijnenbestand waarbij aan elk lijnstuk een "id" hangt die correspondeert met een cel van 100 x 100 meter uit het polygonenbestand.

De "id" corresponderend met een cel uit het polygonenbestand en de lengte van de lijnstukken zijn via het tables-commando "unload" in een tekstbestand gezet. Met een AWK-programma (onder UNIX) zijn alle lijnlengtes met een overeenkomstige "id" opgeteld. Via het commando "joinitem" zijn deze gesommeerde lengtes van de lijnstukken via het "id" weer gekoppeld aan het eerdergenoemde polygonenbestand. Dit polygonenbestand is vervolgens omgezet naar een grid.

In het stedelijk gebied was de gemiddelde slootlengte per ha. niet betrouwbaar. De steden zijn daarom uit het bestand "geclipt".
Met het grid-commando 'FOCALMEAN' is vervolgens de gemiddelde slootlengte per hectare bepaald voor een cirkelvormig gebied met een straal van 5 gridcellen oftewel 500 meter.

10 Hoofdwatersystemen en Afwaterings- en stroomgebieden
Het beeld van het hoofdwatersysteem is afkomstig van de de 5e editie van de Waterstaatskaart, schaal 1: 400.000 (RWS-MD, 1989). Dit beeld is aangepast op basis van informatie die is aangeleverd door de waterschappen het Hoogheemraadschap West-Brabant en bureau BIC van de provincie Noord-Brabant (WSR-stroomgebieden, februari 2000).

Het deelwatersysteem is samengesteld op basis van analoge en digitale informatie afkomstig van de binnen de provincie liggende waterschappen.
De digitale bestanden werden aangeleverd in verschillende formaten: DXF-bestanden, shapefiles en Arc/Info-exportbestanden.
De DXF-bestanden en shapefiles zijn omgezet naar Arc/Info-kaartbestanden met behulp van de commando's 'DXFARC' en 'SHAPEARC'.
Het waterschap het Scheldekwartier kon geen digitale informatie voor het deelwatersysteem aanleveren. De bemalingsgebieden en de waterschapsgrens zijn van 3 deelkaarten met de titel: "Overzichtskaart waterschap het Scheldekwartier" schaal 1: 25.000, gedigitaliseerd en de vrijafwaterende eenheden zijn van 6 deelkaarten van de 5e editie van de waterstaatskaart, schaal 1: 50.000 (RWS-MD, 1982/1984/1985/1986) gedigitaliseerd en handmatig op de bemalingsgebieden aangesloten.
De kaartbestanden van alle waterschappen zijn geïntegreerd met het Arc/Info-commando 'APPEND' vervolgens zijn de grenzen handmatig op elkaar aangesloten.

De Substroomgebieden zijn berekend op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) met een resolutie van 100 x 100 meter. Hiervoor is gebruikt gemaakt van de hydrologische modelleringskit in Arc/Info.
De gehele procedure bestaat uit de volgende stappen:

1. Opvullen van "depressies" in het maaiveldhoogtegrid met het grid-commando "FILL"
2. Aanmaken van een grid dat per cel de richting van de steilste helling aangeeft. Dit wordt bepaald op basis van de maaiveldhoogte van de omliggende cellen met het grid-commando "FLOWACC"
3. Aanmaken van een grid dat per cel aangeeft uit hoeveel omliggende cellen deze water ontvangt. Dit wordt bepaald op basis van het grid van stap 2 met het commando "FLOWDIR". Deze procedure berekent de cumulatieve toestroom van water uit cellen die hellingopwaarts gelegen zijn.
4. Selecteren van de gridcellen die zoveel water ontvangen uit omliggende cellen dat er sprake is van een hoofdwaterloop. De grens hiervoor is gesteld op 150 cellen (d.i. dus 150 hectare!).
5. Omzetten van dit grid naar een puntenbestand m.b.v. het Arcinfo-commando "GRIDPOINT".
6. Selecteren van de punten in dit bestand vanwaaruit de stroomgebieden berekend moeten worden.
7. Deze zogenaamde "uitlaatpunten" per stroomgebeid uniek nummeren en het puntenbestand omzetten naar een grid met het Arc/Info-commando "POINTGRID"
8. Berekenen van de stroomgebieden op basis van dit grid en het grid van stap 3 met het grid-commando "WATERSHED" Voor uitgebreidere informatie over deze procedure wordt verwezen naar de Arc/Info-documentatie.

11 Aanvoergebieden en inlaatpunten
De aanvoergebieden en inlaatpunten zijn gedigitaliseerd van een kaart schaal 1: 100.000 met de titel "Wateraanvoergebieden (5-8-1987)", afkomstig van de provincie Noord-Brabant. Op deze kaart waren de aanvoergebieden en inlaatpunten handmatig ingetekend. De gegevens zijn afkomstig van Rijkswaterstaat (o.a. RWS, 1984; Silva 1989a/1989b; Vreke, 1989). Op basis van digitale informatie van waterschap de Aa is de begrenzing van de aanvoergebieden aangepast.

Op basis van de ligging van de inlaatpunten is per aanvoergebied de herkomst van het inlaatwater bepaald. Overigens dient opgemerkt te worden dat er langs de Mark en de Dintel meer inlaatpunten zijn dan op de kaart aangegeven.

De inlaatpunten stonden op de kaart met pijlen aangegeven. Daardoor was de exacte lokatie van de inlaatpunten niet vast te stellen. De ligging van de inlaatpunten is niet gecorrigeerd op basis van gegevens van de waterschappen, aangezien deze gegevens voor de meeste waterschappen nog niet beschikbaar zijn

12 **Historische inundatie**
De kaarten met geïnundeerde gebieden ten gevolge van oorlogshandelingen en stormvloed 1953, zijn gedigitaliseerd van een tweetal analoge kaarten:

- "Kaart van de Inundaties in Nederland ten gevolge van de oorlogshandelingen in 1944-'45" schaal 1:800.000 (b.o.).
- "Kaart van de geïnundeerde gebieden in de provincie Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland ten gevolge van de stormvloed van 31 jan./1febr. 1953" schaal 1:100.000 (b.o.) De kaarten zijn gebaseerd op gegevens uit de archieven van Rijkswaterstaat-Meetkundige Dienst uit Delft.

De bron voor de kaart met militaire inundatiën is de "Atlas van historische vestingwerken in Nederland. Noord-Brabant" onder redactie van de Studiecommissie van de stichting Menno van Coehoorn (Sneep et al., 1996). Deze kaart (schaal 1: 333.000) is overgetekend op een kaart met schaal 1: 100.000 en vanaf deze kaart gedigitaliseerd.

De kaart met historische inundaties bij overlaten zijn voor het gebied van de Beersche Maas gedigitaliseerd van de kaart behorende bij het Kon. besluit 1919, Staatsblad nr. 748, schaal 1: 50.000. De westelijke overlaten – Bakhovensche en de Baardwijkse overlaten – zijn gedigitaliseerd van een kaart van rond 1900, afkomstig van RWS Dir. Noord-Brabant.
Voor de inundatie op basis van historische bronnen en kaarten zijn tientallen rapporten en kaarten bestudeerd. Onder deze bronnen bevinden zich zeer gedetailleerde inundatiekarteringen uit 1937 uitgevoerd door Bongaerts. De uitwerking wordt beschreven in Stuurman (in prep).
De gebieden met inundaties die hieruit voortkwamen, zijn samengevoegd tot 1 samengestelde, die overeenkomt met de laaggelegen historische natte gebieden (zie kaart 17): Moeras, Graslanden met sloten, Broekbos, Boekweitpercelen, Schorren en gorzen, Wadden, Slikken en platen. Deze zijn op basis van deze informatie uit het kaartbestand met historische natte gebieden geselecteerd en weergegeven.

13 Geohydrologische deelgebieden
Als basis is de vereenvoudigde Geologische kaart van Nederland, schaal 1: 600.000 gebruikt, die het NITG-TNO digitaal beschikbaar heeft.
Daaruit zijn de volgende eenheden geselecteerd:

- Zee- en rivierklei: afzettingen van Duinkerke en Betuwe Formatie.
- Beekklei: Formatie van Singraven.
- Klei/zand complex in West Brabant: Formaties van Twente, Kedichem en Tegelen
- Laagterras in Oost Brabant: Formatie van Kreftenheye
- Middenterras in Oost Brabant: Formatie van Veghel
- Hoogveen: Formatie van Griendsveen
- In de Centrale Slenk wordt onderscheid gemaakt tussen de Formatie van Sterksel en de overige afzettingen.

Voor België is de Geohydrologische kaart uit de Atlas van België gebruikt, schaal 1 : 500.000 (1964). Daaruit is de ligging van de waterleiding en de micro-cuestas, welke de begrenzingen van kwartshoudende en glauconiethoudende zanden aangeeft, gedigitaliseerd.

In de Centrale Slenk is een onderverdeling gemaakt op basis van de dikte van de deklaag. Als grens is hier 15 m aangehouden. (RGD-kartering naar winbare grind en zandvoorkomens, 19??)

Het westelijk deel van de Centrale Slenk is nog onderverdeeld op basis van de verbreiding van de Formatie van Tegelen volgens REGIS, project Noord-Brabant.

14 Stijghoogte in watervoerend pakket 1
De vervaardiging, in het kader van REGIS, van dit kaartbestand bestond uit vier stappen:

1 Indelen van de filters in watervoerende pakketten
2 Bepalen van de ruimtelijke correlatie van de stijghoogten
3 Aanvullen met oppervlaktewaterpeilen
4 Vervaardigen van het ruimtelijk stijghoogtegrid

Er is gebruikt gemaakt van een stochastische interpolatie techniek, die bekend staat onder de naam "kriging".
Allereerst zijn alle grondwaterfilters ingedeeld in watervoerende pakketten. Na deze stap is de indeling gecontroleerd aan de hand van stijghoogteverschillen tussen verschillende filters en is de indeling indien nodig aangepast.

Ten tweede is via geostatistische analyse de ruimtelijke correlatie van alle stijghoogten in het eerste watervoerend pakket bepaald. Op basis van de punten-omgeving wordt voor een meetpunt een waarschijnlijke grondwaterstijghoogte voorspeld. Deze voorspelde stijghoogte wordt vervolgens vergeleken met de gemeten waarde. De verschillen tussen voorspelde en gemeten stijghoogte worden vervolgens getoetst aan de hand van beschikbare informatie.

Op basis van de definitieve set filters wordt opnieuw de ruimtelijke correlatie vastgesteld. Vervolgens zijn de peilen van de Maas, Waal, Merwede, Hollandsch Diep, Dordse kil e.a. in de vorm van puntenlijnen aan het puntenbestand toegevoegd en is via "kriging" een ruimtelijk stijghoogtegrid verkregen.

Doordat de peilen van de grote rivieren zijn meegenomen in het kriging-proces komt het drainerende dan wel infiltrerende karakter van deze rivieren tot uitdrukking in het isohypsenpatroon.

15 Grondwateronttrekkingen
De gegevens van grondwateronttrekkingen in Noord-Brabant zijn afkomstig van de provincie Noord-Brabant, bureau BIC. Dit zijn in totaal 219 vergunningsplichtige onttrekkingen. Deze zijn in een excel-bestand aangeleverd met bijbehorende gegevens. Op basis van de provinciecode en de x- en y-coordinaten kon een shapefile worden aangemaakt met de lokaties van de grondwateronttrekkingen. Aan het bestand zijn de volgende attributen toegevoegd:

- Naam bedrijf
- Vergunningeshoeveelheid 1998 (*1000 m3)
- Onttrekkingshoeveelheid 1998 (*1000 m3)
- Watervoerend pakket
- Geologische Formatie
- Koelwater (1000 m3)
- Spoelwater (1000 m3)
- Proceswater (1000 m3)
- Beregening (1000 m3)
- Overig (1000 m3)
- Openbare watervoorziening (1000 m3)
- Spoelen filters (1000 m3)
- Hist. tijdreeks
- Geinfiltreerd
- Netto Onttrekking

De lokaties in België zijn gedigitaliseerd van resp. de kaart getiteld "Grondwaterwinning grensgebied Nederland / België 1986" (RWS, 1987) vervolgens gecorrigeerd en aangevuld met gegevens voor het jaar 1993 (RIZA, 1995). Handmatig zijn de volgende attributen toegevoegd:

- Naam exploitant
- Vergunningshoeveelheid per 31-12-1993 (1000 m3/jr)
- Onttrekkingshoeveelheid 1993 (1000 m3/jr)
- Diepte (m-mv)
- Geologische Formatie
- Type

De lokaties in Limburg zijn afkomstig van de provincie Limburg. De gegevens zijn aangeleverd in een excelbestand en op basis van de provinciecode en de x- en y-coordinaat omgezet naar een kaartbeeld. De volgende attributen zijn eraan toegevoegd:

- Naam bedrijf
- Onttrekkingshoeveelheid 1998 (m3/jr)
- Onttrekkingshoeveelheid 1998 (1000 m3/jr)
- Type

16 Kwel- en infiltratiegebieden
De vervaardiging van dit kaartbestand bestond uit 5 stappen:

1. Omrekenen van de grondwatertrappen naar een gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand (t.o.v. NAP) met behulp van een conversietabel.
2. Berekenen van het stijghoogteverschil door de gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstanden en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket van elkaar af te trekken. Dit leverde de kwelgebieden op.
3. Combineren van de kwelgebieden met de kerninfiltratiegebieden.
4. Aanvullen van de gebieden waarvoor kwantitatief geen stijghoogteverschil bepaald kon worden. Dit waren in de meeste gevallen steden. Dit is op kwalitatieve wijze uitgevoerd aan de hand van de historische natte gebieden (kaart 20) en op basis van expert judgement.
5. Bepalen van kwel in sloten.

Bepalen van de gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand
Uit de digitale bodemkaart is met behulp van de grondwatertrappen (GWT) een gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand (GVG) bepaald. Hiervoor is de algemene formule gebruikt van Van der Sluijs (Bodemkunde van Nederland, 1990):

GVG=GHG*0.83+GLG*0.19+5.4,

GHG: de gemiddelde hoogste grondwaterstand
GLG : de gemiddelde laagste grondwaterstand.

GWT	GHG (in cm –mv)	GLG	GVG
I	10	34	20
II	28	65	41
II*	32	65	44
III	28	100	48
III*	32	100	51
IV	56	100	71
V	28	134	54
V*	32	134	57
VI	60	134	81
VII	96	167	117
VII*	160	167	170

Tabel 5
De gemiddelde hoogste (GHG) en de gemiddelde laagste grondwstand GLG) per grondwatertrap (GWT) en de hieruit berekende gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG)

Bij gebieden in de bodemkaart waar meerdere GWT's worden genoemd (associaties) is het gemiddelde van de GVG's berekend. De bodemkaart is vervolgens omgezet naar een grid met cellen van 100 x 100 meter op basis van de GVG. Cellen zonder toegekende GVG (open water, bebouwing, niet toegekend etc) zijn op NODATA gezet. De freatische voorjaarsgrondwaterstand in m. t.o.v. NAP is bepaald door het GVG-grid van het maaiveldhoogtegrid af te trekken.

De potentiele kwel-infiltratiekaart is bepaald door stijghoogte in het eerste watervoerend pakket te vergelijken met de freatische voorjaargrondwaterstand ten opzichte van NAP. Het stijghoogteverschil staat in onderstaande figuur weergegeven.
De potentiële kwelgebieden zijn bepaald door alle negatieve stijghoogteverschillen kleiner dan –50 cm te selecteren.

Vervolgens zijn de kerninfiltrategebieden (zie kaart 16), die zijn bepaald op basis van de gemiddelde slootlengte per ha. (zie kaart 17), in de kaart opgenomen. Het oppervlak tussen de kwelgebieden en de kerninfiltratiegegebieden is tot intermediair gebied verklaard.

Doordat de kwel- en infiltratiekaart gebaseerd is op onder andere de grondwatertrappen van de bodemkaart en in deze laatstgenoemde kaart voor het stedelijk gebied geen grondwatertrappen zijn gedefinieerd, ontstonden er gaten in het kaartbeeld ter plaatse van de steden. De kwelgebieden in het stedelijk gebied zijn bepaald op basis van de historische natte gebiedenkaart (zie kaart 17), waarbij alleen de historische natte gebieden zijn meegnomen die indicatief zijn voor kwel. Dit zijn: Moeras, Broekbos, Graslanden met sloten en Boeweitpercelen. Stedelijk gebied dat niet met behulp van de historische natte gebieden kon worden ingevuld, is op basis van expert judgement aangevuld.

Er is een afzonderlijke procedure uitgevoerd voor het bepalen van kwel die in sloten terechtkomt, de zogenaamde "slootkwel". Daarbij is het kaartbestand met sloten en greppels (kaart 4) gebruikt, waarbij is aangenomen dat de slootdiepte gemiddeld 70 cm beneden maaiveld is. Deze diepte is gebaseerd op veldmetingen in het Merkske stroomgebied. Voor elke 100 x 100 meter cel die een slootlengte bezit van meer dan 50 meter is vervolgens 70 cm van de maaiveldhoogte afgetrokken. Dit slootpeilenbestand is vervolgens op dezelfde wijze als hiervoor beschreven, vergeleken met de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.

17 Gebieden met spanningswater

De kaart met spanningswater onder de deklaag is voortgekomen uit het grid dat het stijghoogteverschil tussen de voorjaarsstijghoogte in het eerste watervoerend pakket en de gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand weergeeft. Voor de aanmaak van dit grid wordt verwezen naar technische beschrijving van de kwel- en infiltratiegebieden.
Uit dit grid zijn de gebieden geselecteerd waar sprake is van negatief stijghoogteverschil tussen de voorjaarsstijghoogte in het eerste watervoerend pakket en de gemiddelde freatische voorjaarsgrondwaterstand, oftewel een opwaarts gerichte waterdruk. Dit is gedaan met het grid-commando 'CON()'. Daarbij zijn de gebieden met een positief stijghoogteverschil op 'NODATA' zijn.

Voor de legenda is het (negatieve) stijghoogteverschil als een positief getal weergegeven, dus hoe hoger het getal des te groter is de opwaartse druk van het grondwater onder de deklaag.

18 Kweltypen en bijbehorende profielen

Deze kaart is in de volgende stappen voortgekomen uit de kaart met kwel- en infiltratiegebieden:

1. Generaliseren van de kwel en infiltratiegebieden, zodat de gaten ter plaatse van de middelgrote steden worden op gevuld, met gridcommando 'FOCALMAJORITY'. Dit is 5 x herhaald en er is een rechthoekig zoekgebied van 300 x 300 meter aangehouden.
2. Omzetten van het grid naar een polygonenbestand met het Arc/Info-commando 'GRIDPOLY'
3. Verwijderen van kleine vlakjes met het Arc/Info-commando 'ELIMINATE'. Criterium was een oppervlak ≤ 40.000 m2
4. Typeren van de verschillende kwelgebieden door polygonen te coderen.
5. Aanvullen met gebieden met slootkwel.
6. Aanvullen met gedigitaliseerde kwelgebiedjes, zoals bv. de Wijstgronden

19 Relaties en stroomrichtingen tussen infiltratie en kwel

De begrenzing van de regionale (grondwater)systemen komt uit de Landelijke Hydrologische Systeemanalyse voor provincie Noord-Brabant (Stuurman et al.,1996).
De pijlen die de in de regionale systemen ingebedde lokale systemen weergeven, zijn als een aparte grafische laag (zonder x- en y-coordinaten) over het beeld met de kwel- en infiltratiegebieden heen getekend.

20 Historische natte gebieden

De historisch natte gebieden zijn voor heel Nederland gedigitaliseerd uit de Topografische en Militaire kaart van 1830-1855, schaal 1: 50.000.
Het gebied van de provincie Noord-Brabant is uit dit landsdekkend bestand geclipt.

21 Grensvlak zoet en brak grondwater

Dit bestand is in het kader van REGIS vervaardigd.

20.1 Achtergrondinformatie bij het kaartblad

De historische natte gebieden-kaart is gebaseerd op de Topografische en Militaire kaart van 1830-1855. Hieruit zijn de gebieden geselecteerd die gekenmerkt worden door drassige omstandigheden, dus gebieden met het gehele jaar door een ondiepe tot zeer ondiepe grondwaterspiegel.
Naamgeving zoals "Broek", "Broekbos", "Hooilanden" e.d. zijn kenmerkend voor drassige gebieden rond 1850. Tevens zijn slootdichtheden, ligging van moerassen, plassen en vennen en veenvoorkomens gebruikt om de natte gebieden af te bakenen. Hiertoe behoren ook boekweitpercelen. Boekweit werd hier gekweekt op gedeeltelijk ontwaterde en afgebrande venen of heide. Rond 1900 waren deze percelen weer in gebruik als hooilanden.

De kaart geeft een beeld van de natte gebieden in Noord-Brabant in een tijd waarin er nog nauwelijks sprake was van beïnvloeding van de waterhuishouding door de mens. Op de kaart zijn de historische steden niet aangegeven. Deze zijn wel beschikbaar in het GIS-bestand. Als achtergrond is de topografische kaart van ca. 1900 gebruikt.

20.2 Toelichting op de gebruiksmogelijkheden

De kaart kan dienen als referentie en uitgangspunt voor het natuurherstel en het herstel van oorspronkelijke watersystemen. In deze atlas is de kaart bijvoorbeeld gebruikt als basis van de historische inundatiegebiedenkaart. In het onderzoek van de Gewenste Grondwatersituatie Noord-Brabant heeft de kaart als basis gediend voor het bepalen van de begrenzing van historische kwelgebieden.