



Watersystemen rondom Gijzenrooi

Peter van der Molen

September 2021



INHOUD

1.	Samenvatting Watersystemen rond Gijzenrooi	3
2.	Indeling in watersystemen	5
3.	Diepe systeem	6
4.	Oppervlakkig systeem	9
5.	Grensvlakken.....	13
6.	Wateronttrekking in Noord Brabant.....	15
7.	Bruinkoolgroeven Duitsland	17
8.	Deelbreuken.....	23
9.	BIJLAGE 1: Verkenning Watervraag Noord-Brabantse Natuur (Overgenomen uit Stuurman et al. 2020).	26
	❖ Scenarios voor aanpassing van de grondwatersituatie.....	26
	❖ Samenvatting hydrologische effecten.....	29
	❖ Grondwaterstand en stijghoogte	30
	❖ Gevoeligheid voor droogte.....	31
	❖ Watervraag natuur	32
	❖ Bepaling watervraag met behulp van GLS analyse.....	33
	❖ Het grondwatergebruik versus grondwatervraag.....	35
	❖ Conclusies	36
	❖ Enkele geselecteerde aanbevelingen	37
10.	BIJLAGE 2: Systeemgericht grondwaterBeheer (Overgenomen uit Stuurman et al. 2003).....	38
	❖ Model.....	38
	❖ Daling.....	38
11.	BIJLAGE 3: Grondwater karakterisering (Overgenomen uit Meinardi et al. 2005).....	42
12.	Bronnen	46

1. SAMENVATTING WATERSYSTEMEN ROND GIJZENROOI

De hydrologische situatie van Gijzenrooi laat zich als volgt samenvatten:

1. Gijzenrooi ligt in de Centrale Slenk en wordt daar beïnvloed door een diep hydrologisch systeem vanuit het zuidoosten vanuit Duitsland door de lengterichting van de Centrale Slenk.
2. Daarnaast wordt het beïnvloed door meer oppervlakkige systemen in het 1^e WaterVoerend Pakket, die zich vanuit België en de Brabantse Plateaus naar het noorden uitstrekken.
3. Het diepe systeem -dat vanuit het Duitse Maasterras wordt gevoed- is ernstig aangetast door de bruinkoolwinnings in de Keulse Bocht. Dit heeft invloed op de diepe stromingsrichting van het water daar, op de kwaliteit ervan en het wegvallen en veranderen van de diepe kwel en de ligging van het scheidingsvlak tussen zoet en brak water.
4. Het water dat alsnog het gedeelte van de Centrale Slenk onder Gijzenrooi bereikt wordt daar op een diepte van ca. 300m gewonnen door Brabant Water.
5. Ook het water dat vanuit het 1^e WVP Gijzenrooi bereikt wordt onderweg afgetapt door meer oppervlakkige drinkwater en industriewater winningen, beregeningsputten voor de landbouw en weggevangen door oppervlakkige afvoer via sloten en tal van waterlopen en verdwijnt uit het systeem via de Maas naar de Noordzee.
6. Er is onderzocht of er aanwijzingen zijn voor zijbreukjes vanuit Peelrandbreuk of Feldbissbreuk, die mogelijk lokale kwelsystemen kunnen voeden. Dit hebben we niet kunnen aantonen.

De recente publicatie van Stuurman et al. (2020) geeft de volgende conclusies en zoekrichtingen tbv. herstel van de watervraag van grondwaterafhankelijke natuur in Noord-Brabant (Zie de BIJLAGE 1 voor de uitgewerkte versie):

Voor Gijzenrooi:

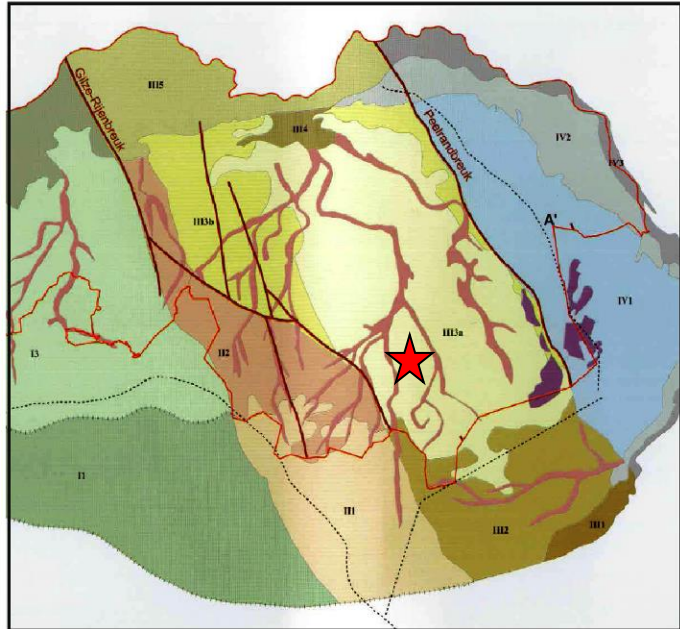
BINNEN INVLOEDSSFEER: Verantwoordelijkheid Brabants Landschap en Gemeente Geldrop.	BUITEN INVLOEDSSFEER: Provinciale verantwoordelijkheid en van Brabant Water.
<ul style="list-style-type: none"> • Herstelmogelijkheden voor het gebied richten op het 1^e WVP. • Freatische grondwaterstandsverhoging in een significant brede bufferzone. • Herstel van vennen als onderdeel van "Water Bergen aan de Bron (BaB)". • Zoeken naar locaties voor extra grondwatervoorraden voor lokaal gebruik. • Zoeken naar mogelijkheden voor verhoging beekpeilen en bodems van afwateringssloten en verlaging grondwateronttrekking voor beregening, binnen en buiten het gebied. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermindering grondwatergebruik oa. door reductie van de diverse onttrekkingen. • Herstel (zeer) diepe kwel Centrale Slenk. • Vergroten neerslagoverschot in infiltratiegebieden. • Zoeken naar locaties voor extra grondwatervoorraden voor lokaal gebruik.

Stuurman et al. (2020) geven nog een reeks maatregelen op verschillende schaal:

SCHAAL	MAATREGEL
PROVINCIAAL	<ol style="list-style-type: none"> 1) Een structurele, provinciebrede, verhoging van de freatische grondwaterstand, om te beginnen 10-30 cm (GHG en GLG). 2) De verdeling van het diepe grondwater is voor de natuur in onbalans. Bijna de gehele aanvulling van de watervoerende pakketten wordt gebruikt door waterwinning, industrie en beregening. Daardoor blijft er heel weinig over voor kwel en beekafvoer vanuit deze pakketten, en dan vooral tijdens droge perioden. Een oplossing is het verkleinen van de grondwateronttrekking, en vooral in de zomerperiode. <ol style="list-style-type: none"> a. Infiltratiegebieden kan wel het neerslagoverschot worden vergroot. b. Er kan wel gezocht worden naar locaties waar extra grondwatervoorraden voor lokaal gebruik kunnen worden gerealiseerd. c. Dit heeft ook een positief effect op de opwaartse toestroming van kwelwater. 3) Het grondwatergebruik (incl. drainage waterafvoer) door andere sectoren zal met veel meer dan 50-60 miljoen m³/jaar moeten afnemen. 4) Om de diepe kwel in de beekdalen van de Centrale Slenk te herstellen moet minimaal 58 m³/jaar minder grondwater onder de Waalre-klei worden onttrokken. 5) Om de verdroging op te lossen van de grondwaterafhankelijke natuur in de Centrale Slenk, Kempisch Plateau en Peelhorst moeten vooral de beekpeilen en bodems van afwateringsloten worden verhoogd en de grondwateronttrekking voor beregening verlaagd. 6) De combinatie van maatregelen: verondiepen van lokale drainage, het verondiepen van hoofdwaterlopen, het verhogen van waterpeilen en reductie van ontstekingen, is het meest succesvol voor herstel van grondwaterafhankelijke vegetaties. 7) Grote regionale wateringrepen (vermindering grondwaterwinning, vermindering drainage) resulteren in een relatief geringe watertoename in de natuur, maar zijn wel essentieel voor de invulling van de (directe) watervraag van de natuur.
NATUURGEBIEDEN	<ol style="list-style-type: none"> 1) Kwelafhankelijke natuur heeft baat bij een freatische grondwaterstandsverhoging in een significant brede bufferzone langs deze natuurgebieden. 2) Herstel van vennen als onderdeel van een "water bergen aan de bron (BaB)" programma.
BEKEN	<ol style="list-style-type: none"> 1) Beekpeilverhoging (door bodemverhoging en herstel meandering) zorgt dat de aangrenzende beekdalen minder worden gedraineerd en zorgt voor structureel hogere grondwaterstanden in de aangrenzende natuurgebieden. 2) De grondwaterstand kan maximaal binnen natuurgebieden worden verhoogd door ook het beekpeil te verhogen (scenario 6). Dit zorgt echter voor aanzienlijk minder kwel uit de diepte.
LOKAAL	<ol style="list-style-type: none"> 1) Verhogen van de grondwaterstand met lokale maatregelen: <ol style="list-style-type: none"> a. Door maatregelen binnen het natuurgebied te nemen. b. Door ook maatregelen in de attentiegebieden te nemen. c. Verhoging van het beekpeil. 2) Met een combinatie van lokale maatregelen (scenario 1 en 2) plus het verminderen van onttrekking (scenario 3) kan meer water naar de natuurgebieden worden aangevoerd vanuit diepere lagen. 3) Met lokale maatregelen in de waterhuishouding van de natuurgebieden kan de grondwaterstand nauwelijks verhoogd worden; met attentiegebieden slechts beperkt.

2. INDELING IN WATERSYSTEMEN

Het studiegebied wordt gedomineerd door de diepe systemen van de Centrale Slenk met de aanpalende horsten aan weerszijde, en de meer oppervlakkige systemen die vanuit het zuiden vanaf de Plateaus zich uitstrekken naar het noorden door de dekzandafzettingen.

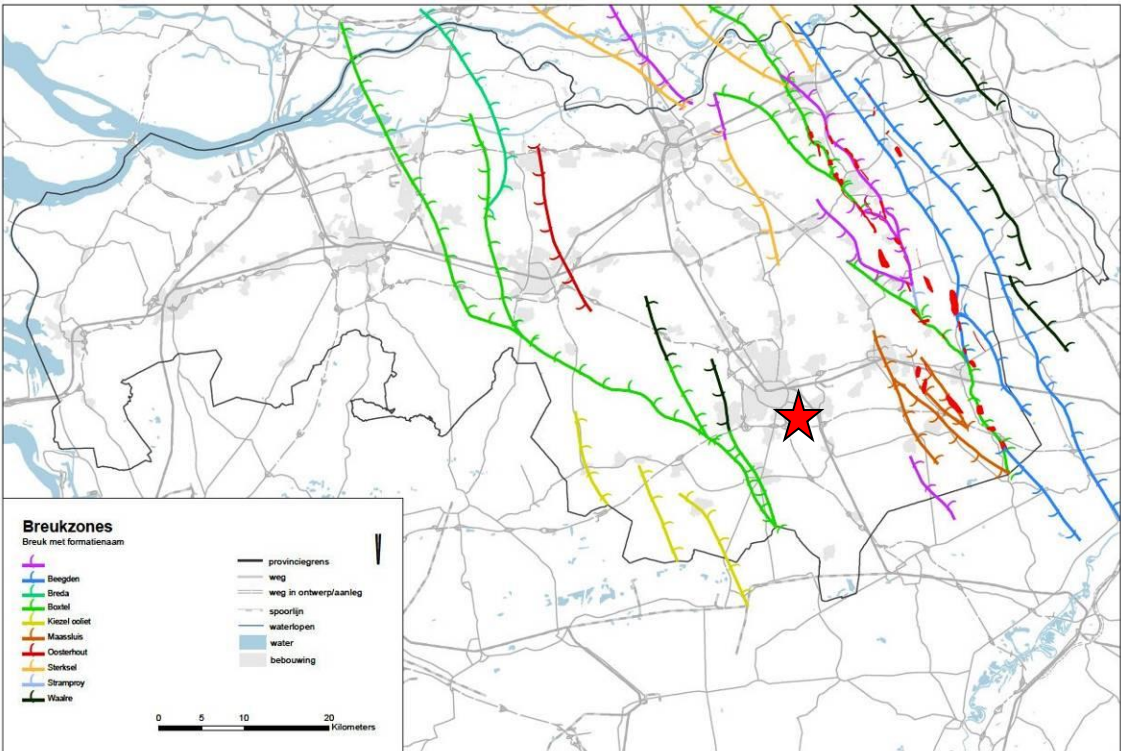


Bron: Stuurman – Watersystemen in Beeld (2000).

= Gijzenrooi

3. DIEPE SYSTEEM

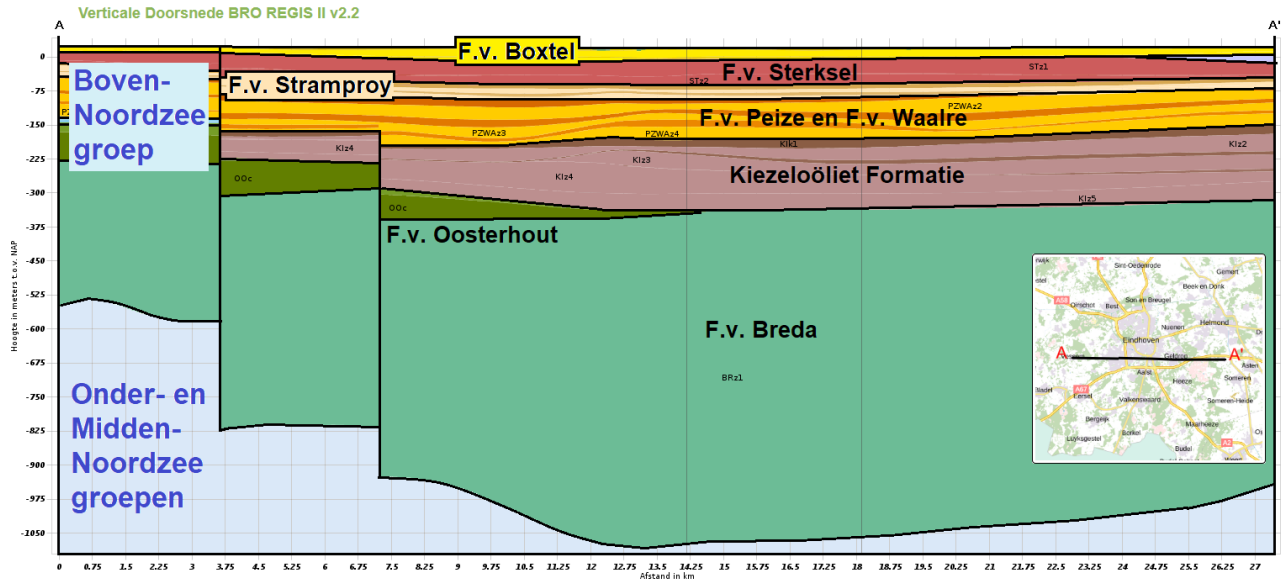
Het diepe systeem is de Centrale Slenk.



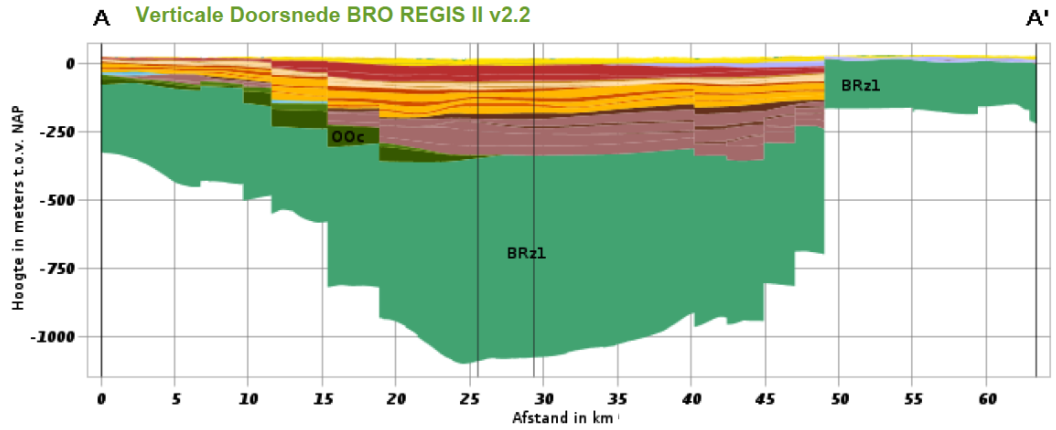
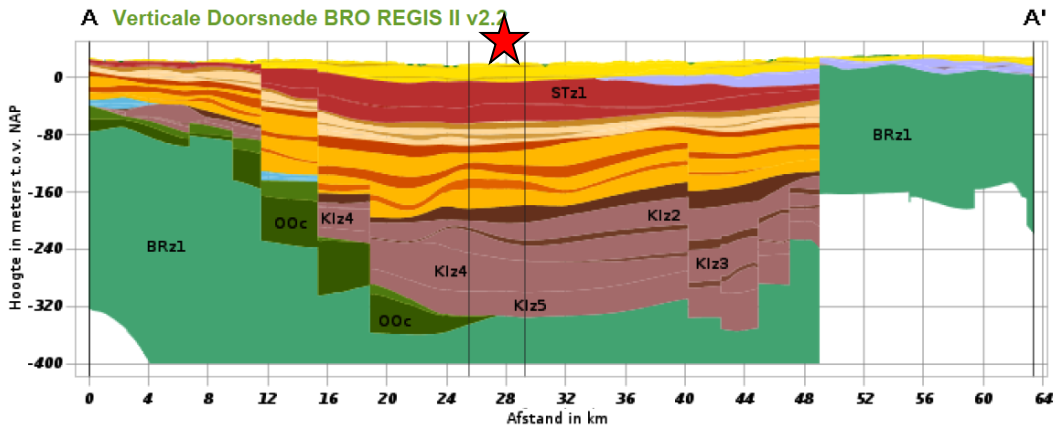
Breuksystemen van de Centrale Slenk. Aan de rechterzijde de verschillende breuken van de Peelrand-breuk, aan de linkerzijde de Feldbiss-breuk.

= Gijzenrooi

De stratigrafie is zichtbaar hieronder in de dwars- en lengterichting doorsneden. Belangrijk voor Gijzenrooi is de Boven Noordzee groep (UN) in de onderste diepe profielen van het DGM-diep 4.0 model. De bovenste profielen zijn in feite verfijnde uitwerkingen daarvan in het REGIS II, v 2.2 model, waarbij de verschillende bodemlagen –opgedeeld in 7 Formaties- zijn te herkennen.

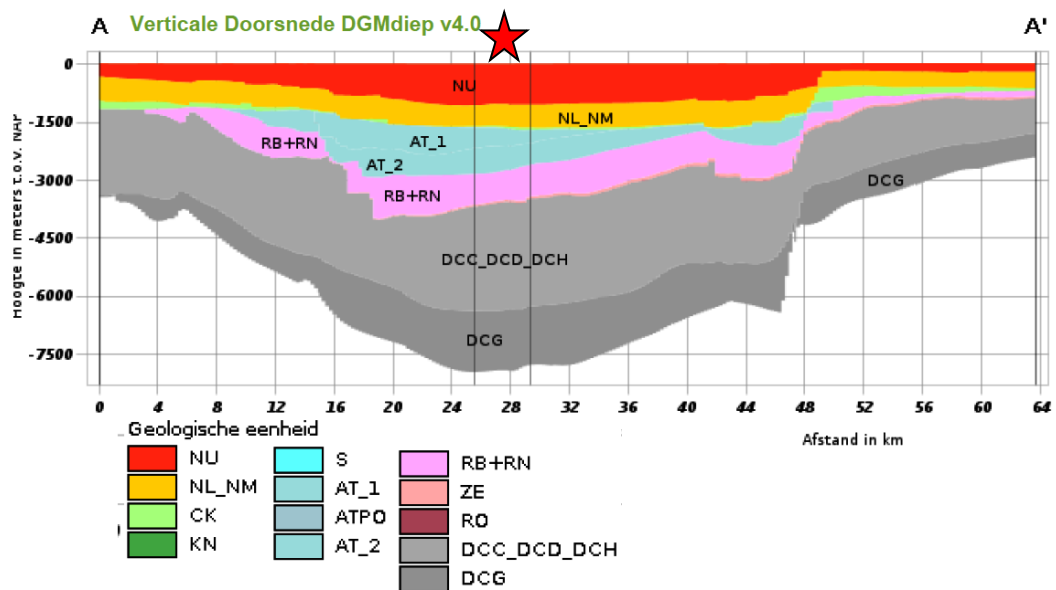


Doorsnede ondergrond: (bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>).



Hydrogeologie

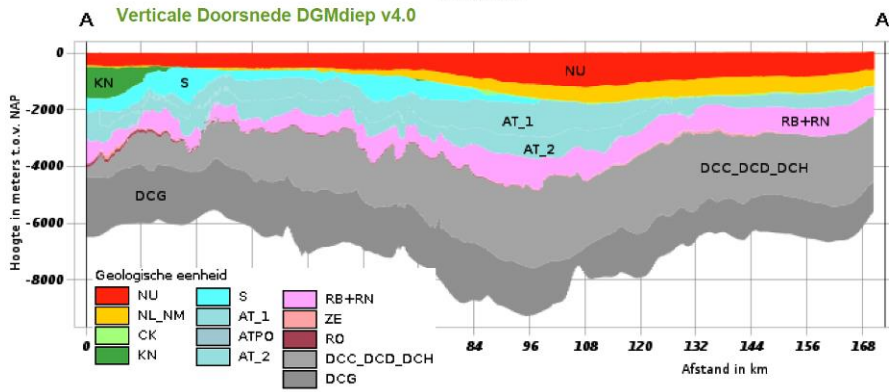
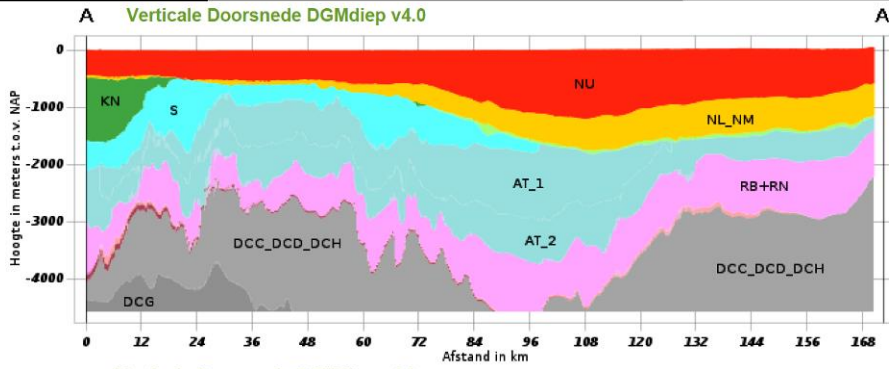
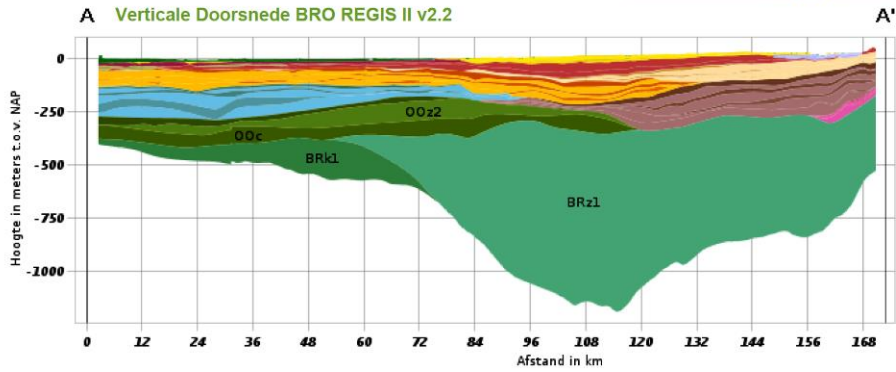
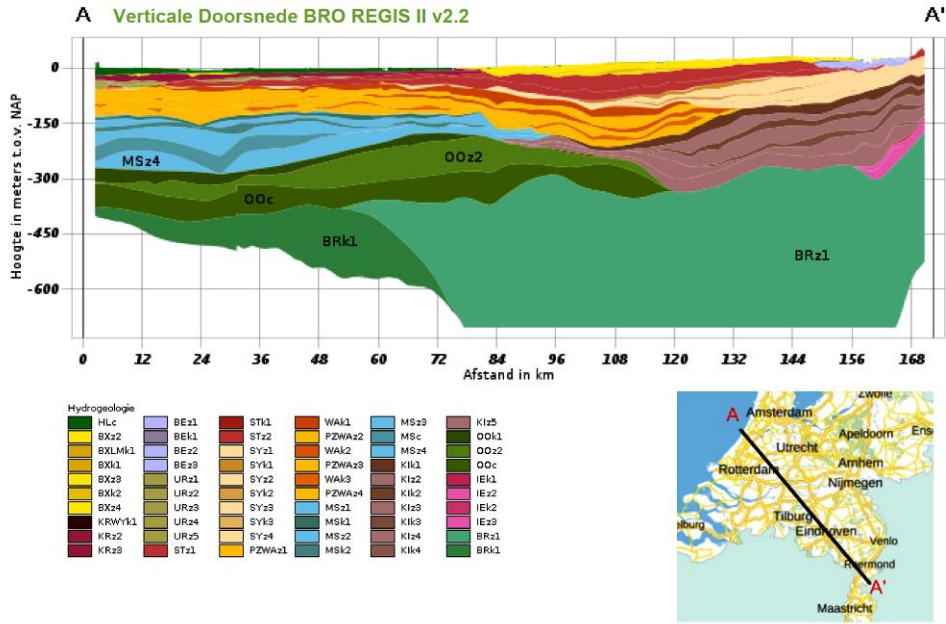
HLc	BEk2	SYz4	MSz8	OOz2
BXz2	BEz3	PZWAz1	MSz4	OOc
BXLMk1	STz1	WAK1	KIz1	BRz1
BXk1	STk1	PZWAz2	KIk1	
BXz3	STz2	WAK2	KIz2	
BXk2	SYz1	PZWAz3	KIk2	
BXz4	SYk1	WAK3	KIz3	
BEz1	SYz2	PZWAz4	KIk3	
BEk1	SYk2	MSz1	KIz4	
BEz2	SYz3	MSz2	KIz5	



Geologische eenheid

NU	S	RB+RN
NL_NM	AT_1	ZE
CK	ATPO	RO
KN	AT_2	DCC_DCD_DCH
		DCG

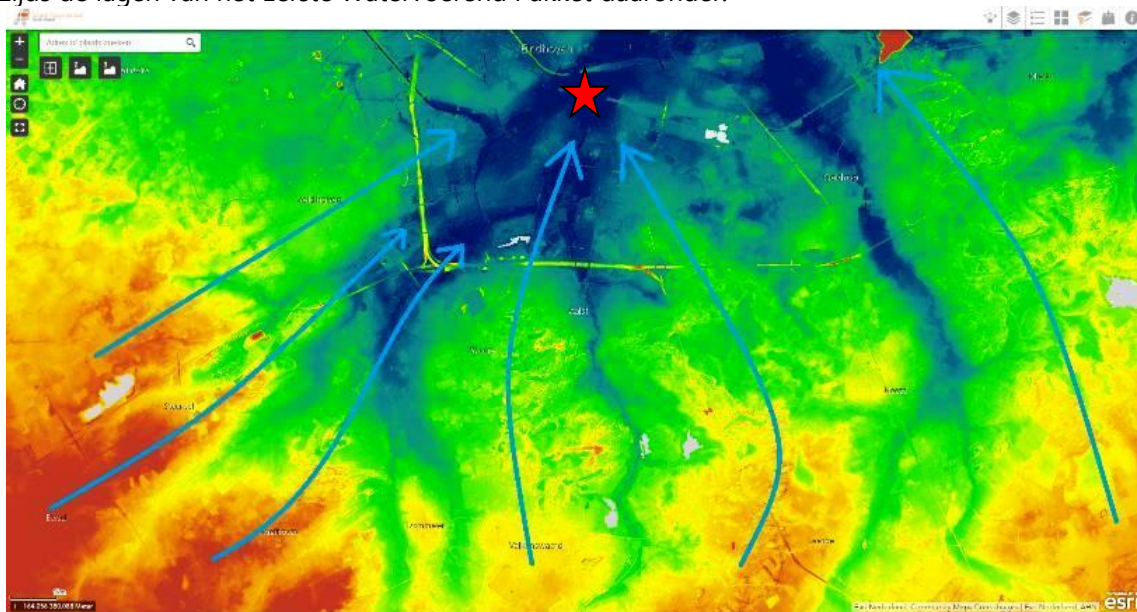
= Gijzenrooi



Doorsnede ondergrond: (bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>).

4. OPPERVLAKKIG SYSTEEM

Het oppervlakkig systeem zijn enerzijds de Deklaag van dekzanden vanuit de Plateaus naar beneden en anderzijds de lagen van het Eerste Watervoerend Pakket daaronder.

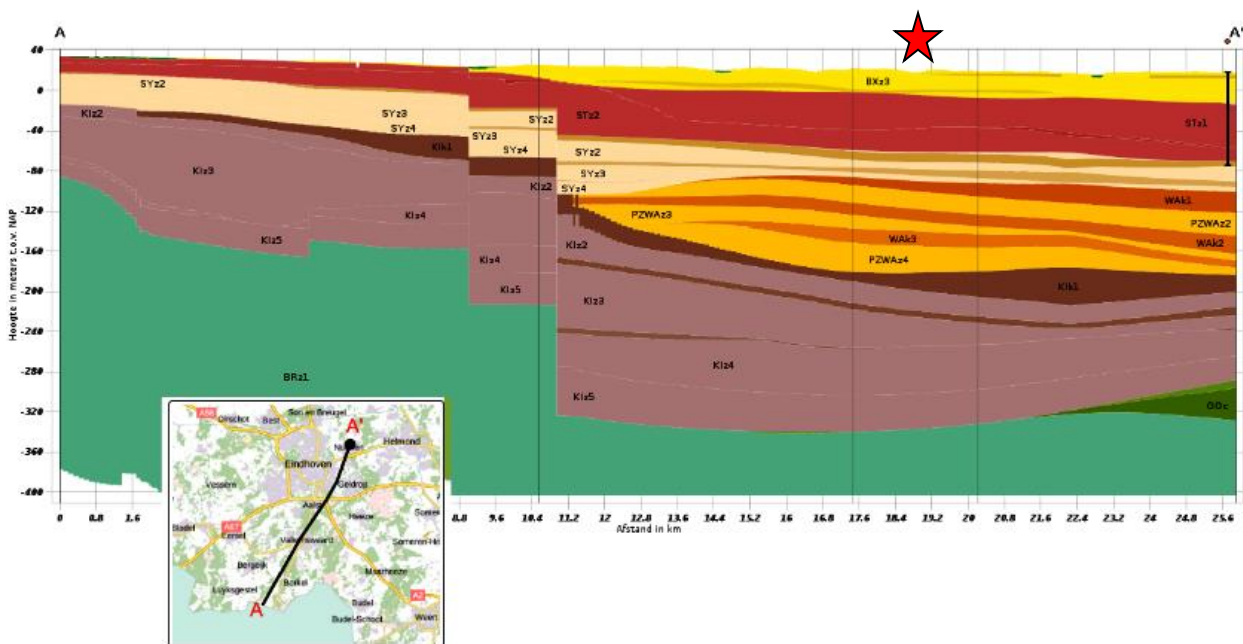


Oppervlakkige systemen via dekzanden (Bron: AHN: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>).

= Gijzenrooi

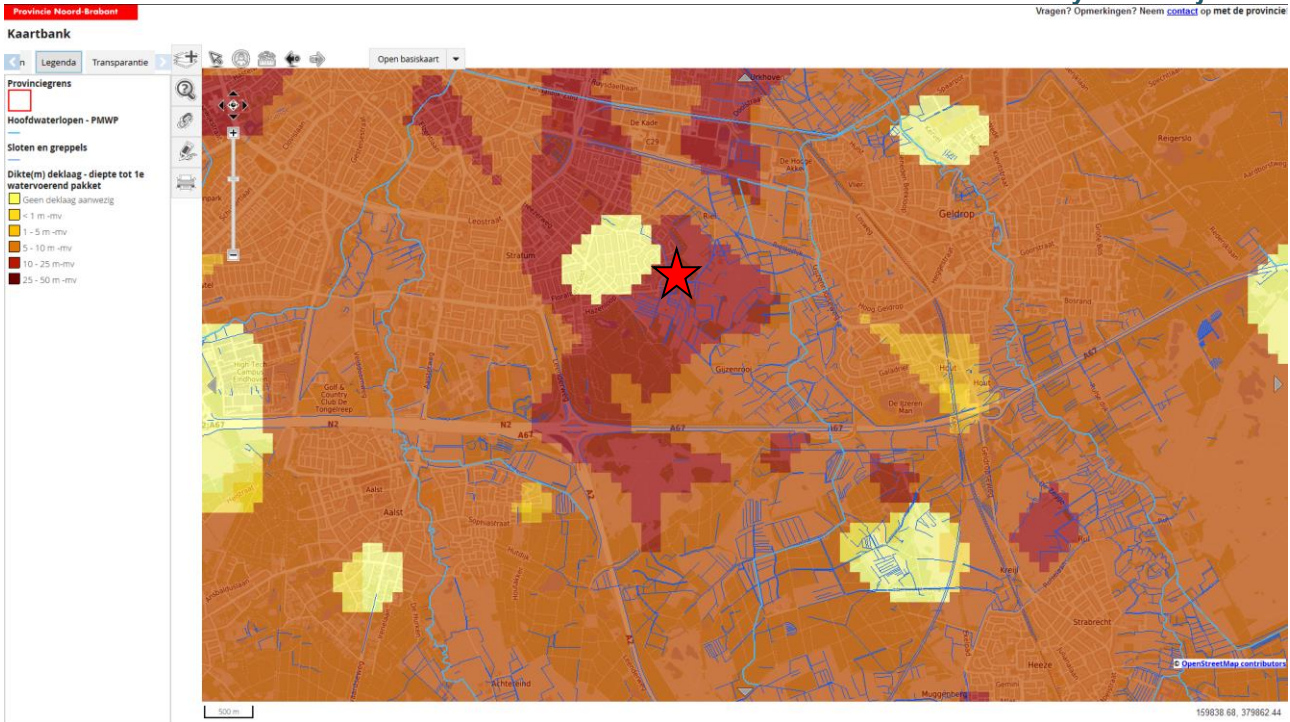
Die dekzandsystemen zijn erg ondiep: de bovenste geel gekleurde laag is de Formatie van Boxtel, waartoe de dekzanden behoren. Het Eerste Watervoerend Pakket wordt gevormd door de Formaties van Sterksel (ST), Stramproy (SY) en delen van Peize/Waalre (PZWA).

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



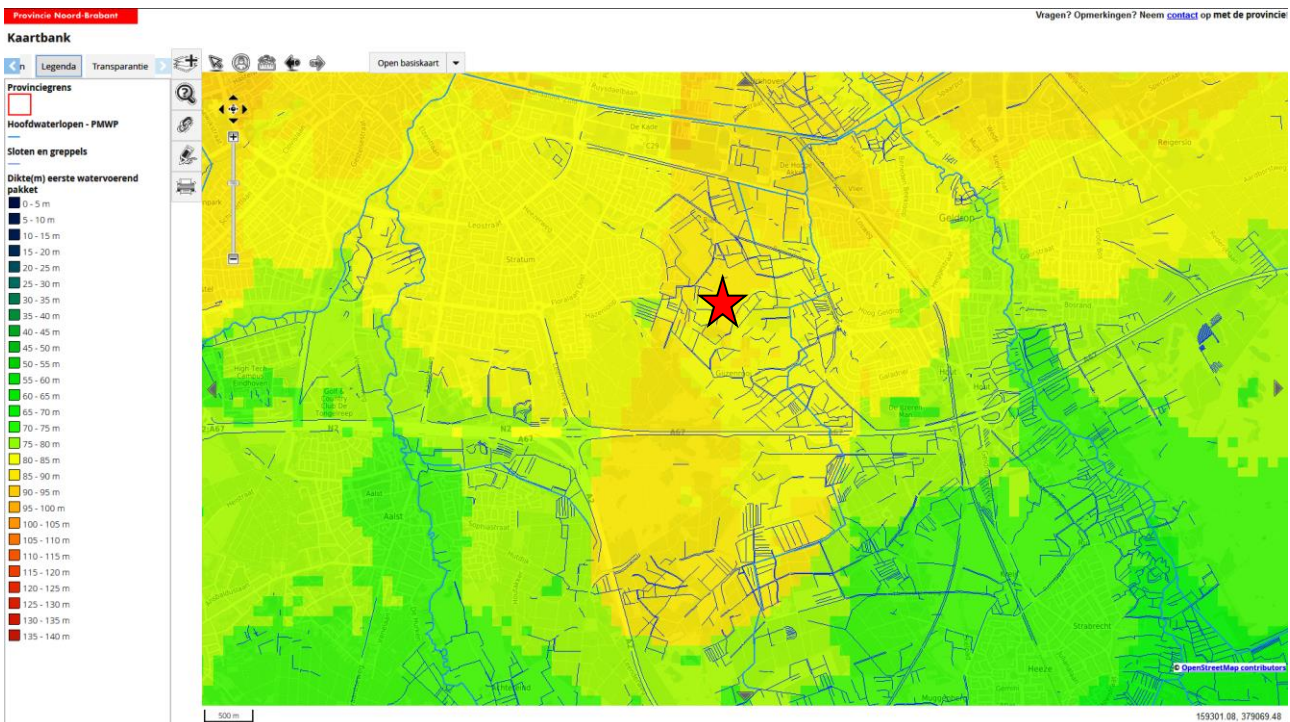
Doorsnede ondergrond: (bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>).

= Gijzenrooi



De dikte van de deklaag rondom het studiegebied is ongeveer 10 tot 25 meter. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

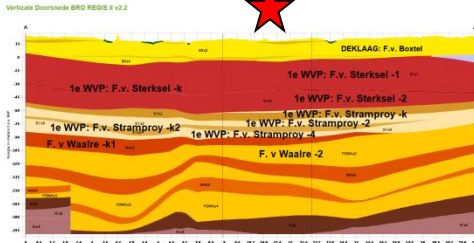
= Gijzenrooi



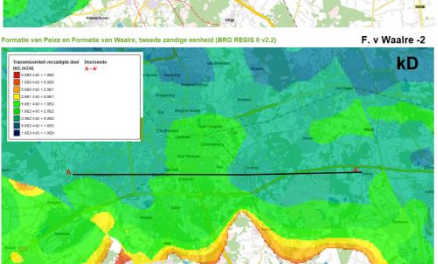
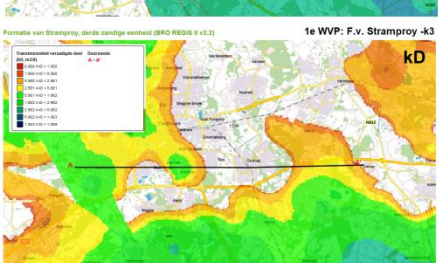
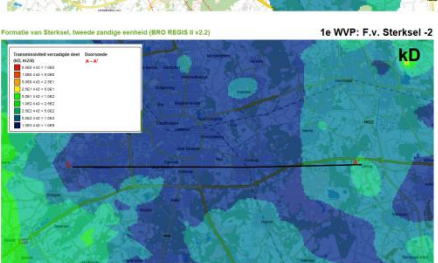
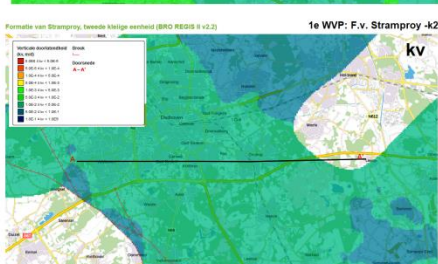
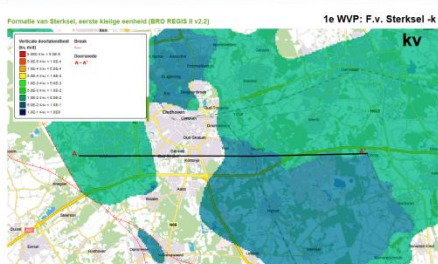
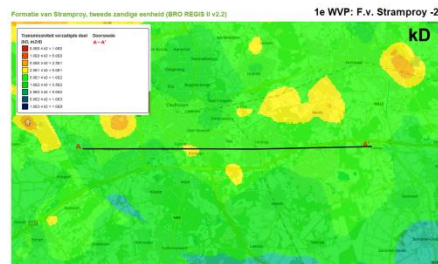
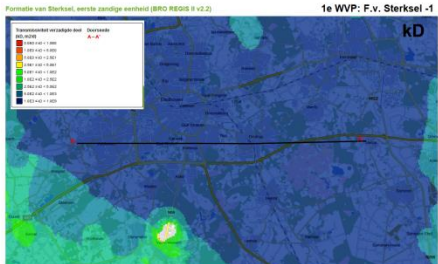
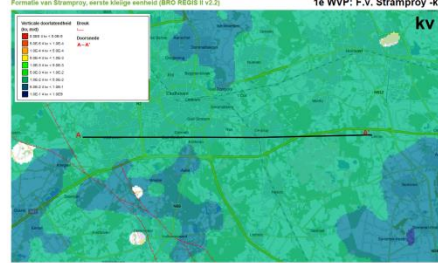
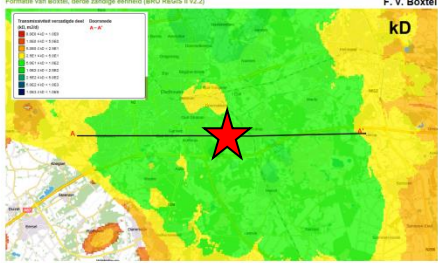
De dikte van het Eerste Watervoerend Pakket rondom het studiegebied is maximaal ongeveer 90 m. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

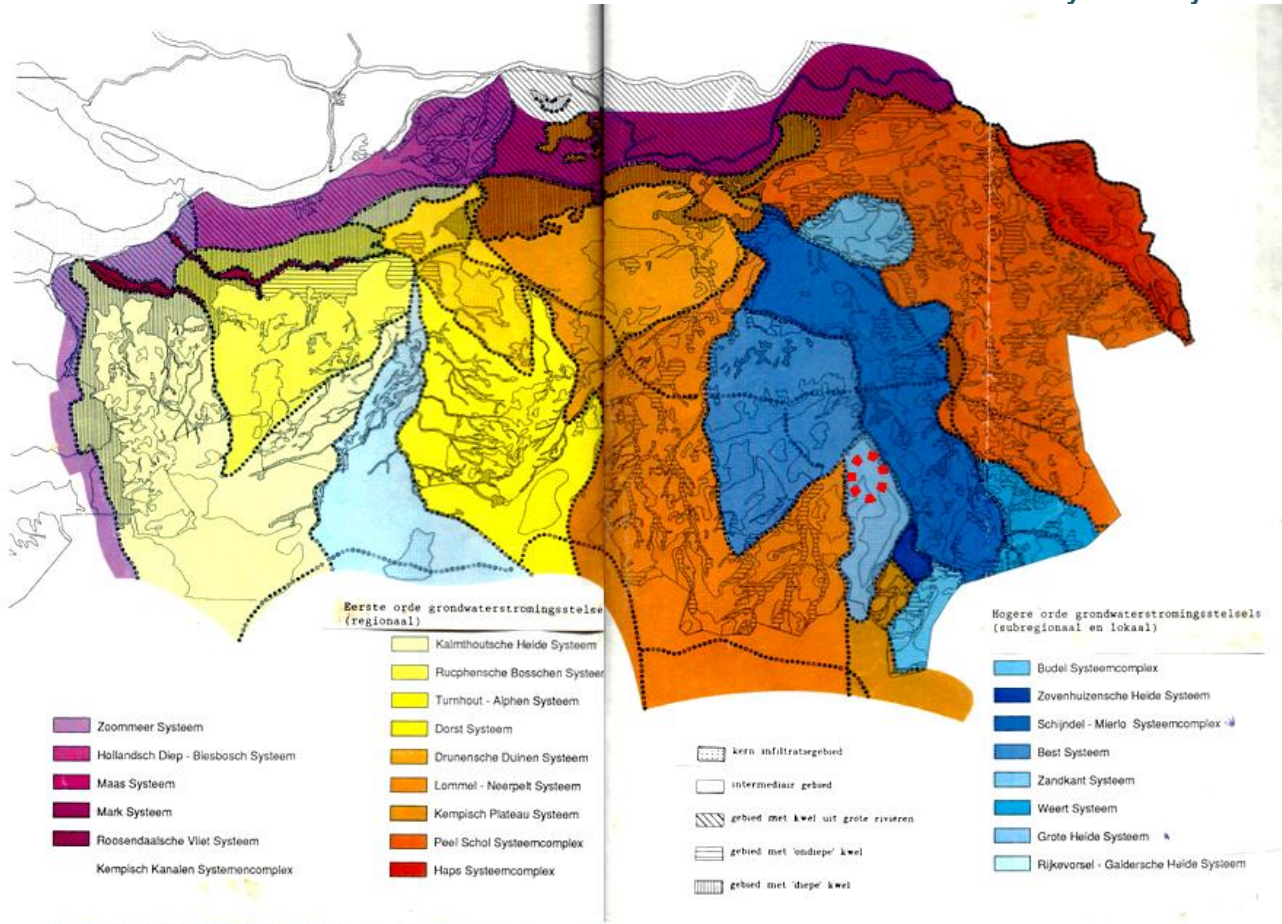
= Gijzenrooi

In de figuur hieronder is de stratigrafie en de doorlatendheid van de deklaag en het Eerste Watervoerend Pakket aangegeven: (bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>).



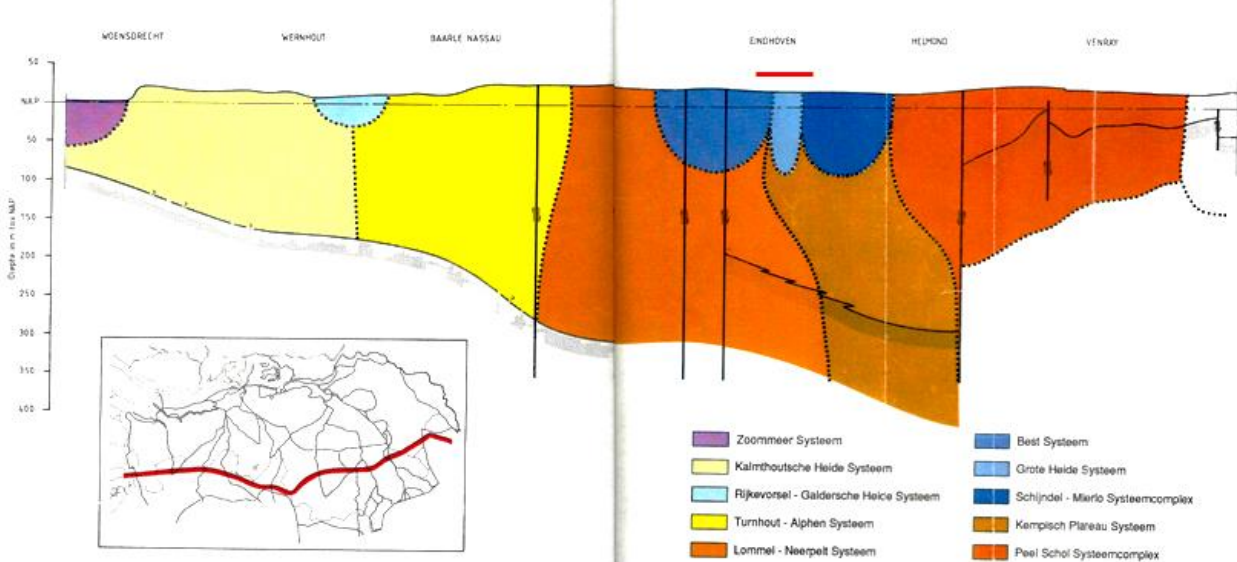
Verticale doortandtheid (kv, m/d)	Transmissiviteit verzadigde deel (kd, m2/d)
0.0E0 ≤ kv < 5.0E-5	0.0E0 ≤ kd < 1.0E0
5.0E-5 ≤ kv < 1.0E-4	1.0E0 ≤ kd < 5.0E0
1.0E-4 ≤ kv < 5.0E-4	5.0E0 ≤ kd < 2.5E1
5.0E-4 ≤ kv < 1.0E-3	2.5E1 ≤ kd < 5.0E1
1.0E-3 ≤ kv < 5.0E-3	5.0E1 ≤ kd < 1.0E2
5.0E-3 ≤ kv < 1.0E-2	1.0E2 ≤ kd < 2.5E2
1.0E-2 ≤ kv < 5.0E-2	2.5E2 ≤ kd < 5.0E2
5.0E-2 ≤ kv < 1.0E-1	5.0E2 ≤ kd < 1.0E3
1.0E-1 ≤ kv < 1.0E9	1.0E3 ≤ kd < 1.0E9





Figuur 18 : De grondwaterstromingsstelsels van het type (Gnr,n) (Gr,o) en (Ov,o) in de provincie Noord-Brabant

Gijzenrooi is onderdeel van het oppervlakkige Grote Heide systeem



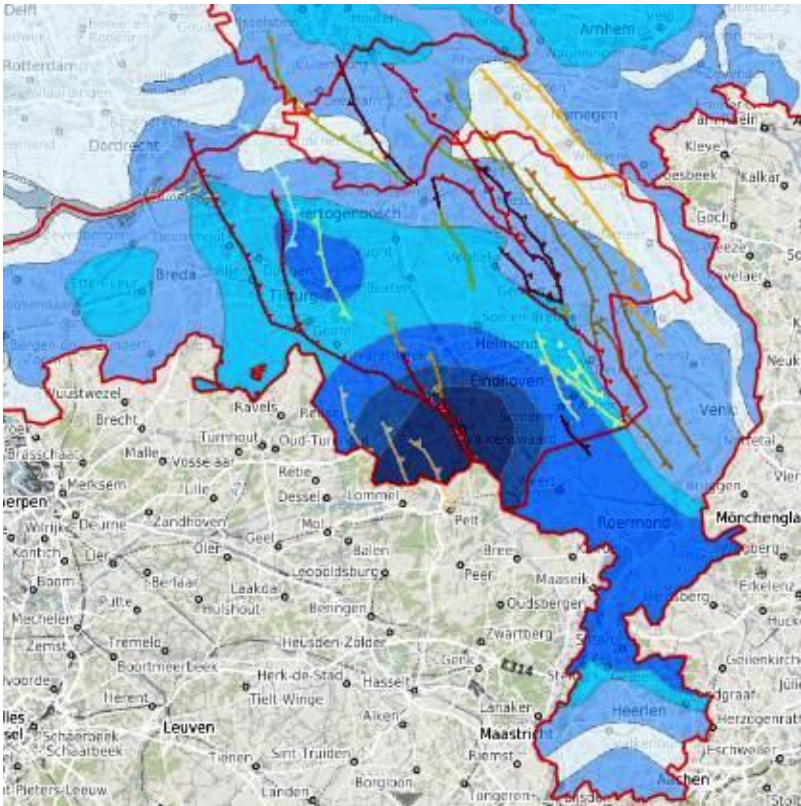
Figuur 19 : Een verticale doorsnede met de grondwaterstromingsstelsels van het type (Gnr,n) (Gr,o) en (Ov,o) in een oost-west profiel in de provincie Noord-Brabant

Fig 19

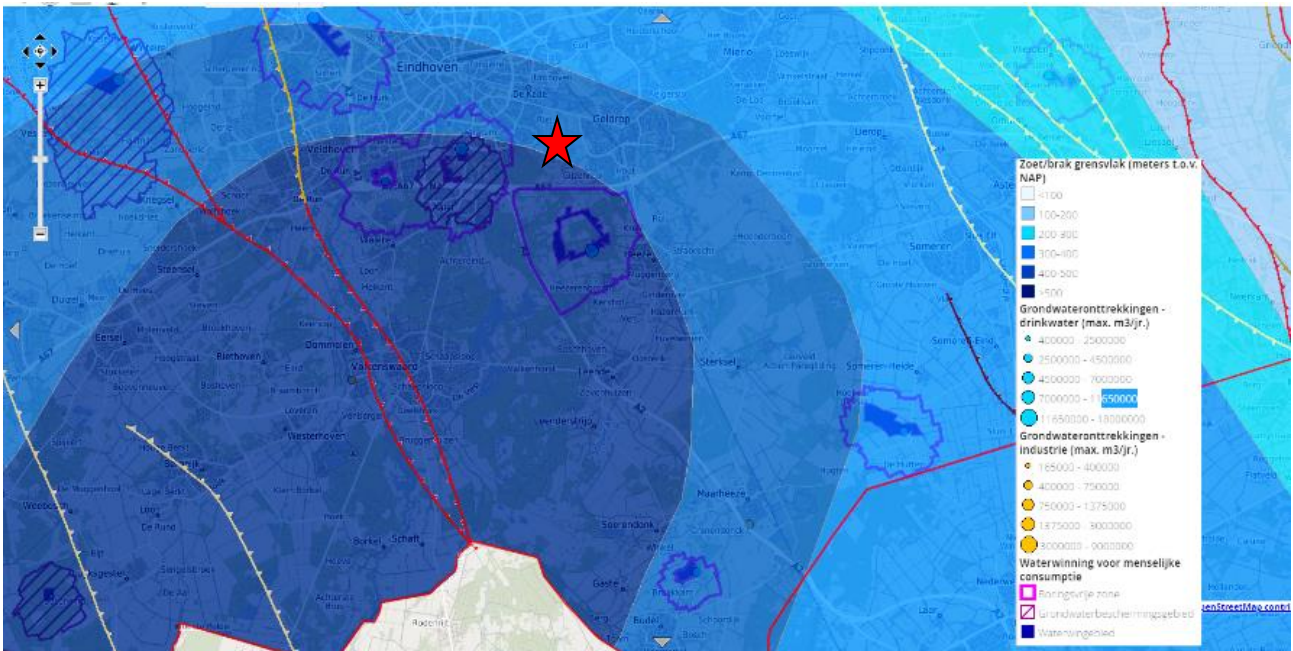
(bron: Stuurman 1990)

5. GRENSVLAKKEN

Het brak/zout grensvlak ligt in de Centrale Slenk – het diepst van Nederland, in een deel tot ongeveer 500m diep. Vrij snel daaronder (ongeveer 100 m dieper) bevindt zich de overgang van brak naar zout water.



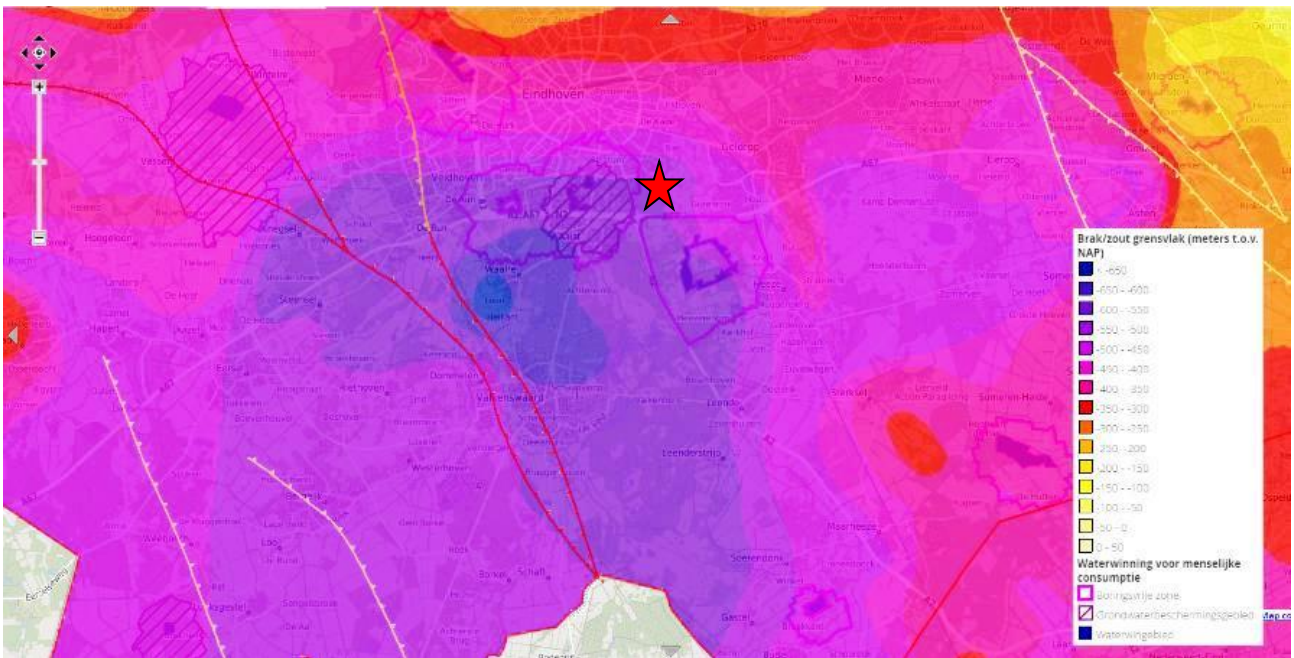
Zoet/brak grensvlak. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)



Zoet/brak grensvlak. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

= Gijzenrooi

Brak/Zout grensvlak



Brak/Zout grensvlak. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

= Gijzenrooi

6. WATERONTTREKKING IN NOORD BRABANT

De winningen van Brabant Water vinden plaats boven het brak/zout grensvlak, dus ze kunnen ongeveer tot 400-500 m diep winnen. Volgens Wikipedia zijn de winningen van Brabant Water tot rond de 300 m diep. (https://nl.wikipedia.org/wiki/Brabant_Water#:~:text=In%20de%20waterwingebieden%20Grote%20Heide%20tot%20320%20meter.)

Geschiedenis

Brabant Water is in 2002 ontstaan uit een fusie tussen Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant en Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant. De geschiedenis van deze twee bedrijven gaat terug naar 1924 (WNWB) en 1936 (WOB).

Enkele steden in Noord-Brabant hadden eerder al hun eigen waterleidingbedrijf, waarvan 's-Hertogenbosch en Roosendaal in 1887 de primeur hadden. Later volgden Breda (1894), Tilburg (1895), Helmond (1899), Bergen op Zoom (1899), Waalwijk (1901) en Eindhoven (1904).

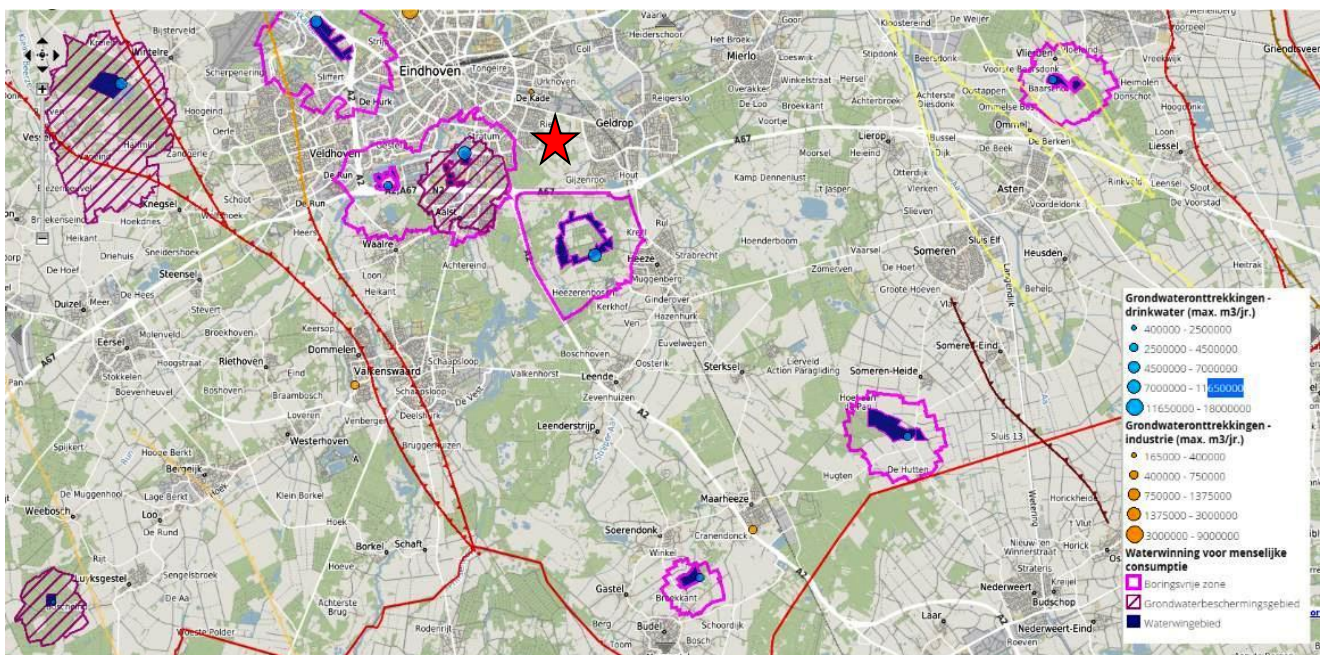
De streekwatervoorziening in Noord-Brabant kwam later op gang. Op het platteland voorzagen de meesten in hun eigen waterbehoefte door het houden van een eigen waterput, die een redelijke kwaliteit drinkwater leverde. Door de komst van militairen en Belgische vluchtelingen gedurende de Eerste Wereldoorlog kwam er meer behoefte aan water op het platteland. Dit leidde tot de oprichting van Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant in 1924. Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant is in 1936 opgericht.

Bescherming en winning

De 30 waterproductiebedrijven van het bedrijf zijn verspreid over geheel Noord-Brabant. Al het drinkwater wordt geproduceerd uit grondwater. De grondwaterbronnen worden beschermd. Hiervoor zijn grondwaterbeschermingsgebieden en waterwingebieden aangewezen. De meeste waterwingebieden hebben een natuurfunctie en zijn rijk aan, soms zeldzame, planten en dieren. In de waterwingebieden Grote Heide en bij Oosterhout zijn 'waterwandelingen' te maken waarbij men geïnformeerd wordt over de bescherming en winning van grondwater.

Het grondwater wordt gewonnen met in totaal 610 pompputten met een diepte die varieert van 20 tot 320 meter. De kwaliteit van het gewonnen grondwater wordt gecontroleerd door middel van een geautomatiseerd meetnet.

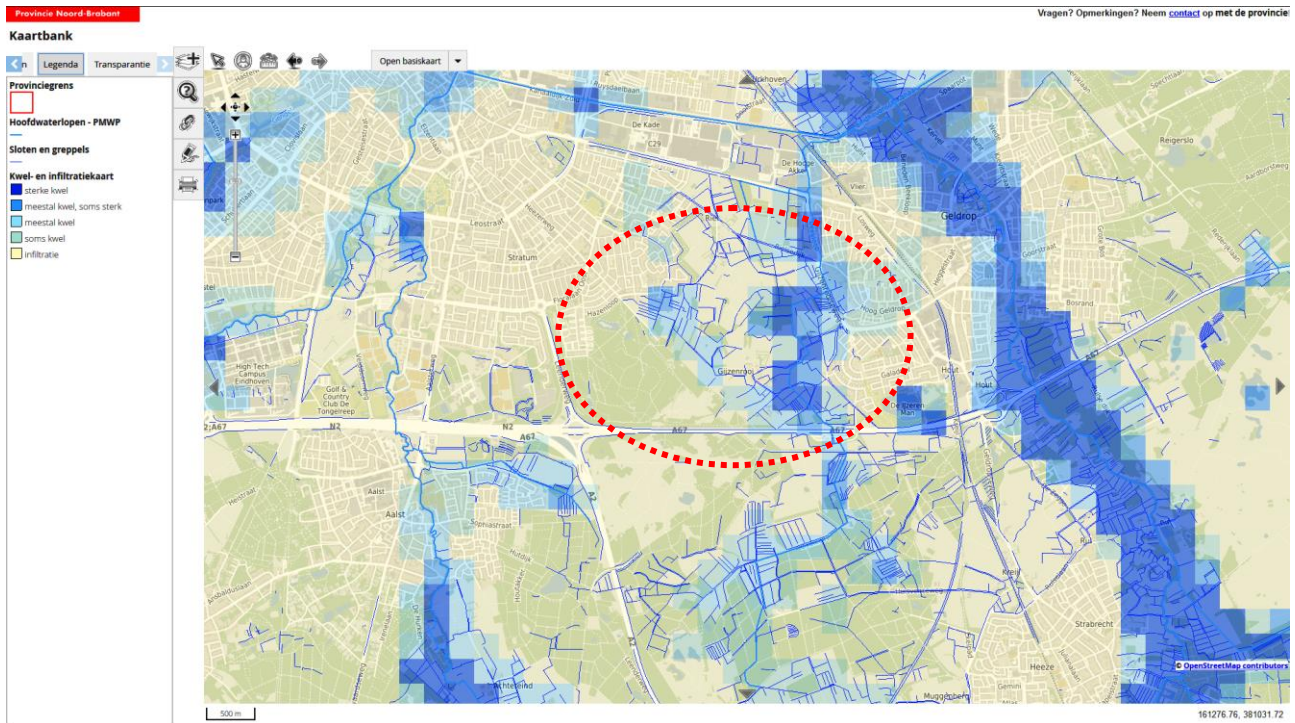
Dit zijn de grote putten (7 stuks) en industriële putten (3x) en de wingebieden



Grondwater onttrekkingen. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

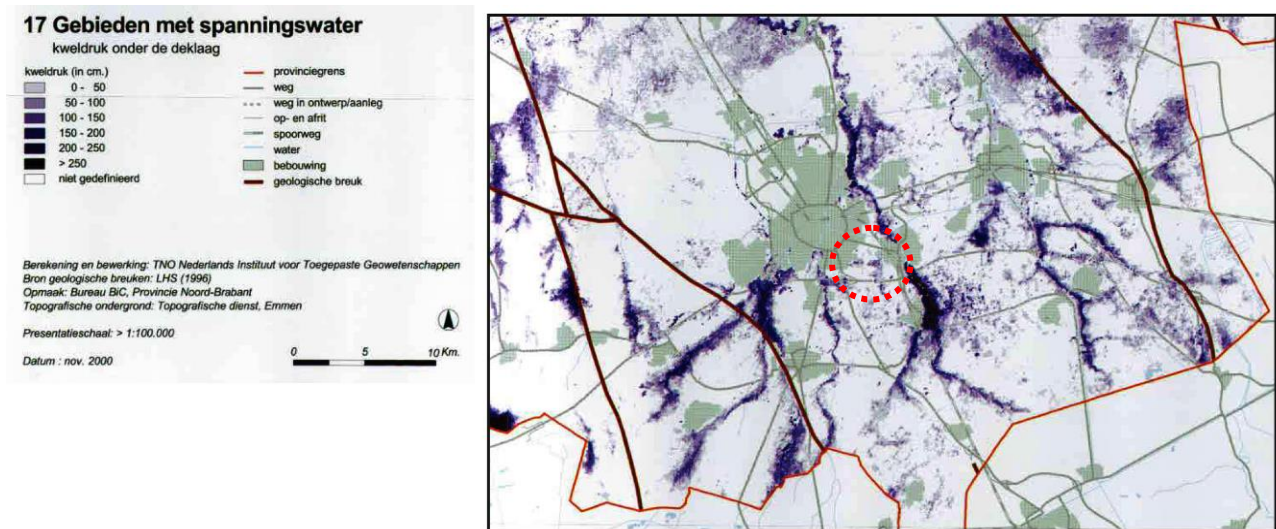
= Gijzenrooi

Daarnaast wordt veel water weggeleid uit het gebied via grote aantallen waterlopen. Toch vindt er op bepaalde plaatsen en vooral in de beekdalen toch nog enige kwel plaats.



Waterlopen en kwel. (bron: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>)

= Gijzenrooi



Kweldruk onder de deklaag (Bron: Stuurman – Watersystemen in Beeld; 2000).

7. BRUINKOOLGROEVEN DUITSLAND

Daar waar de Centrale Slenk versmalt, net over de grens bij Roermond in Duitsland, liggen de bruinkoolgroeven van Hambach, Inden en Garzweiler.



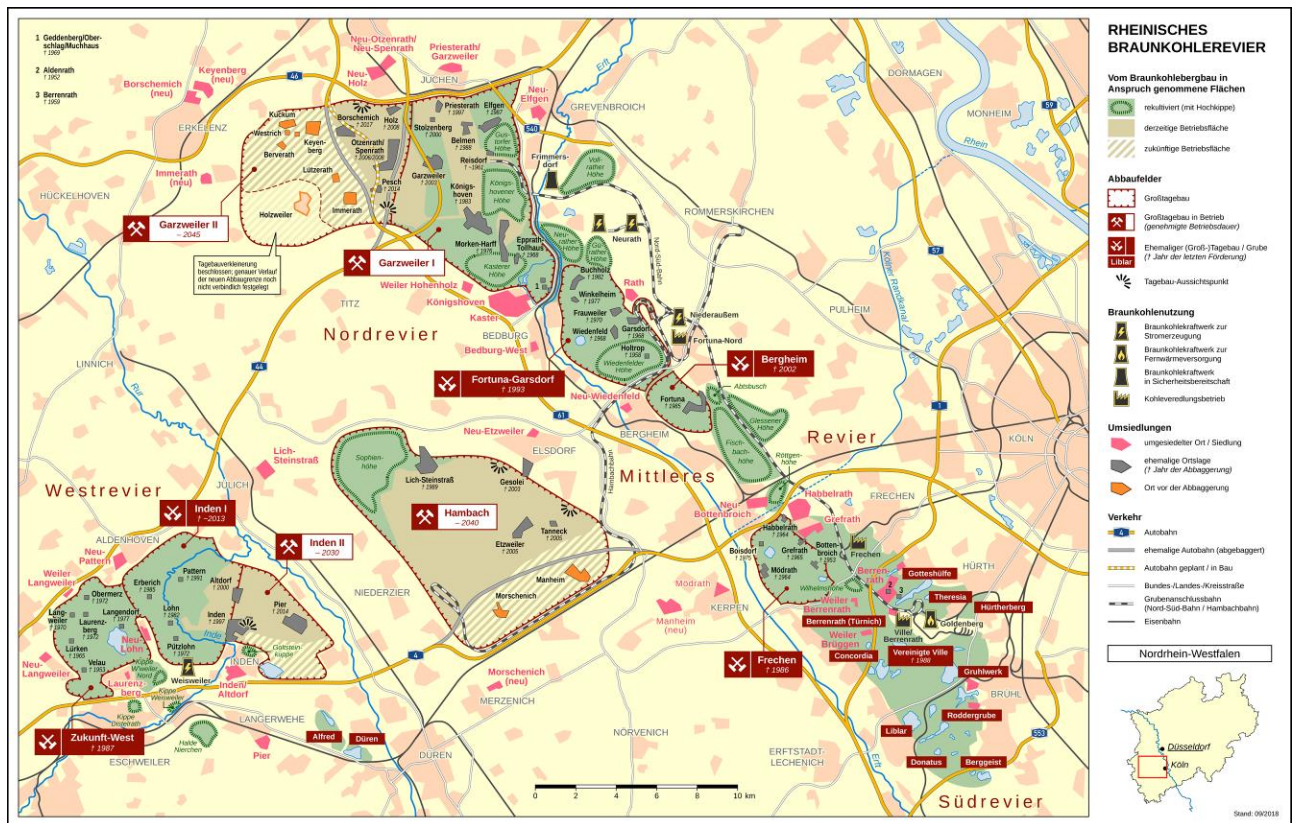
Garzweiler



Garzweiler

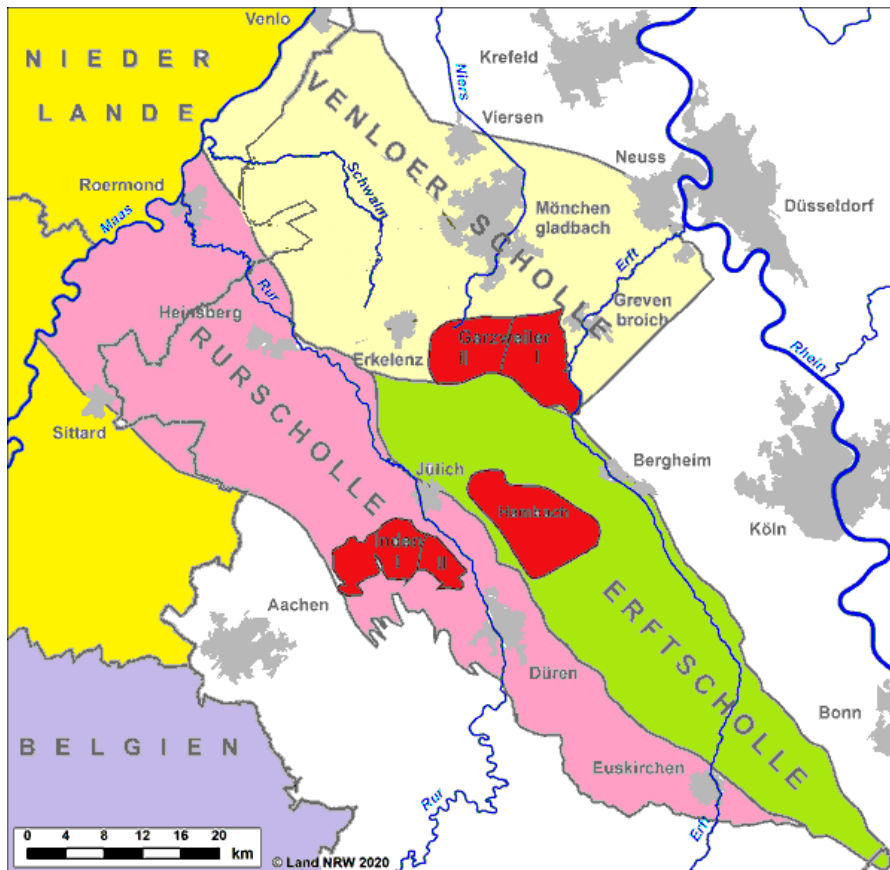
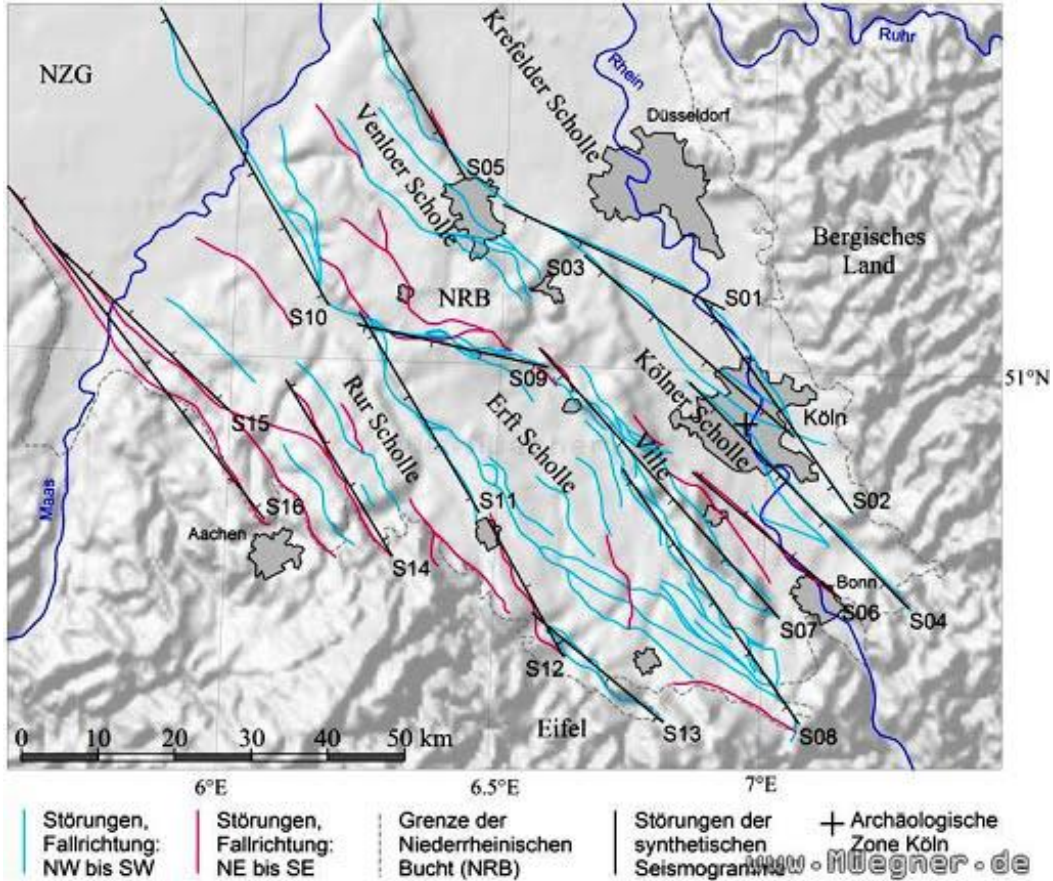


Garzweiler



Locatie van de bruinkoolgroeven

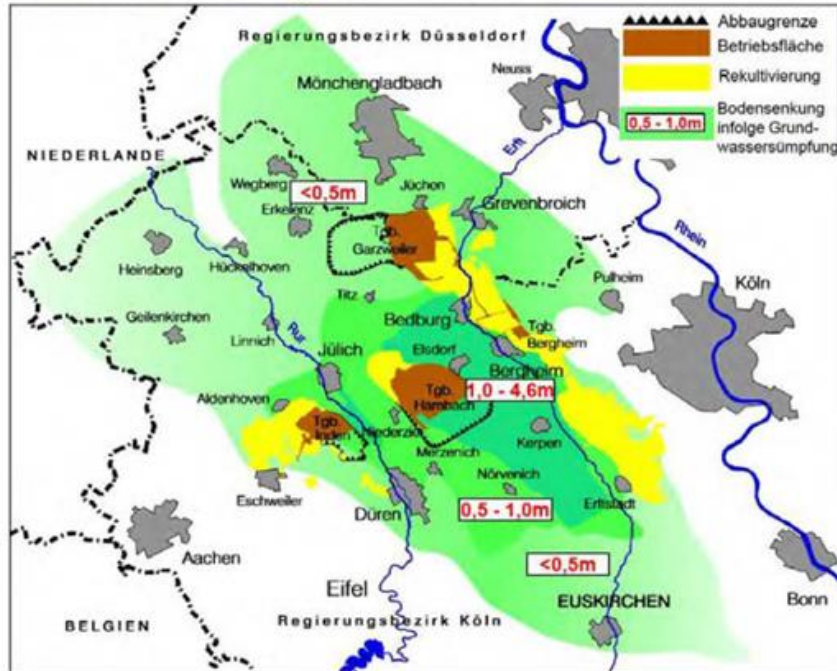
De winningen vinden plaats tussen verschillende breukensystemen:



Om de dagbouw plaats te laten vinden wordt grootschalig en diep ontwaterd: dit is jaarlijks goed voor een waterafvoer van 540 miljoen kuub per jaar tot 550 m diep. (<https://www.bund-nrw.de/themen/braunkohle/hintergruende-und-publikationen/verheizte-heimat/bergschaeden-durch-braunkohle/>)

Door de winningen daar veranderd de bodem. Ook daar vindt daardoor bodemdaling grootschalig plaats.

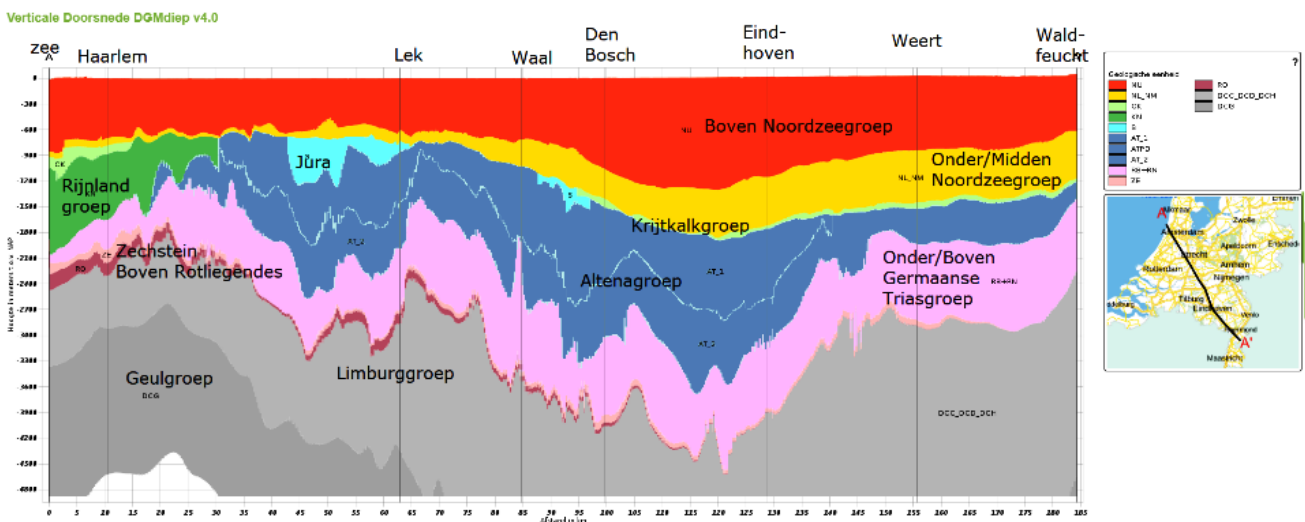
Bodensenkungen 1955 bis 2013



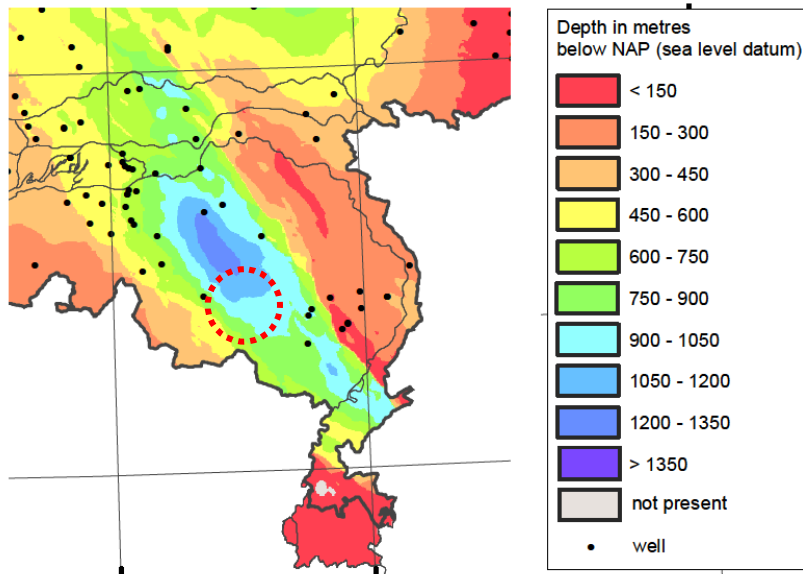
Gemessene Bodensenkungen infolge von Grundwasserabsenkungen (Quelle: KRUPP 2015)

De afzettingen in dit deel van Duitsland staan in verbinding met die in Nederland via de zogenaamde "Boven Noordzee Groep" (NU), bestaande uit de Formaties van Boxtel, Sterksel, Stramproy, Peize/Waalre, Kiezelsand, Oosterhout en Breda. Die vormen de bovenste laag van de afzettingen in de Centrale Slenk.

Bijgevoegd een kaart met de diepteligging van de NU en een profiel van de Centrale Slenk van Noordwest naar Zuidoost zowel uit REGIS als Diepe Ondergrond Model. De NU neemt in dikte af naar het Zuidoosten.

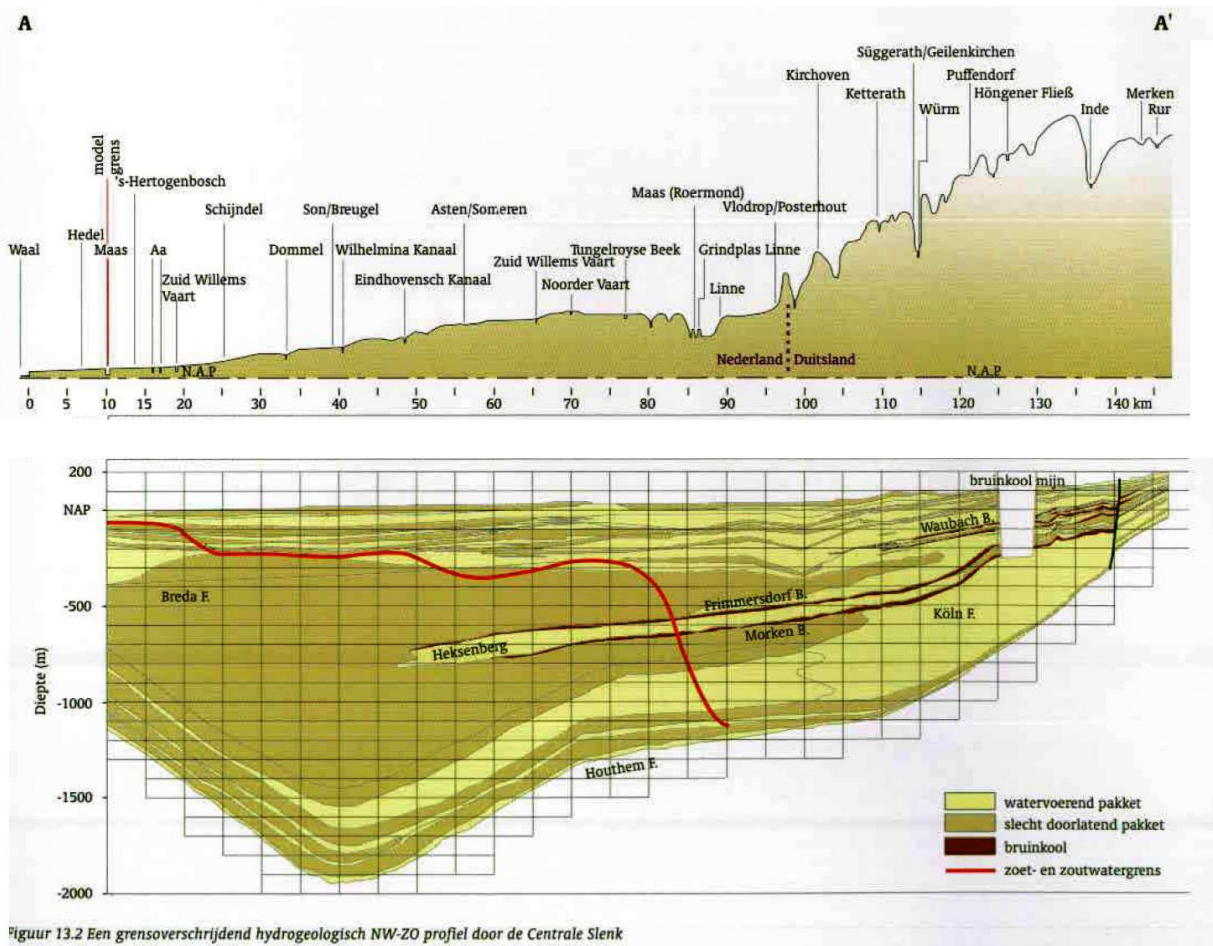


Doorsnede ondergrond: (bron: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>).



Depth of the base of the Upper North Sea Group NU (Neogene)

Dikte "Boven Noordzee Groep" (NU). (bron: <https://www.dinoloket.nl/digitaal-geologisch-model-dgm-diep>)



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

Bron: Stuurman – Watersystemen in Beeld (2000).

Omdat de Boven Noordzee groep reikt tot in Duitsland, wil dat ook zeggen dat de waterleverantie vanuit Duitsland naar de Centrale Slenk jarenlang is beïnvloed. Stuurman 2007 geeft de meest recente inschatting en historisch overzicht en schrijft op pp 105.

In de zogenaamde Niederrheinische Bucht tussen Keulen, Mönchengladbach en Aken wordt door de Rheinbraun in verschillende groeves (in open dagbouw) bruinkool gewonnen (figuur 9.5). Hiervoor moet het grondwater plaatselijk honderden meters worden verlaagd. Gemiddeld wordt, net over de grens van Nederland, per jaar 1,2 miljard m³ grondwater onttrokken. Dit komt overeen met de totale grondwateronttrekking in Nederland (zie hoofdstuk 7 van Stuurman).

Deze enorme grondwateronttrekking vindt in verschillende tektonische blokken plaats: Groeve Inden in de Roerdalslenk, Groeve Garzweiler in de Venloslenk en groeve Hambach in de Erftslenk. De invloed verplaatst zich het sterkst via deze tektonische blokken, maar er vindt ook onderlinge beïnvloeding plaats.

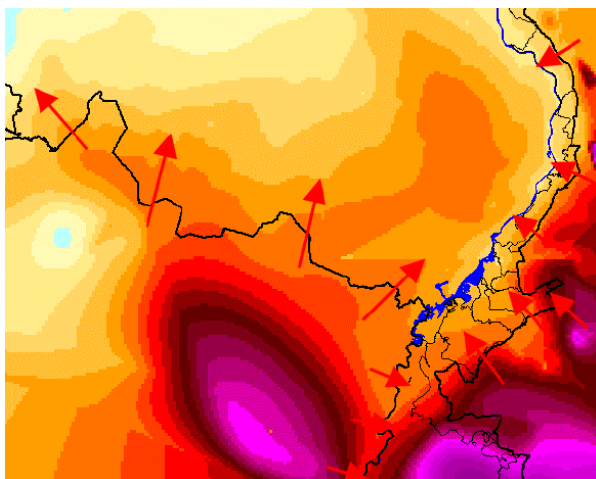
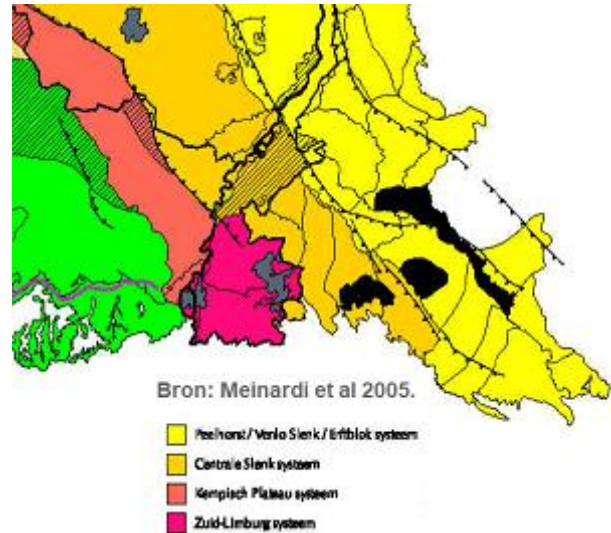
Meinardi et al. uit 2005 - positioneren de groeven ook in deze slenken.

De onttrekkingen lijken vooral de diepste systemen te raken in de onderste delen van de Boven Noordzee groep. Dit heeft dus ernstige gevolgen voor de watervoorziening van de Centrale Slenk vanuit het Duitse Maasterras. Stuurman et al (2007) schrijven:

Uit hydrochemische en isotopen onderzoek blijkt dat stijghoogtedaling de toestroming van diepe kwel doet wegvallen en op grote diepte in Limburg zoet grondwater doet verzilten doordat hier de grondwaterstroming in richting is omgedraaid. Mogelijk vindt ook in de rest van de graben op grote diepte verzilting plaats.

De verandering van het systeem vormt zowel een bedreiging voor de grondwatervoorraad bestaand uit duizenden jaren oud grondwater als voor de natuur. Verkleining van de zuivere grondwatervoorraad door verzilting en vervuiling bedreigt de waterwinning.

De van oorsprong 'diepe kwel' ontvangende natuur is in het nadeel als deze kwel wordt vervuild voor ondiepere 'Sterkselkwel'. Dit laatste watertype is namelijk kwetsbaar voor verontreiniging en op veel plaatsen al vervuild.

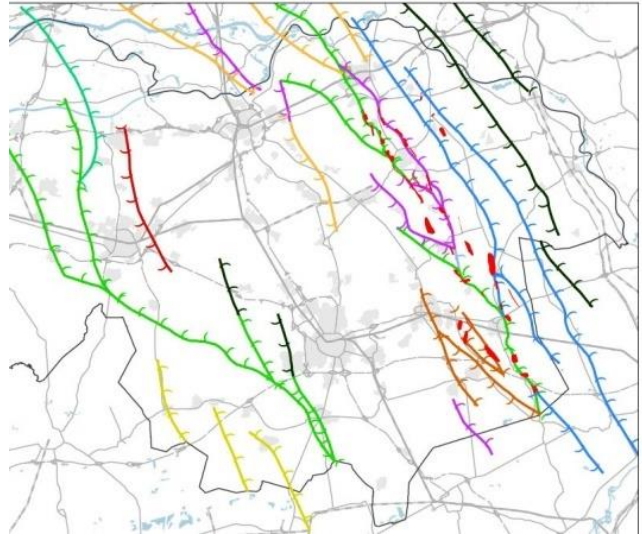


Daarbovenop, en vanuit andere richtingen komt dus water vanuit België en de Plateaus, zoals Meinardi (2005) laat zien in hun kaartje van de toestroming in het 1^e WVP.

8. DEELBREUKEN

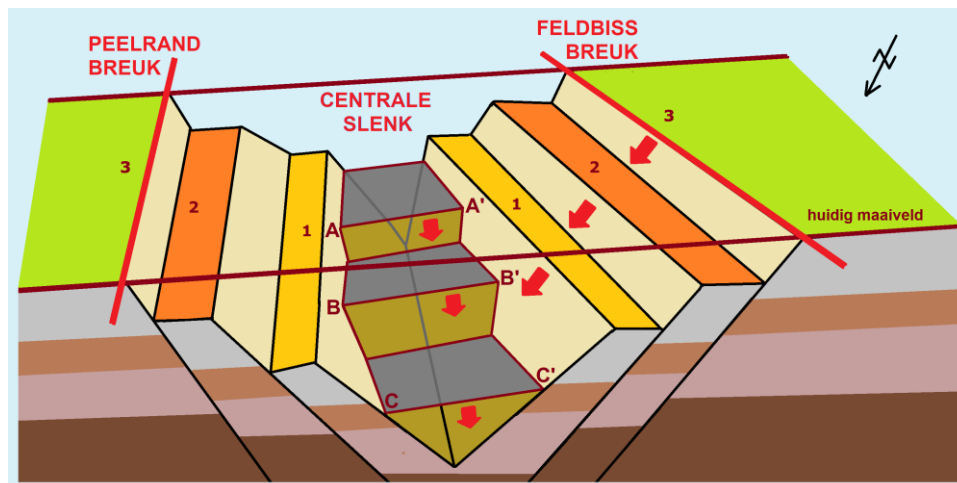
Een systeem als de Centrale Slenk kent veel parallel lopende breuken. De Brabantse Breukenkaart geeft dat goed weer.

Toch is het goed voorstelbaar dat de zand-, grind- en kleilichamen van de "Boven Noordzee Groep" (NU), bestaande uit de Formaties van Boxtel, Sterksel, Stramproy, Peize/Waalre, Kiezels Oöliet, Oosterhout en Breda niet alleen in de lengterichting van de breuk op meerdere plaatsen afschuiven, maar ook haaks of schuin daarop.

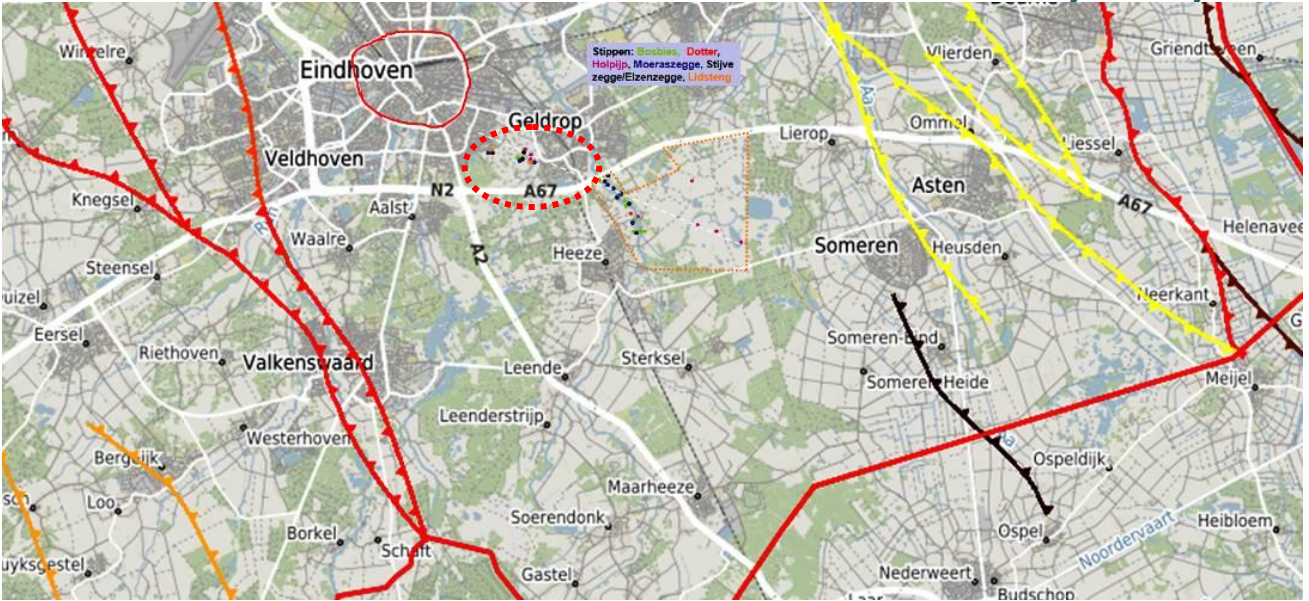


Feldbiss bij Brunssum

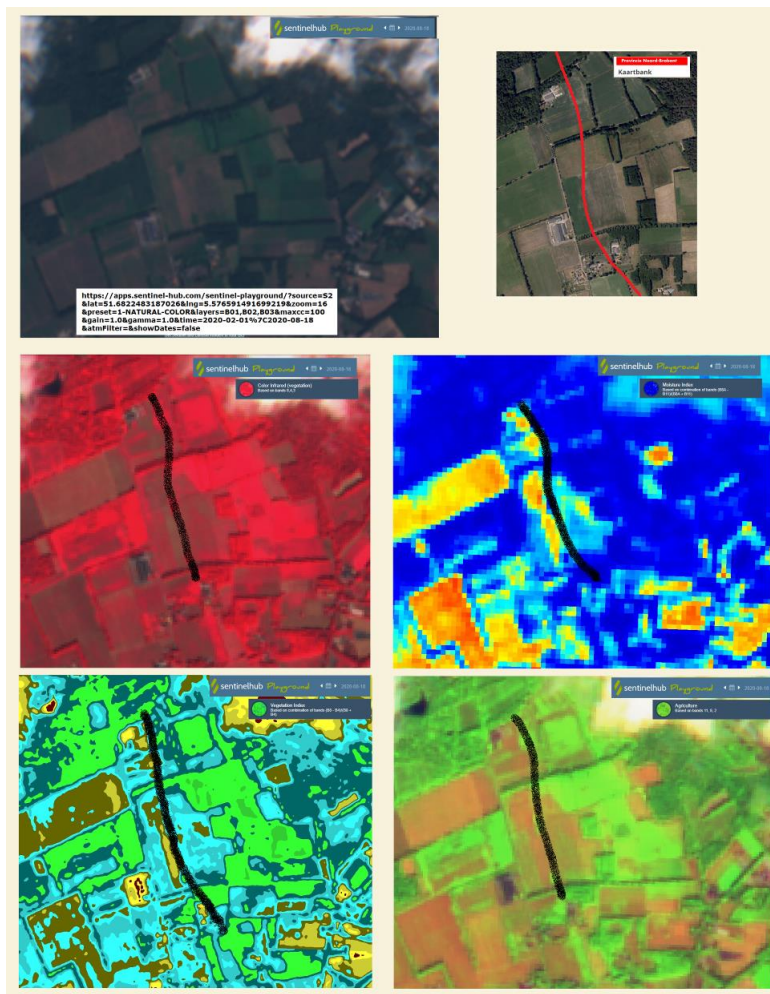
Dat zou dus aanleiding kunnen geven tot een grote complexiteit aan hoofdbreuken in de lengte (zie de nummers 1 – 3 hieronder in de schematische figuur) en andere haakse/schuine breuken (zie de lijnen A-A' en B-B' en C-C' hieronder).



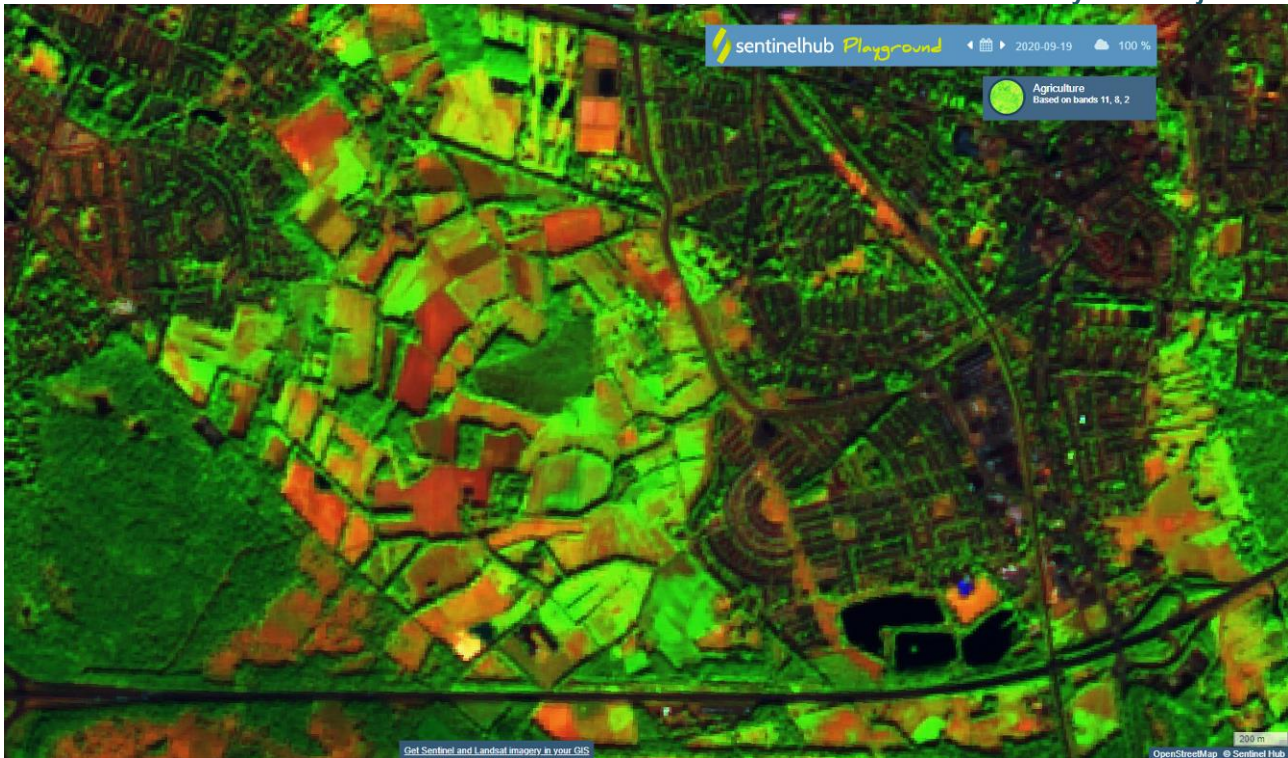
Deze laatste categorie breuken is echter niet systematisch in beeld gebracht en beschikbaar op kaart. Ze zijn echter buitengewoon relevant voor lokale systemen die dus gevoed kunnen worden door kwel dat zich langs dit soort kleine zijbreukjes voordoet. Naast systematisch seismisch onderzoek kunnen ook verspreidingsgegevens van kwelindicerende plantensoorten uitkomst bieden. De onderzoekslocatie is hieronder in de grotere context van breuksystemen weergegeven.



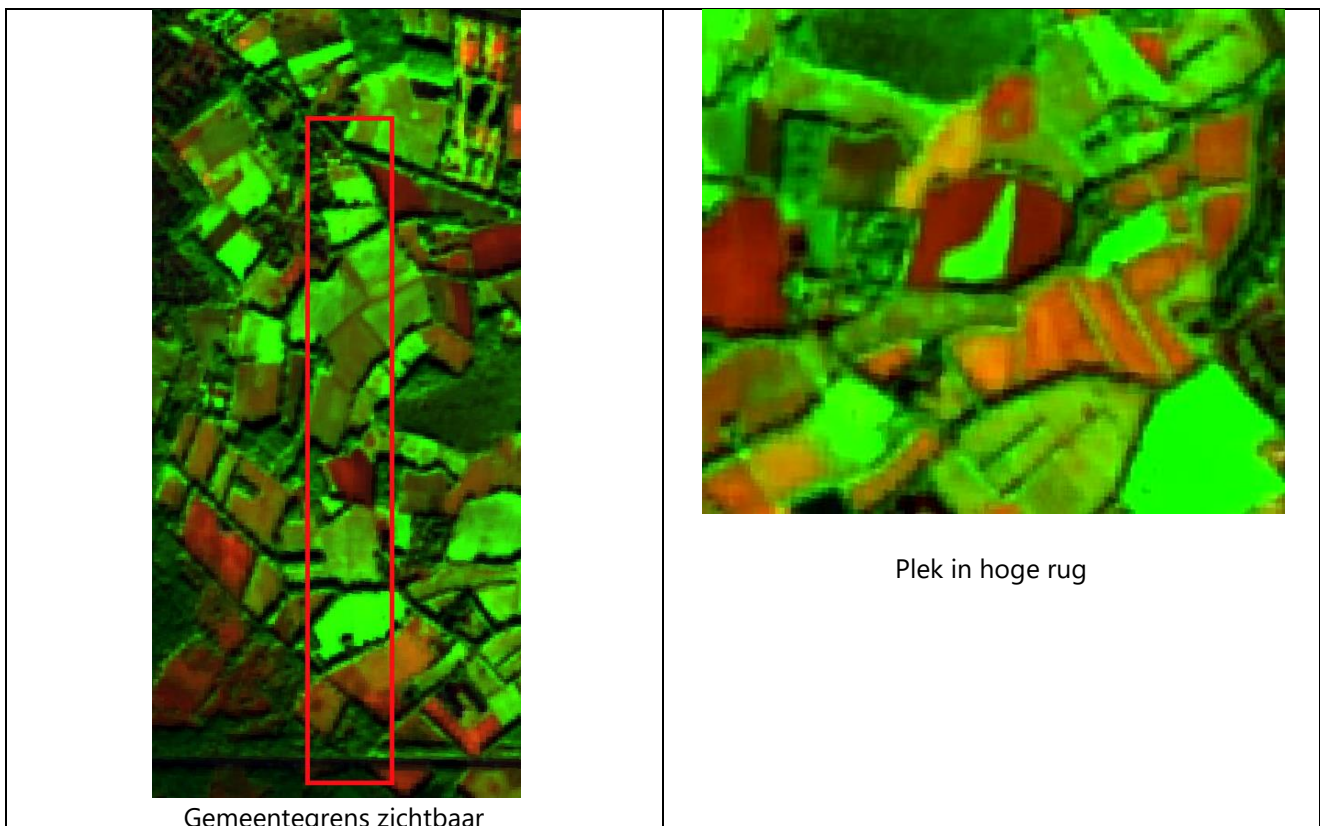
In het kader van dit onderzoek is gekeken of het mogelijk is via multispectraalbeelden van de SENTINEL 2 satelliet breukjes in het gebied op te sporen. Dat is getest op een Wijst locatie aan de Piet Geersdijk bij Uden, waar in een droge periode aantoonbare verschillen te zien waren in de verkleuring van een graslandvegetatie waar in de tussentijd geen beheersingrepen waren geweest.



Een grondige analyse van SENTINEL 2 beelden vanaf 2016 heeft echter geen resultaten opgeleverd. Dat wil niet zeggen dat zijbreukjes niet bestaan, alleen dat deze techniek hun bestaan niet kan aantonen. Een voorbeeld van een SENTINEL-beeld is hieronder weergegeven (19 September 2020).



Het enige opvallende aan de beelden is dat de Gemeentegrens tussen Eindhoven en Geldrop stevast zichtbaar is. Ook is er in 2020 een ander gekleurde plek zichtbaar op een hoger gelegen rug. Het is onduidelijk of beide situaties veroorzaakt zijn door verschillen in beheer.



9. BIJLAGE 1: VERKENNING WATERVRAAG NOORD-BRABANTSE NATUUR (OVERGENOMEN UIT STUURMAN ET AL. 2020).

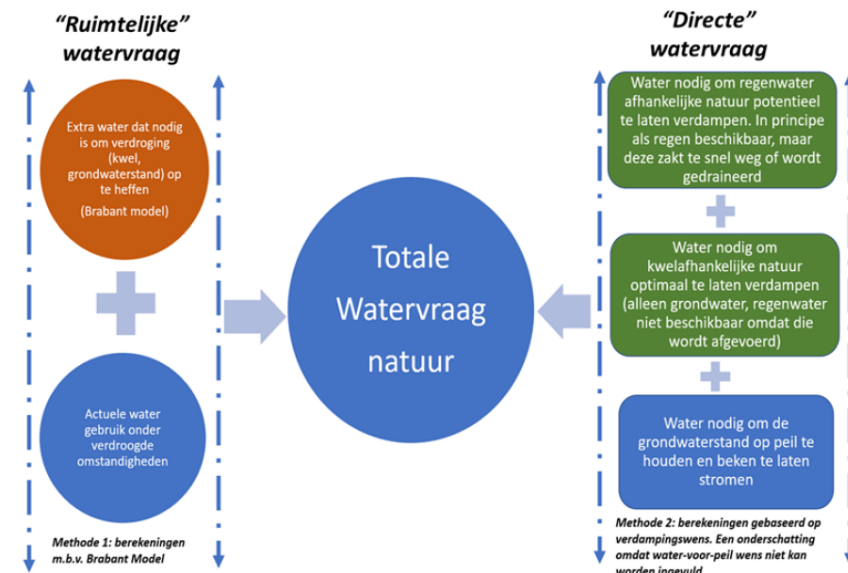
Recent is de publicatie verschenen over de waterbehoefte voor de Brabantse natuur: door Stuurman et al. 2020¹. De aanleiding was om de waterbehoefte van de grondwaterafhankelijke natuur in beeld te brengen, in een balans met de input en de andere vragen vanuit drinkwater, industrie en landbouw en (oppervlakkige) afvoer.

Samenvatting Stuurman et al (2020).

Uit dit onderzoek blijkt, dat de beschikbaarheid van kwel aan of dichtbij het maaiveld een belangrijke motor is om de grondwaterafhankelijke natuur goed te laten functioneren. Op dit moment is in grote delen van Brabant, al vroeg in het voorjaar, maar zeker in de zomer, onvoldoende kwel voor de natuur beschikbaar en zakken ook de grondwaterstanden in grondwaterafhankelijke natuur, zoals natte heide, vennen, hoogveen te veel uit.

Voor het oplossen van deze uitzakking en om de kwelbehoefte van de natuur te herstellen, is herstel van het watersysteem noodzakelijk. Effectieve maatregelen om voldoende kwel in de natuur terug te brengen, liggen grotendeels buiten de natuurgebieden.

De "grondwatervraag" is veel groter dan het "grondwatergebruik" van de natuur.



Figuur 5.1: Schematische bepaling van de watervraag natuur. Rechts de watervraag om optimaal te kunnen verdampen die samen de totale watervraag bepalen. Links de beleidsmatige watervraag, de hoeveelheid water die nodig is om de natuur te herstellen.

Voor het herstel van het watersysteem is naar schatting ongeveer 350 miljoen m³ grondwater per jaar nodig. In dit onderzoek benoemd als "de ruimtelijke watervraag". Deze "vraag" is ook goed voor functies, zoals land- en tuinbouw en infrastructuur en stedelijk gebied (o.a. om verzakking als gevolg van droogte te verminderen).

De "ruimtelijke vraag" bestaat uit twee soorten oplossingsrichtingen.

1. Door de drainagewaterafvoer met ca. 250 Miljoen m³/jaar te verkleinen kan de grondwatersituatie structureel worden verbeterd. Dit vraagt om een 16-17 % verkleining van de huidige oppervlaktewaterafvoer.
2. Daarnaast is een afname van de grondwateronttrekking (beregening, drinkwatervoorziening, anderen) van ca. 100 Mm³/jaar nodig. Dit komt neer op een afname van ca. 30%.

De directe grondwatervraag natuur (kwelwater afkomstig uit de watervoerende pakketten waar ook grondwater voor beregening en drinkwater wordt onttrokken) is, als de verdroging is hersteld, ongeveer 50-60 miljoen m³/jaar. Op dit moment is slechts een deel hiervan (schatting enkele tientallen miljoenen m³/jaar) voor de natuur beschikbaar.

❖ Scenarios voor aanpassing van de grondwatersituatie.

Hieronder zijn de hoofdlijnen van de resultaten uit de berekeningen per scenario door Stuurman et al (2020) samengevat. De figuren geven schematisch weer hoe het watersysteem wordt veranderd. De

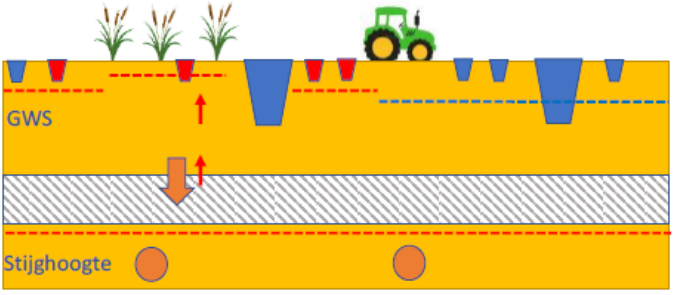
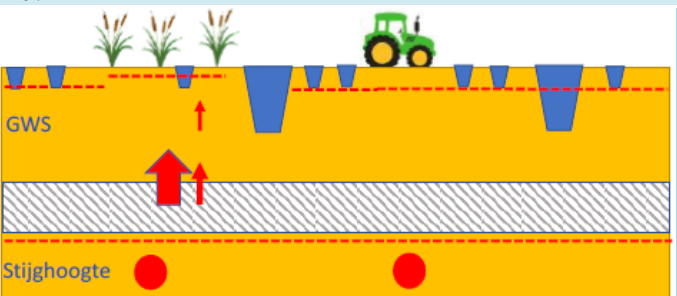
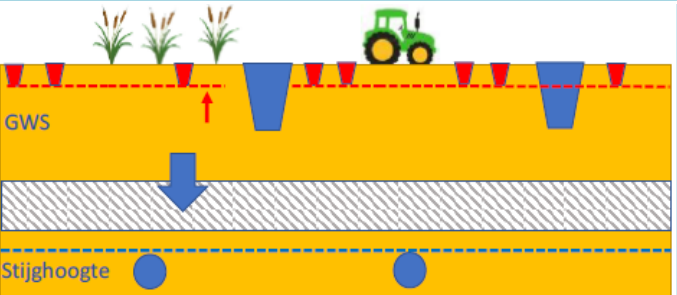
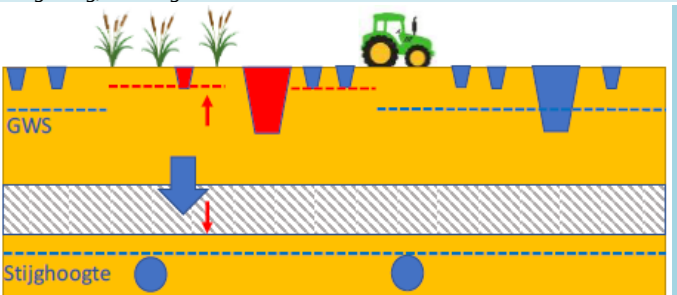
¹ Roelof Stuurman (Deltares), Floris Verhagen en Arjan van Wachtendonk (Royal HaskoningDHV) en Han Runhaar (Ecogroen); 2020; Een verkenning naar de Watervraag van de Noord-Brabantse Natuur. Deltares 11203929-002-BGS-0002.)

grondwaterstand is met stippellijnen weergegeven en de waterfluxen met pijlen. Veranderingen zijn in rood weergegeven.

Met het grondwatermodel van de provincie Noord-Brabant (Brabantmodel 2018) zijn berekeningen gemaakt. De resultaten van de fictieve scenario's zijn beschikbaar op een detailniveau van de modelcellen van 250 bij 250 meter. Het model omvat de gehele provincie en een ruim gebied hieromheen. Er zijn berekeningen gemaakt voor de periode 2009-2016.

Figuur overgenomen uit Stuurman et al (2020).

NO	SCENARIO	BEELD
U	<p>Uitgangssituatie</p> <p>De uitgangssituatie is schematisch hiernaast weergegeven. Een natuurgebied, met al wat hogere grondwaterstanden, wordt omgeven door landbouwgebied. Voor de overzichtelijkheid is stedelijk gebied in de figuur weggelaten. Grondwater infiltreert naar het diepere water-voerende pakket dat een lagere stijghoogte heeft. Het gaat uiteraard om een gemiddelde en sterk geschematiseerde situatie.</p>	
1	<p>Scenario 1</p> <p>Buffering in natuurgebieden</p> <p>In dit scenario wordt alle detailontwatering in de natuurgebieden verwijderd. Binnen het natuurgebied kan water dan alleen over maaiveld worden afgevoerd.</p> <p>De peilen van de grote waterlopen zoals de beken blijven onveranderd. Het resultaat is dat de grondwaterstand in de natuurgebieden in de zomer gemiddeld stijgt met 2,4 cm.</p> <p>De stijging is beperkt omdat er in de huidige situatie beperkt water wordt gedraineerd binnen de natuurgebieden. Er wordt nu nog minder water afgevoerd. Alleen de ondiepe kwel neemt toe.</p>	<p>Gemiddeld effect in de zomer: +2,4 cm grondwaterstand (GLG) 2,8 miljoen m3 grondwaterminder afvoer (conservering) Geen effect op (diepe) kwel</p>
2	<p>Scenario 2</p> <p>Buffering in attentiegebieden</p> <p>Nu wordt aanvullend het drainageniveau in de omliggende attentiegebieden met 20 cm verhoogd. Dit zorgt voor een iets verdere toename in grondwaterstand; het effect is echter beperkt (3,7 cm).</p> <p>Ten opzichte van scenario 1 wordt binnen de natuurgebieden minder grondwater vastgehouden, omdat de attentiegebieden ook grondwater vasthouden. Evenals in scenario 1 komt er geen extra grondwater vanuit diepere lagen (diepe kwel).</p>	<p>Gemiddeld effect in de zomer: +3,7 cm grondwaterstand (GLG) 2,4 miljoen m3 grondwaterminder afvoer (conservering) Geen effect op (diepe) kwel</p> <p>Toelichting uitkomsten</p> <p>Globaal ongeveer hetzelfde als scenario 1. In scenario 2 wordt er wel minder water afgevoerd door greppels en detailontwatering (door lagere GLG) dan scenario 1. De ontwatering wordt overgenomen door primaire waterlopen (de beken).</p>

3	<p>Scenario 3 Ook reductie winningen In dit scenario wordt extra ten opzichte van scenario 2 de grondwaterwinning met 30% gereduceerd. In dit scenario wordt duidelijk gemaakt wat met een combinatie van maatregelen is te realiseren. Behalve dat de grondwaterstand toeneemt (7,6 cm), neemt ook de diepe kwel en daardoor de afvoer in de natuurgebieden toe. In vergelijking met de hoeveelheid water die wordt onttrokken voor landbouw en drinkwater is dit echter een kleine hoeveelheid (1,8 miljoen m3 in het zomerseizoen).</p>	 <p>Gemiddeld effect in de zomer: +7,6 cm grondwaterstand (GLG) 1,8 miljoen m3 meer grondwaterafvoer Door aanvoer van (diepe) kwel Toelichting Meer grondwaterafvoer betekent ook meer beekafvoer. De grote pijl staat naar beneden gericht omdat netto sprake is van infiltratie, maar deze wordt in dit scenario wel kleiner. Lokaal is er dan wel sprake van meer kwel.</p>
4	<p>Scenario 4 Geen onttrekkingen Het scenario zonder onttrekkingen laat zien wat de theoretische maximale verhoging in stijghoogte zal zijn als er geen onttrekking meer is (drinkwater, industrie, landbouw). Gemiddeld stijgt de diepe stijghoogte met ruim 150 cm. Daardoor neemt de kwel gemiddeld toe met 0,31 mm/d; in de beekdalen Centrale Slenk met 0,74 mm/d. De afvoer van water in de natuurgebieden neemt ook flink toe, maar daarbuiten in de landbouwgebieden zal het totale effect nog veel groter zijn.</p>	 <p>Gemiddeld effect in de zomer: +10,6 cm grondwaterstand (GLG) 14,4 miljoen m3 meer grondwaterafvoer Door aanvoer van diepe kwel</p>
5	<p>Scenario 5 geen detailontwatering Dit is een theoretisch scenario en laat het effect zien van [het verwijderen van] alle detailontwatering in de provincie. Dit zijn de sloten, greppels en drainagebuizen. In tegenstelling tot scenario 1 en 2 wordt nu water afgevoerd uit de natuurgebieden. De omliggende landbouwgebieden met hogere grondwaterstanden zorgen voor dit water. De afvoer neemt toe, de grondwaterstanden stijgen, de stijghoogte nauwelijks en daardoor neemt de infiltratie naar de diepte toe. Dit scenario laat zien in hoeverre de ondiepe grondwaterstand met lokale maatregelen maximaal te verhogen is.</p>	 <p>Gemiddeld effect in de zomer: +10,4 cm grondwaterstand (GLG) 4,7 miljoen m3 meer grondwaterafvoer Meer infiltratie naar de diepte: minder kwel Toelichting uitkomsten Dit scenario komt overeen met maximaal water conserveren (vasthouden) in de situatie dat de grondwateronttrekking (drinkwater, industrie, beregening) niet is gereduceerd.</p>
6	<p>Scenario 6 Peilopzet in de beken Het laatste scenario laat zien wat er mogelijk is door maatregelen binnen het natuurgebied te nemen. Niet alleen de detailontwatering wordt uitgezet, maar ook het beekpeil wordt binnen de grenzen van het natuurgebied zo ver opgezet dat geen water meer wordt afgevoerd. In werkelijkheid is dit niet te realiseren zonder ook maatregelen in de omgeving te nemen. Dit geeft een grote verhoging in grondwaterstand (bijna 20cm). Drainage vindt niet meer plaats in de natuurgebieden. De afvoer neemt sterk af.</p>	 <p>GWS Stijghoogte Gemiddeld effect in de zomer: +19,7 cm grondwaterstand (GLG) 31,5 miljoen m3 minder grondwaterafvoer Infiltratie naar diepte neemt toe</p>

❖ Samenvatting hydrologische effecten.

In deze paragraaf wordt samengevat wat de hydrologische effecten zijn voor grondwaterstand, stijghoogte, oppervlaktewaterafvoer en kwel per type gebied.

Tabel 6.5. Samenvatting van de gemiddelde verandering in grondwaterstand, stijghoogte en grondwaterafvoer naar het oppervlaktewater in de periode 2009 – 2016 voor de zes doorgerekende scenario's

Parameter	Referentie	Sc 1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6
Grondwaterstanden (m NAP)							
GHG	11.76	0.09	0.13	0.16	0.08	0.25	0.28
GVG	11.59	0.08	0.11	0.14	0.07	0.25	0.3
GLG	11.03	0.02	0.04	0.08	0.11	0.1	0.2
GHS	11.14	0.04	0.06	0.46	1.33	0.22	0.14
GVS	11.02	0.03	0.05	0.47	1.36	0.23	0.14
GLS	10.34	0.02	0.03	0.51	1.56	0.12	0.12
Afvoer zomer (Mm3/zomerhalfjaar)							
Greppels, buisdrainage en maaiveld	22.98	-10.29	-13.23	-12.33	5.93	-15.87	4.95
Primaire waterlopen (beken)	54.88	7.52	10.8	14.12	8.54	20.56	-36.44
Totale afvoer	77.85	-2.77	-2.43	1.79	14.47	4.69	-31.49
Afvoer winter (Mm3/winterhalfjaar)							
Greppels, buisdrainage en maaiveld	78.26	-29.1	-36.14	-33.33	12.82	-42.59	18.38
Primaire waterlopen (beken)	93.24	14.31	19.57	23.37	9.27	33.52	-56.63
Totale afvoer	171.5	-14.79	-16.57	-9.97	22.09	-9.07	-38.25
Afvoer zomer (mm/d)							
Greppels, buisdrainage en maaiveld	0.22	-0.1	-0.13	-0.12	0.06	-0.15	0.05
Primaire waterlopen (beken)	0.52	0.07	0.1	0.13	0.08	0.2	-0.35
Totale afvoer	0.74	-0.03	-0.02	0.02	0.14	0.04	-0.3
Afvoer winter (mm/d)							
Greppels, buisdrainage en maaiveld	0.74	-0.28	-0.34	-0.32	0.12	-0.4	0.17
Primaire waterlopen (beken)	0.88	0.14	0.19	0.22	0.09	0.32	-0.54
Totale afvoer	1.63	1.49	1.47	1.53	1.84	1.54	1.26
Kwelflux diep							
Gemiddelde diepe kwel (mm/d)	0.16	0.13	0.12	0.16	0.31	0.16	0.03
Gemiddelde diepe kwel (Mm3/jaar)	17.36	-4.09	-4.63	-0.17	15.18	-0.32	-13.84

De scenario's laten samengevat zien dat:

- er met alleen lokale maatregelen in de waterhuishouding van de natuurgebieden de grondwaterstand enkele centimeters (gemiddeld 2,4 cm) verhoogd kan worden (scenario 1) en dat de verhoging in grondwaterstand ten koste gaat van minder afvoer van grondwater uit natuurgebieden;
- in combinatie met attentiegebieden de grondwaterstand iets meer (gemiddeld 3,7 cm) kan worden verhoogd (scenario 2);
- maar met een combinatie van lokale maatregelen (scenario 1 en 2) plus het verminderen van onttrekking (scenario 3) meer water naar de natuurgebieden wordt aangevoerd vanuit diepere lagen. Dit zorgt voor meer basisafvoer naar de beken;
- de hoeveelheid extra kwel uit de diepte theoretisch gemiddeld maximaal verhoogd kan worden met 0,31 mm/d. Om gemiddeld 0,31 mm/d extra kwel te krijgen moeten alle onttrekkingen gestopt worden (scenario 4). De ontwateringsmiddelen zijn nog aanwezig in scenario 4, waardoor ook veel van het toestromende kwelwater zal worden afgevoerd.
- door de drainagebasis over het gehele oppervlakte te verhogen wel meer afvoer ontstaat binnen de natuurgebieden (scenario 5). Dit grondwater komt echter van geringe diepte;
- de grondwaterstand maximaal binnen natuurgebieden kan worden verhoogd door ook het beekpeil te verhogen (scenario 6). Dit zorgt echter voor aanzienlijk minder kwel uit de diepte.
- door reductie winningen de GLG in infiltratiegebieden significant toeneemt en ook de GLG in West-Brabantse beekdalen ca. 10 cm toeneemt.

❖ Grondwaterstand en stijghoogte

Uit onze inventarisaties en gesprekken met deskundigen bleek ook dat de zomer grondwatersituatie zichtbaar een groot negatief effect op de grondwaterafhankelijke natuur bleek te hebben. En omdat de (zomerse) Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) samenhangt met de Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) zijn deze kentallen in deze studie als uitgangspunt gebruikt voor het bepalen van de ruimtelijke watervraag om het "doelgat" te dichten (de waterwens te realiseren).

De effecten van de scenarioberekeningen op de GLG per type natuurgebied zijn samengevat in tabel 6.6. Globaal wordt het van scenario 1 naar 6 steeds natter. Maar per type natuurgebied zijn er wel verschillen te zien. De beekdalen in West-Brabant en Centrale Slenk worden sterk gedraineerd door de beken en zullen een relatief hogere GLG krijgen wanneer het waterpeil wordt opgezet (scenario 6). De infiltratiegebieden en leembossen zijn juist meer afhankelijk van het verhogen van de stijghoogte door het verminderen van onttrekkingen (scenario 3 en 4). Daardoor lekt minder water uit de gebieden weg.

Tabel 6.6: Effect op de GLG (in cm) per type natuurgebied per scenario voor een gemiddeld hydrologisch jaar. Hoe blauwer hoe meer effect.

	Referentie GLG						
	Referentie	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	m NAP	Verandering in centimeter					
Beekdalen Centrale Slenk	17,08	2,6	4,3	7,6	8,6	10,3	24,5
Beekdalen West-Brabant	6,06	2,0	3,5	7,5	10,7	8,7	37,3
Infiltratiegebieden Centrale Slenk	18,79	2,4	4,1	9,0	13,8	11,8	16,0
Infiltratiegebieden West-Brabant	9,82	2,2	3,3	9,6	17,1	8,9	21,1
Kreken West-Brabant	-1,35	1,8	2,4	5,0	6,2	6,4	10,0
Leembossen Centrale Slenk	6,99	1,2	2,2	5,0	8,0	5,9	11,6
Leembossen West-Brabant	2,21	4,1	5,1	13,0	20,8	8,4	22,4
Naad met diepe kwel Centrale Slenk	1,69	2,9	3,8	5,3	4,1	6,3	16,6
Naad met diepe kwel West Brabant	-0,97	2,9	4,0	5,0	2,8	7,2	13,6
Peelhorst	19,53	3,4	4,7	6,7	5,9	9,9	13,7

De effecten op de stijghoogte in de zomer (GLS) zijn per type natuurgebied samengevat in tabel 6.7.

In scenario 3 en 4 wordt de onttrekking verminderd waardoor de stijghoogte in de Centrale Slenk, onder de Waalre Klei, wel meters hoger kan worden. De stijghoogte in het bovenliggende watervoerende pakket (Sterksel, dit pakket is tientallen meters tot meer dan 100 meter dik) laat dan echter slechts een geringe toename in stijghoogte zien. De meeste onttrekkingen zitten in de Centrale Slenk in de diepe watervoerende pakketten onder de zeer slecht doorlatende Waalre Klei.

Het krekengebied in West-Brabant ligt ver weg van de onttrekkingen; hier is nauwelijks een effect merkbaar in stijghoogteverandering. Ook de invloed van hoofdwatervlopen is zichtbaar; de grotere watervlopen trekken minder diepe kwel weg waardoor de stijging van GLS in scenario 6 groter is dan in scenario 1.

De bevindingen van deze GLS analyse kunnen als volgt worden samengevat:

1. Vermindering van grondwaterwinning heeft een heel grote invloed op de GLS onder de Waalre Klei in de Centrale Slenk, maar een relatief geringe verhoging van de GLS in het bovenliggende Sterksel pakket in de Centrale Slenk.
2. In dit Sterksel pakket van de Centrale Slenk heeft het drainagesysteem een grotere invloed op de GLS, waarbij grondwateronttrekking voor beregening uit dit pakket ook een rol speelt.
3. In West-Brabant heeft de grondwateronttrekking op de GLS onder de beekdalen en de Naad een ongeveer vier zo grotere invloed op de GLS dan het drainagesysteem.

Tabel 6.7: Effect op de GLS (in meters) per type natuurgebied per scenario in een gemiddeld hydrologisch jaar. Hoe blauwer hoe meer effect

			Referentie	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Natuurtype	Gebied	Formatie	m NAP	Verandering in meter					
Beekdalen	Centrale Slenk	Sterksel	17,23	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2
Beekdalen	Centrale Slenk	Peize Waalre	16,25	0,0	0,0	0,7	2,1	0,1	0,1
Beekdalen	West-Brabant	Peize Waalre	6,05	0,0	0,0	0,3	0,8	0,1	0,2
Infiltratiegebieden	Centrale Slenk	Sterksel	18,78	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2
Infiltratiegebieden	Centrale Slenk	Peize Waalre	17,96	0,0	0,0	0,5	1,4	0,1	0,1
Infiltratiegebieden	West-Brabant	Peize Waalre	6,80	0,0	0,0	0,5	1,6	0,2	0,1
Infiltratiegebieden	Peelhorst	Peize Waalre/Beegden	19,37	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1
Kreken	West-Brabant	Peize Waalre	-0,95	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
Leembossen	Centrale Slenk	Sterksel	7,10	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Leembossen	Centrale Slenk	Peize Waalre	3,97	0,0	0,0	1,6	5,3	0,1	0,1
Leembossen	West-Brabant	Peize Waalre	2,40	0,0	0,0	0,2	0,5	0,1	0,2
Naad met diepe kwel	Centrale Slenk	Sterksel	1,88	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Naad met diepe kwel	Centrale Slenk	Peize Waalre	1,23	0,0	0,0	0,9	3,0	0,1	0,1
Naad met diepe kwel	West-Brabant	Peize Waalre	-0,58	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,1

❖ Gevoeligheid voor droogte

De waterbeschikbaarheid zal per zomer aanzienlijk kunnen verschillen. Het neerslagtekort (verschil tussen neerslag en potentiële verdamping) loopt vanaf 1 april in een gemiddelde zomer op tot ruim 100 mm. In een droge zomer zoals in 2015 of in 2019 neemt het tekort toe tot 200 mm; in een extreem droge zomer zoals in 2018 tot wel 300 mm. Een extra neerslagtekort van 100 mm betekent direct voor de natuurgebieden bijna 37 miljoen m³ minder water beschikbaar. Dit is de helft van de hoeveelheid water die in een gemiddelde zomer wordt afgevoerd door de natuurgebieden.

In een extreem droge zomer van 2018 is het extra neerslagtekort ongeveer gelijk aan de totale zomerafvoer. Dit laat zien dat het weers- of klimaat-effect bijzonder groot is. Met water conserverende maatregelen is dit effect niet te compenseren.

Het effect van water conserverende maatregelen (scenario 1 en 2) in een droge zomer is kleiner. De grondwaterstand kan nog maar nauwelijks beïnvloed worden, terwijl de afvoer door slootjes en greppels nog verder afneemt. **De meest klimaatbestendige maatregel is het verhogen van de grondwaterkwel door het verminderen van de onttrekkingen. In dit geval kan de grondwaterstand in gelijke mate gecompenseerd worden als in een normale zomer (scenario 4).**

In de scenario's is uitgegaan van een gemiddeld hydrologisch jaar (periode 2009 tot en met 2016). De hoeveelheid geregistreerde beregening in deze periode bedroeg gemiddeld 43 miljoen m³/jaar. De door het grondwatermodel bepaalde hoeveelheid is 48 miljoen m³/jaar. De berekeningen voor een gemiddeld hydrologisch jaar zijn gebaseerd op deze hoeveelheid. In de periode 2009 – 2016 hebben we het jaar 2015 als voorbeeld van een droog jaar gebruikt. In deze zomer werd een beregeningshoeveelheid van 68 miljoen kubieke meter grondwater geregistreerd. Echter de zomers van 2018 en 2019 waren aanzienlijk droger met een beregeningshoeveelheid van 96 miljoen m³/jaar.

De effecten op de waterbalans en grondwaterstanden zijn in zo'n periode groot. Het neerslagtekort is groot en daar bovenop wordt extra veel grondwater onttrokken. **Onttrekking voor beregening vindt uit verschillende lagen plaats; in West-Brabant op uit het eerste watervoerende pakket (onder de slecht doorlatende Waalre klei) en in de Centrale Slenk op ongeveer dezelfde diepte uit de Sterksel zanden, welke niet wordt afgedekt door een heel slecht doorlatend pakket. Beregening uit de Sterksel zanden kan daarom in een droog jaar een relatief groot effect hebben op de grondwaterstanden en beekafvoer.**

❖ *Waternatuur*

De waternatuur voor natuur bestaat uit verschillende onderdelen:

1. Permanent meer water in de bodem (door een hogere grondwaterstand).
2. Meer aanvoer van kwelwater (door een hogere stijghoogte).
3. Meer basisafvoer in de beken (door een combinatie van beide).

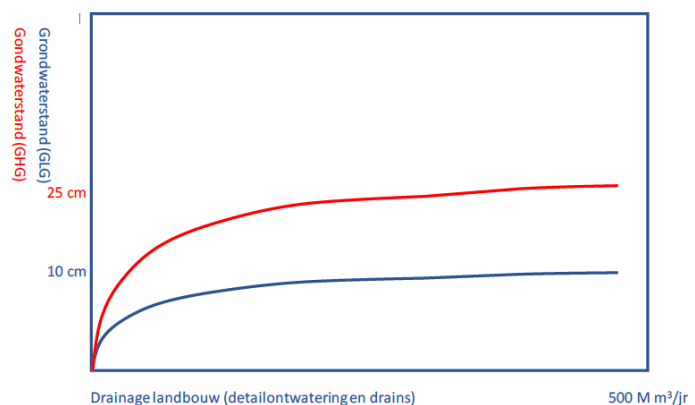
Door de grondwaterstand te verhogen wordt meer water in natuurgebied vastgehouden. Hiermee wordt de voorraad water in de bodem eenmalig verhoogd. De hoeveelheid extra grondwater kan benaderd worden door vermenigvuldiging van de verhoging in grondwaterstand, de freatische bergingscoëfficiënt en het oppervlak van de natuurgebieden.

Als er alleen maatregelen binnen de natuurgebieden worden genomen (scenario 1) dan stijgt de grondwaterstand gemiddeld 2,4 cm in de zomer en tot 9,2 in de winter. Dit komt overeen met 3 tot 10 miljoen m³ grondwater. Dit wordt bereikt door (elk jaar) minder water af te voeren uit deze natuurgebieden; 3 miljoen m³ minder in de zomer en 15 miljoen m³ minder in de winter. De natuurgebieden verliezen extra water door meer verdamping en wegstroming naar de diepte en de omgeving. In de winter zijn de effecten van waterconservering groter omdat er meer water beschikbaar is dat kan worden vastgehouden. Bij beekpeilverhoging langs het natuurgebied kan 22 miljoen m³ in natuur worden vastgehouden (scenario 6 is maatregel buiten natuurgebied, de beek).

Door de maatregelen in een steeds groter gebied om de natuurgebieden heen te nemen zal de grondwaterstand steeds verder kunnen stijgen. Echter de hoeveelheid water die hiervoor nodig is (in de vorm van verminderde drainage door sloten en greppels) wordt steeds groter.

Dit is schematisch weergegeven in figuur 6.5, waarbij de hoeveelheid van 500 miljoen m³/jaar ongeveer de totale hoeveelheid gedraineerd water is door sloten en greppels in Noord-Brabant (natuur en landbouwgebied). Overigens wordt nog 1000 miljoen m³/jaar gedraineerd door de grote beken en rivieren.

In het meest vergaande scenario 6 stijgt de grondwaterstand in de natuurgebieden met ongeveer 20 cm. Dit komt overeen met een watervolume van 22 miljoen m³ water (in een gebied van circa 37.000 ha).



Figuur 6.5 Relatie tussen te bereiken verhoging in grondwaterstand GLG, GHG) en de vermindering in drainage door sloten en greppels.

De stijghoogte kan verhoogd worden door minder grondwater te onttrekken. Gemiddeld kan de diepe stijghoogte in Noord-Brabant maximaal met 1,5 meter worden verhoogd. In de watervoerende lagen van de Centrale Slenk boven de Waalreklei is de verhoging in stijghoogte beperkt tot ongeveer 13 cm (tabel 6.8). De verhoging in stijghoogte blijft beperkt omdat de weerstand van de onderliggende Waalreklei hoog is en de weerstand van de bovenliggende leemlagen relatief laag is. De hoeveelheid water die omhoog kan stromen is wel aanzienlijk groter ("de diepe kwel").

Voor een maximaal effect in stijghoogteverhoging zouden alle onttrekkingen in de provincie en het omliggende gebied zoals Vlaanderen gestopt moeten worden. Binnen Noord-Brabant gaat het om ongeveer 270 miljoen m³/jaar. De verhoging in stijghoogte heeft ongeveer een lineaire functie met het totaal onttrokken debiet; het maximale effect is 270 miljoen m³/jaar. Het maakt wel een groot verschil waar men zit in de provincie. In de Centrale Slenk is stijghoogte het meeste te verhogen: in de beekdalen met 2 meter en in de leembossen met 6 meter. Het krekengebied wordt weinig beïnvloed door winningen en hier is nauwelijks een verhoging in stijghoogte te bereiken.

Tabel 6.8: maximaal te realiseren verhoging in stijghoogte door het stoppen van alle grondwateronttrekkingen onder en boven de Waalreklei (in meters)

	Gemiddelde verhoging in stijghoogte onder Waalreklei	Gemiddelde verhoging in stijghoogte boven Waalreklei
Beekdalen Centrale Slenk	2,07	0,12
Beekdalen West-Brabant	0,84	0,12
Infiltratiegebieden	1,32	0,15
Kreken West-Brabant	0,19	0,12
Leembossen	5,31	0,11
Naad met diepe kwel	1,31	0,06
Totaal	1,56	0,13

❖ Bepaling watervraag met behulp van GLS analyse

In onderstaande tabel 7.2 zijn voor de beekdalen en infiltratiegebieden de resultaten van de scenario berekeningen 3 t/m 6 samengevat, inclusief het oppervlak van de deelgebieden en de grondwaterwinning gedurende een gemiddeld jaar. Deze vormen het uitgangspunt bij het bepalen van de watervraag.

Tabel 7.2: Berekende stijging freatische grondwaterstand (GLG) en stijghoogte (GLS) in centimeters voor beekdalen en infiltratiegebieden (Centrale Slenk etc.= Centrale Slenk + Peelhorst + Kempisch Plateau). bij scenario's 3 t/m 6. (De totale onttrekking is inclusief berekening).

GLG/GLS (in cm)	Oppervlak (km ²)	Totale onttrekking Gem. jaar (Mm3/jaar)	30% minder Grondwater onttrekking (scen.3)		100% minder Grondwater onttrekking (scen.4)		Geen detail Ontwatering (scen.5)		Peilopzet Beken (scen.6)	
			GLG	GLS	GLG	GLS	GLG	GLS	GLG	GLS
West-Brabant (beekdal)	759	69	8	30	11	80	9	10	37	20
West-Brabant (infiltratie)			10	50	17	160	9	20	21	10
Centrale Slenk etc. (Sterksel) (beekdal)	2893	43 (WVP 1, Sterksel)	7	10	9	10	10	10	25	20
Centrale Slenk etc. (Sterksel) (Infiltratie)			9	10	14	20	12	10	16	20

Op basis van de modeluitkomsten (zie o.a. tabel 7.2), gebruik makend van de bepaalde gebiedspecifieke waterwensen uit tabel 7.1 kunnen de volgende waterposten (de ruimtelijke watervraag natuur om de verdroging op te heffen) worden berekend.

De waterwensen (directe watervraag natuur), om de GLS en GLG te verhogen, kan afhankelijk van het gebied op verschillende manieren worden ingevuld:

- Door de grondwaterwinning structureel te verlagen,
- Door de freatische grondwaterstand in het landelijk gebied structureel enkele decimeters te verhogen door een herontwerp van het ontwateringssysteem (incl. beken),
- Door een combinatie van 1 & 2.

Als de oplossing alleen in een structurele vermindering grondwaterwinning wordt gezocht kan deze (ruimtelijke) watervraag relatief eenvoudig in Mm3/jaar worden uitgedrukt. Als de watervraag (deels) gezocht wordt in aanpassing ontwateringssysteem, waarbij de GLG zal stijgen, is de kwantificering iets minder

eenvoudig. Bijvoorbeeld: als door de aanpassing van het ontwateringssysteem de GLG met 10 cm toeneemt, zal deze verhoging gemiddeld over de provincie vermindert doorwerken op de (gewenste) GLS verhoging.

Door de gewenste GLG-verhoging (waarbij rekening is gehouden met doorwerking naar stijghoogte) te vermenigvuldigen met het oppervlak en de porositeit (bijvoorbeeld 0,3%) kan het volume van de nieuw te creëren extra watervoorraad worden berekend. Deze watervraag kan na aanpassing van het watersysteem in korte tijd (1-3 jaren) worden ingevuld. De watervraag uit vermindering grondwateronttrekking vraagt om een continue reductie van de winning.

In de Centrale Slenk is het moeilijker om deze watervraag te bepalen. In de draagkracht studie is aangetoond dat de opwaartse kwelstroming door de Waalreklei bijna overal is weggevallen binnen de Centrale Slenk.

- Wanneer er geen grondwateronttrekking plaatsvindt, dan wordt deze opwaartse stroming weer op veel plaatsen in Noord-Brabant hersteld.
- In deze studie is uitgerekend dat in de natuurgebieden in de beekdalen van de Centrale Slenk de grondwaterstand gemiddeld 83 cm hoger ligt dan de stijghoogte onder de Waalre Klei (infiltratie situatie).
- Zonder winningen zal dat omslaan in een gemiddelde 115 centimeter hogere stijghoogte dan grondwaterstand.
- Als de winningen gehalveerd worden dan is, op basis van de modelberekeningen, de stijghoogte gemiddeld 16 cm hoger dan de freatische grondwaterstand (kwel). Een halvering van de winningen in de Centrale Slenk (drinkwater, industrie en beregening) is voor een gemiddeld jaar ongeveer 58 miljoen m³ /jaar.
- Het blijft een (open) vraag welk effect het herstel van "extra diepe kwel" in de Centrale Slenk op de natuur heeft. Herstel van deze "extra diepe stijghoogte" zal mogelijk ook het risico op verzilting van dit watervoerende pakket terugdringen.

De stijghoogte in het Sterksel-pakket in de Centrale Slenk, Kempisch Plateau en de Peelhorst wordt weinig beïnvloed door de diepe winningen onder het Waalre-kleipakket.

De GLS-wens van 50 cm stijging in de Formatie van Sterksel (WVP 1) in de Centrale Slenk is niet te realiseren via reductie van diepe grondwaterwinningen. Het effect op de stijghoogte is hiervoor te beperkt. Berekening uit de Formatie van Sterksel kan (lokaal) wel een groot effect hebben op stijghoogte en grondwaterstand.

Deze beregeningsonttrekking in dit gebied bedraagt in een gemiddeld jaar ca. 30 miljoen m³ /jaar maar kan in een erg droog jaar stijgen tot ca. 80 miljoen m³ /jaar. Deze hoeveelheden zijn geschat op basis van het percentage oppervlakte van dit gebied (80% van gehele zandgebied) en de bekende beregeningsonttrekkingen voor het gehele zandgebied (40M en 100 M m³ /jaar, voor gemiddeld of droog jaar). Uit de berekeningen (geen droog jaar) bleek dat stopzetting van de grondwaterwinning in dit gebied tot een GLS verhoging van 10-20 cm kan leiden.

Een structurele verhoging van deze stijghoogte in het Sterksel pakket is alleen mogelijk als ook zeer ingrijpende maatregelen worden genomen in het oppervlaktewaterstelsel (peilverhoging van de waterlopen, beken, verhoging bodems waterlopen). Deze ingrepen gaan verder dan met de scenario's in dit rapport berekend zijn.

Echter, in scenario 6 is de beekdrainage binnen de natuurgebieden helemaal uitgezet. In de beekdalen Centrale Slenk neemt de GLS dan toe met 21 cm. De afvoer door drainage neemt dan netto (kleine en grote waterlopen) af met ruim 80 miljoen m³. We hebben een ongeveer 2,5 keer zo groot effect nodig. En dus ook meer gebied waar de stijghoogte kan toenemen: 200 miljoen m³, echter de effectiviteit neemt af omdat we verder van de natuurgebieden komen. Grof geschat is eerder 250 miljoen m³ aan structurele waterconservering nodig, alleen voor GLS verhoging in Sterksel in Centrale Slenk, Kempisch Plateau en Peelhorst. Dus los gezien van het effect van de winningen.

De totale watervraag natuur is enkele honderden miljoenen m³/jaar (ca. 350 miljoen m³/jaar, zie tabel 7.2). Deze bestaat dus uit een combinatie van verhoging van de freatische grondwaterstand door minder ondiep water via het ontwateringssysteem af te voeren, en door vermindering van de grondwateronttrekking (drinkwater, industrie, beregening tezamen).

❖ *Het grondwatergebruik versus grondwatervraag*

Het totale grondwatergebruik natuur (als verdroging is opgelost) uit de ondiepe watervoerende pakketten (vergelijkbaar met waterwinning landbouw en drinkwater), is eerder bepaald en bedraagt (binnen de natuurgebied grenzen) rond de 50-60 miljoen m³/jaar.

De natuur kan echter niet zonder hoge (grond)-waterpeilen rondom de natuurterreinen. De grondwatervraag bestaat namelijk ook uit de hoeveelheid water die nodig is om de grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving te verhogen. Deze grondwatervraag is op dit moment meer dan 7 x groter dan het grondwatergebruik natuur onder niet verdroogde omstandigheden. Hierbij is de gewenste watervoerendheid van beken tijdens drogere perioden nog buiten beschouwing gehouden.

De gevolgen van (klimatologische) droogte zijn extra groot in de al verdroogde gebieden, omdat daar de buffer (veerkracht) aanzienlijk is verkleind of verdwenen. Deze "buffer" bestond uit decimeters hogere (freatische) grondwaterstanden, welke voorraad in het voorjaar en zomer, veel geleidelijker dan nu, "leegliep". Dit omdat het ontwateringssysteem relatief extensief was en de bodems van greppels, sloten en beken veel ondieper (t.o.v. maaiveld) lagen. Hierdoor werd freatisch grondwater veel minder dan nu, gedraineerd. Omdat nu in de zomer het grootste deel van greppels, sloten en soms beken droog staan zal het grondwater in principe uitzakken in de richting van het laagste drainageniveau (oppervlaktewaterpeil), versterkt door de wegzijging naar diepere watervoerende pakketten t.g.v. grondwaterwinning. In de zomer heeft de onttrekking voor beregening hierbij een grote rol.

Bij herstel van het (grond) watersysteem, en dan in het bijzonder voor herstel van grondwaterafhankelijke natuur, bestaan de volgende zoekrichtingen:

1. **Het realiseren van een structurele, provincie brede, verhoging van de freatische grondwaterstand. Om te beginnen kan hierbij worden gedacht aan 10-30 cm (GHG en GLG).** Dit kan adaptief worden geoptimaliseerd. Om dit te bereiken moeten slootbodems worden verhoogd, maar ook de dichtheid van het drainagesysteem worden aangepast. Een structurele verhoging van de freatische grondwaterstand zorgt ook voor verhoging van de stijghoogte in de watervoerende pakketten. P.S. een structurele provincie brede verhoging van de freatische grondwaterstand met 10 cm vergroot de grondwatervoorraad met ca. 100 miljoen m³.
2. **Kwelaafhankelijke natuur is er ook bij gebaat als in een significant brede bufferzone langs deze natuurgebieden deze freatische grondwaterstand wordt verhoogd.** Dit heeft dan weer effect op de stijghoogte en kwel. Hierbij neemt ook de toestroom van ondiepe kwel langs de beekdalrand toe, en zal ook de kwaliteit van dit water op termijn verbeteren.
3. Bij de zoektocht naar het herstel van deze buffertoestand kan ook naar het verleden worden gekeken. Zo bezat Noord-Brabant in het verleden honderden vennen, die nu nog vaak (ontwaterd) in het landschap zichtbaar zijn. **Herstel van vennen als onderdeel van een "water bergen aan de bron (BaB)" programma kan een oplossing zijn.** BaB kan ook bestaan uit het verminderen van drainageselsel langs infiltratiegebieden (bijvoorbeeld Midden-Brabantse Dekzandrug, stuifduinen). Mogelijk kunnen herstellende vennen ook voor irrigatie worden gebruikt.
4. **Beekpeilverhoging (door bodemverhoging en herstel meandering)** zorgt dat de aangrenzende beekdalen minder worden gedraineerd en zorgt voor structureel hogere grondwaterstanden in de aangrenzende natuurgebieden.
5. **De verdeling van het diepe grondwater is voor de natuur in onbalans. Bijna de gehele aanvulling van de watervoerende pakketten wordt gebruikt door waterwinning, industrie en beregening.** Daardoor blijft er heel weinig over voor kwel en beekafvoer vanuit deze pakketten, en dan vooral tijdens droge perioden. **Een oplossing voor dit verdelingsvraagstuk ligt in het verkleinen van de grondwateronttrekking, en vooral in de zomerperiode.** Een structurele grootschalige verhoging van de grondwateraanvulling naar diepe pakketten is lastig te realiseren. Lokaal, kan de grondwateraanvulling worden verhoogd door meer water te infiltreren in stedelijk gebied, de landbouw minder intensief te maken, bosvorming, infiltratie van regenwater in beregeningsputten, en grootschalige infiltratieplassen aanleggen.

- a. In **infiltratiegebieden** kan wel het neerslagoverschot worden vergroot, door bijvoorbeeld omzetting van naaldbos in minder verdampende heide. Dit veroorzaakt plaatselijk een hogere grondwaterstand en lokaal een verhoging van de voeding van het watervoerende pakket, maar zal aan de flanken van het infiltratiegebied een verhoogde (en in de tijd verlengde) afvoer van het drainagesysteem veroorzaken. Deze extra grondwateraanvulling komt nauwelijks ter beschikking van de kwelafhankelijke natuur
 - b. Er kan wel gezocht worden naar locaties waar **extra grondwatervoorraden voor lokaal gebruik** kunnen worden gerealiseerd. In principe zijn dit gebieden met een diepe freatische grondwaterstand, waar relatief gemakkelijk het winteroverschot van bijvoorbeeld beken kan worden geïnfiltrerd. Deze grondwatervoorraad zou dan kunnen worden gebruikt voor irrigatie, i.p.v. het diepe grondwater en zo de druk op het diepe grondwater verminderen. Hierbij kan ook gezocht worden naar plaatsen (bijvoorbeeld in het verleden drooggelegde vennen) waar oppervlaktewater kan worden geborgen.
6. **Een belangrijke sleutel ligt in het verkleinen van de grondwateronttrekking tijdens de zomer.** Naast de eerder genoemde oplossingsrichtingen valt hierbij te denken aan een aanpassing van het landgebruik en bijvoorbeeld aan druppelirrigatie. Ook bodemverbetering kan een bijdrage (regenwater vasthouden) leveren.

❖ Conclusies

- 1) Het grondwater gebruik (kwelwater afkomstig uit dezelfde watervoerende pakketten waar grondwater wordt onttrokken voor beregening, drinkwaterwinning etc.) binnen de natuurgebiedsgrenzen, wordt voor een van verdroging herstelde kwelafhankelijke natuur geschat op ca. 50-60 miljoen m³/jaar. Dit grondwatergebruik is echter niet heel bruikbaar voor een afweging tussen sectoren en geeft een onderschatting van de watervraag van de natuur. **Om de doelen ten aanzien van natte natuur te kunnen realiseren zal het grondwatergebruik (incl. drainagewater afvoer) door andere sectoren met veel meer dan die 50-60 miljoen m³/jaar moeten afnemen.**
- 2) De ruimtelijke watervraag om de structurele verdroging van de grondwaterafhankelijke Brabantse natuur op te lossen vraagt op provincie schaal verschillende oplossingen. Hieronder zijn de belangrijkste oplossingen beschreven:
 - a. Voor de West-Brabantse grondwaterafhankelijke natuur wordt de watervraag geschat op basis van een gewenste GLS-verhoging van ca. 50 cm. Om deze verhoging te realiseren moet 42 miljoen m³/jaar minder grondwater worden onttrokken. De watervraag natuur in West-Brabant is dan gelijk aan deze 42 miljoen m³/jaar. Bij een structurele verhoging van de freatische grondwaterstand met ca. 10 cm kan deze gewenste reductie van grondwaterwinning kleiner worden, namelijk met ca. 25-30 miljoen m³/jaar.
 - b. **Om de diepe kwel in de beekdalen van de Centrale Slenk te herstellen moet minimaal 58 m³/jaar minder grondwater onder de Waalre-klei worden onttrokken. Hierbij ontstaat weer een (minimale) opwaarts gericht flux over de Waalre klei.**
 - c. **Om de verdroging op te lossen van de grondwaterafhankelijke natuur in de Centrale Slenk, Kempisch Plateau en Peelhorst moeten vooral de beekpeilen en bodems van afwateringssloten worden verhoogd. Daarnaast moet grondwateronttrekking voor beregening worden verlaagd.** In totaal moet dit de watervraag natuur in dit deelgebied invullen.
- 3) **De combinatie van maatregelen die bestaan uit het verondiepen van de lokale drainage, het verondiepen van hoofdwaterlopen, het verhogen van waterpeilen en reductie van onttrekkingen is meest succesvol voor herstel van grondwaterafhankelijke vegetaties.**
- 4) **De vermindering van de grondwaterwinning heeft een positief effect op de opwaartse toestroming van kwelwater.**
 - a. Hierbij is het meest te winnen met verminderde grondwaterwinning in de zomer, en dan helemaal in droogtejaren. Dit betreft vooral grondwaterwinning voor beregening.
- 5) **Grote regionale water ingrepen (verlaging grondwaterwinning, vermindering drainage) resulteren in een relatief geringe watertoename in de natuur, maar zijn wel essentieel voor de invulling van de (directe) watervraag van de natuur.** Het grootste deel van het extra beschikbare water leidt tot

hogere grondwaterstanden buiten de natuur en wordt namelijk in het landelijk (en stedelijk) gebied voor een groot deel gedraineerd en afgevoerd.

- a. Daarom kunnen de maatregelen om natte natuur te herstellen, mits goed ontworpen, waarschijnlijk ook helpen de watervraag voor de landbouw in te vullen, en helpen bij het verminderen van hittestress.
- 6) Verhogen van de grondwaterstand met lokale maatregelen
 - a. Door maatregelen binnen het natuurgebied te nemen kan jaarlijks ongeveer 3 (zomer) tot 10 (winter) miljoen m³ water worden vastgehouden.
 - b. Door ook maatregelen in de attentiegebieden te nemen neemt de afvoer in natuurgebieden wat toe en ook de grondwaterstand. Deze maatregelen zorgen voor een verhoging in grondwaterstand maar niet voor meer kwel en dus afvoer uit de natuurgebieden. In de "zandgrondenstudie" levert verhoging in een bufferzone langs beekdalen wel meer kwel op, maar daar is niet zoals in onze scenario 2 de drainage in het natuurgebied gedicht (scenario 1).
 - c. Verhoging van het beekpeil veroorzaakt een sterke verbetering voor de grondwatersituatie in de aangrenzende natuurgebieden.
- 7) Met lokale maatregelen in de waterhuishouding van de natuurgebieden kan de grondwaterstand nauwelijks verhoogd worden; met attentiegebieden slechts beperkt. (gemiddeld 4 cm GLG verhoging in de natuurgebieden).
- 8) Met een combinatie van lokale maatregelen (scenario 1 en 2) plus het verminderen van onttrekking (scenario 3) kan meer water naar de natuurgebieden worden aangevoerd vanuit diepere lagen. Dit zorgt voor meer basisafvoer naar de beken;
- 9) De grondwaterstand kan maximaal binnen natuurgebieden worden verhoogd door ook het beekpeil te verhogen (scenario 6). Dit zorgt echter voor aanzienlijk minder kwel uit de diepte.

❖ Enkele geselecteerde aanbevelingen

- 1) In deze studie is geen aandacht besteed aan de waterkwaliteit in relatie tot de watervraag. Het verdient de aanbeveling deze in de toekomst mee te nemen.
- 2) Bij de integrale planvorming voor natuurherstelmaatregelen en klimaatadaptatie is het van belang een goede balans te vinden tussen stijging grondwaterstanden, stijging stijghoogte en toename kwelstromen. Daarnaast is een afstemming van de huidige functies of grondgebruik nodig, waarbij verschuiving van huidige of geplande toekomstige functies niet mag worden uitgesloten.
- 3) In de Centrale Slenk ligt de stijghoogte in het diepe watervoerende pakket (Kiezeloooliet formatie, Formatie van Oosterhout) soms meters onder die in het bovenliggende watervoerende pakket (F. van Sterksel). Dit is ook het geval in regionale kwelgebieden als Bossche Broek en Veldersbosch. Op deze plaatsen stijgt dus zowel grondwater uit de F. van Sterksel omhoog (kwel), maar zakt ook grondwater vanuit de F. van Sterksel omlaag. Het is onduidelijk wat dit betekent op de lange termijn voor de "watervraag natuur", en dan bijzonder wat betreft waterkwaliteit. Om deze processen beter te begrijpen is tevens meer kennis nodig over de eigenschappen van het Waalre kleipakket.

10. BIJLAGE 2: SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER (OVERGENOMEN UIT STUURMAN ET AL. 2003)².

In de groeve Inden bij Düren wordt in dagbouw bruinkool op aanzienlijke diepte (200- 350 m –mv) gewonnen. Voor deze grondstofwinning is het nodig de grondwaterstand tot ver onder deze bruinkoollagen terug te brengen. Hiertoe pompen de exploitanten van de groeve sinds 1950 het grondwater weg door middel van honderden putten. De onttrekking van grondwater uit deze winplaats komt op zeventig miljoen kubieke meter per jaar.

❖ *Model*

Uit de ruimtelijke verbreiding van de mariene Breda-afzettingen tot ver in Duitsland en de ligging van het zoet-zout grensvlak, kan worden opgemaakt dat vanuit Duitsland [*bedoeld wordt: oorspronkelijk? PCvdM*] een aanmerkelijk verzoeting van het diepe grondwater heeft plaatsgevonden.

- In het 'eindige differentiemodel' (modflow) is het kalkgesteente (F. van Houthem) als hydrogeologische basis beschouwd. Dit houdt in, dat zowel de onderzijde als de zuidoostzijde van het model dicht is.
- In het zuiden komen kalkgesteenten aan de oppervlakte. Ze staan bekend als de 'Gebirgsrand'. Voor de noordzijde (de Maas bij Den Bosch) is een stijghoogte-randvoorwaarde aangenomen.
- Voor de Peelrand-breuk is op een geringe diepte een fluxrandvoorwaarde gebruikt, terwijl deze op grotere diepte als ondoorlatend is beschouwd.
- Voor de bovenrand van het model, die het aardoppervlak weergeeft, zijn gegevens verzameld voor de jaren 1850 en 1990.

Bij het bepalen van het landgebruik in 1850 is de Historische en Militaire kaart uit dat jaar gebruikt. Maas-, kanaal- en beekpeilen uit die tijd zijn verzameld aan de hand van oude archieven en kaarten. Voor het berekenen van de actuele situatie zijn alle winningen en actuele oppervlaktewaterpeilen geïnventariseerd. De ontwatering is gerelateerd aan het landgebruik (CORINE-bestand) en het bodemtype.

De bruinkoolgroeve is als een stijghoogterand ingevoerd. De permeabiliteitsgegevens die werden gehanteerd, zijn verzameld uit talrijke onderzoeken die in de Slenk hebben plaatsgevonden. Hieronder was onder andere een RIVM-modellering van de effecten van de bruinkoolwinning.

In eerste instantie is het grondwatermodel stationair gekalibreerd op de actuele situatie. Vervolgens is de zogenaamde 1850-variant berekend met behulp van een aangepast topsysteem. Deze variant toont de grondwatersituatie juist vóór de grote ontginningen, in een periode waarin nog nauwelijks grondwateronttrekking en bruinkoolwinning plaatsvond.

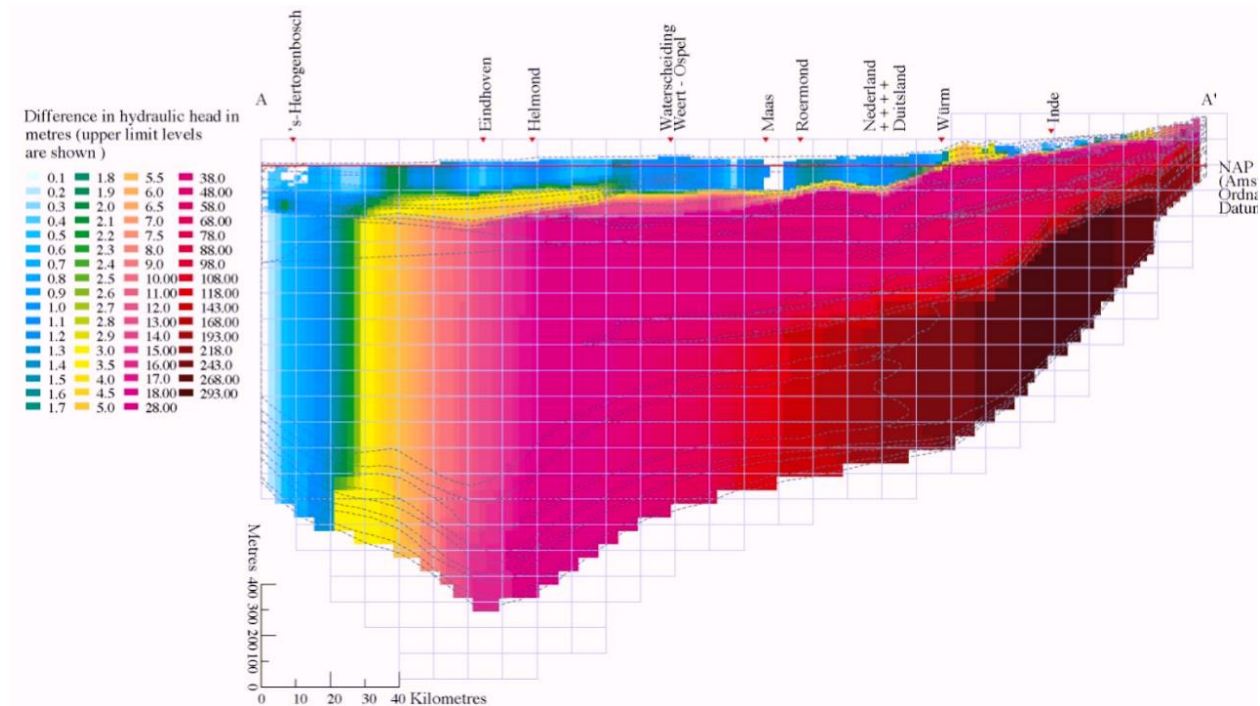
❖ *Daling*

Door middel van een vergelijk van de 1990-variant met die van 1850 is het mogelijk een inschatting te maken van de stijghoogtedaling (zie figuur 6.7) in de Slenk, terwijl daarnaast de grondwaterstromingspatronen voor beide perioden met elkaar zijn te vergelijken.

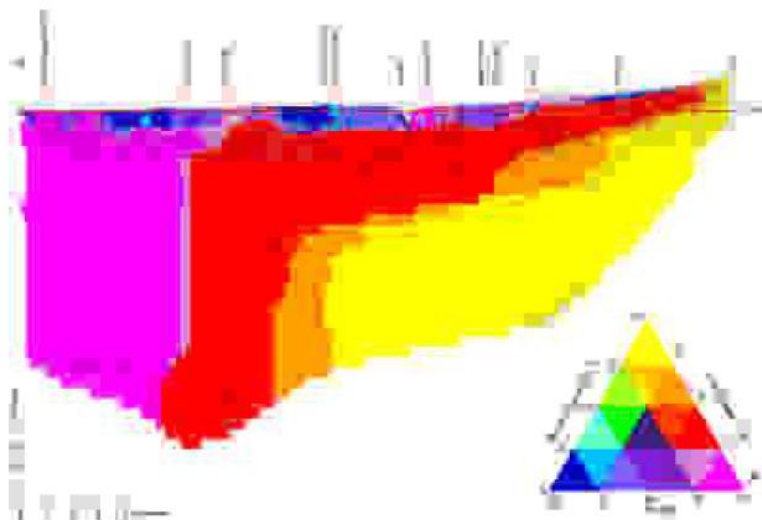
Het stijghoogteverschil tussen de situatie in 1850 en die in 1990 manifesteert zich vooral in de diepe watervoerende pakketten. Binnen de Waubach-zanden doen zich verlagingen van 10 tot 20 meter voor. Meer noordelijk in de Tegelen- en Belfeld-grof, bedragen de dalingen ongeveer 6 meter. In de veel diepere pakketten, onder bruinkoollagen Frimmersdorf en Morken bedraagt de daling wel tientallen tot zelfs honderden meters. Bij de grens tussen Limburg en Noord-Brabant berekent het model op zo'n 1000 meter diepte een verlaging van ruwweg 30 meter. In het ondiepe, semifreatische pakket (F. van Sterksel) is de verlaging relatief gering: enkele decimeters tot enkele meters.

² Uit: R.J. Stuurman en J. Griffioen; 2003; SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER. DRIE PRAKTIJKGEVALLEN VAN PROBLEMEN IN GRONDWATERBEHEER. TNO-NITG. Opgesteld in opdracht van de Technische commissie bodembescherming. TCB R18(2003)

Hieronder de verlaging van de stijghoogte in 1996.



Met behulp van het modelinstrumentarium was het mogelijk de procentuele bijdrage van de belangrijkste oorzaken van verdroging te bepalen. Dit zijn ontwatering, grondwaterwinning en de bruinkoolwinning (zie figuur 6.8). Hierbij is in de 1990-variant voor drie scenario's de toename van de stijghoogte berekend. In het eerste scenario is het uitzetten van grondwaterwinningen uitgewerkt. Het tweede gaat uit van het stoppen van de bruinkoolwinning en het derde neemt als uitgangspunt het terugbrengen van het ontwateringssysteem naar de situatie van 1850. In figuur 6.8 is op deze manier procentueel de stijghoogteverlaging ten opzicht van 1850 verklaard.



Figuur 6.8. De grondwaterstand- en stijghoogteverlaging (t.o.v. 1850) procentueel verklaard naar invloeden door bruinkoolwinning, andere grondwaterwinningen en ontwatering (Stuurman en Vermeulen, 1996)

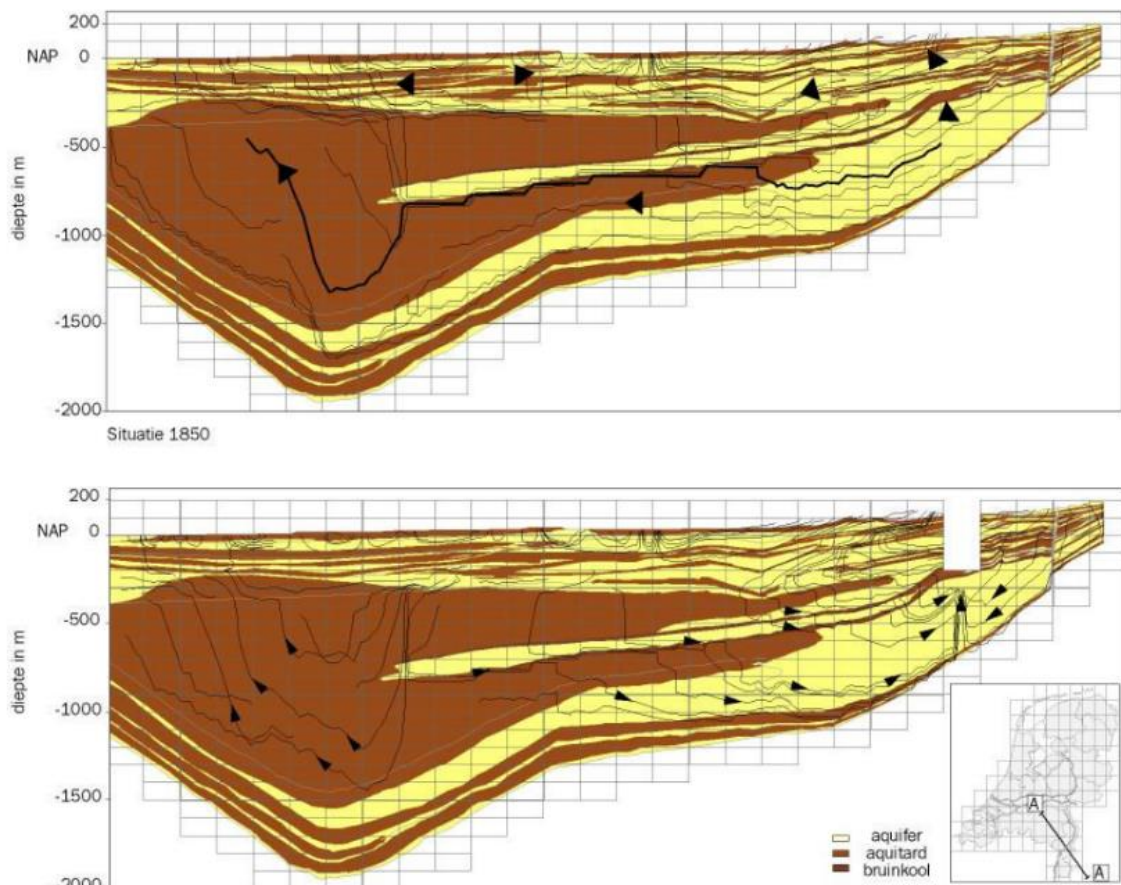
Wat hierbij opvalt, is dat de stijghoogtedaling in de Waubach-zanden (zie figuur 6.2) voor een belangrijk deel (ca. 25%) veroorzaakt wordt door de bruinkoolwinning. De resultaten uit het model tonen ook dat de stijghoogte in het semi-freatische watervoerende pakket (F. van Sterksel) grotendeels bepaald wordt door het topsysteem. Ze laten echter ook zien dat de door de grondwaterwinning (inclusief bruinkool) verlaagde

diepe stijghoogte hier zijn invloed doet gelden. Als gevolg van de veranderingen in het stijghoogtepatroon zijn de **stromingspatronen** gewijzigd. Dit uit zich vooral in het wegvallen van opstijgende stroombanen (kwel) uit diepe pakketten en het terugstromen van diep, paleogeen grondwater naar Duitsland (figuur 6.9).

De hydrochemie, de zoet-verdeling en de isotopeninhoud bevestigt in grote lijnen de hydrologische modelstudie voor de historische situatie. Het huidige stijghoogtepatroon is hiermee niet in evenwicht.

- Uit hydrochemische en isotopen onderzoek blijkt dat stijghoogtedaling de toestroming van diepe kwel doet wegvallen en op grote diepte in Limburg zoet grondwater doet verzilten doordat hier de **grondwaterstroming in richting is omgedraaid**.
- Mogelijk vindt ook in de rest van de graben op grote diepte verzilting plaats. De verandering van het systeem vormt zowel een bedreiging voor de grondwatervoorraad bestaand uit duizenden jaren oud grondwater als voor de natuur. Verkleining van de zuivere grondwatervoorraad door verzilting en vervuiling bedreigt de waterwinning.
- De van oorsprong 'diepe kwel' ontvangende natuur is in het nadeel als deze kwel wordt verruild voor ondiepere 'Sterkselkwel'. Dit laatste watertype is namelijk kwetsbaar voor verontreiniging en op veel plaatsen al vervuild.

Zowel het ondiepe als het diepe grondwater in de Roerdalslenk werd oorspronkelijk aangevuld via grondwaterstroming vanuit het hoger gelegen Duitse Maasterras. Maar door de grondwateronttrekking voor de bruinkoolwinning is de diepe grondwaterstroming omgedraaid (figuur 9.9).



Figuur 6.9. Stroombanen in de ondergrond van de Centrale Slenk in 1850 en tegenwoordig (Stuurman, 2000)

Extensief duurzame benadering. Op supraregionaal niveau heeft de bruinkoolwinning een grote verandering op het grondwatersysteem veroorzaakt zoals stijghoogtedaling en omdraaiing van diepe grondwaterstromen. Het hoeft geen betoog dat dergelijke kolossale ingrepen ongewenst zijn. Op regionaal niveau heeft de grondwaterwinning (inclusief beregening en particuliere winningen) een negatieve invloed.

Deze grondwaterwinning moet worden teruggedrongen tot een hoeveelheid die gebaseerd is op de ecologische draagkracht van het grondwatersysteem.

De ecologisch winbare hoeveelheid verschilt ruimtelijk. In het poldergebied (kwel) met de functies landbouw of bewoning kan bijvoorbeeld de kwel 'geogst' worden zonder verdere nadelige invloed te hebben op het systeem. Rond kwelgebieden met de functie natuur is het misschien ook mogelijk een bepaalde hoeveelheid grondwater te onttrekken. Vermoedelijk maakt het de natuur niet uit of er 5 of 10 mm/ dag kwel optreedt en kan het verschil worden gewonnen.

Tabel 6.1. Ingrepen van de mens op het functioneren van de hydrogeologische systemen in de Centrale Slenk, en hun belangrijkste effecten en gevolgen voor bodemgebruik.

Directe ingreep	Belangrijk hydrogeologisch effect	Gevolg voor bodemgebruik
Bruinkoolwinning	Stijghoogteverlaging	Verdroging
Beregening	Introductie zeer kleine systemen	Toename gewasopbrengst, verdroging
Laagwaardige industriële grondwateronttrekking	Verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwel	Verdroging
Hoogwaardige drinkwaterwinning	Verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwel, verzilting	Verdroging
Particuliere 'vlucht' winningen	Introductie kleine systemen	Versnippering, verdroging
Drooglegging vennen	Lokale grondwaterstandsverlaging, verkleinig berging, bijdrage piekafvoeren	
Indirecte ingreep		
Drainage	Beperking infiltratie naar diepere ondergrond	Landbouwverbetering, verdroging
Kanaalaanleg	Interactie grond- en oppervlaktewater	Divers
Landbouw	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Verstedelijking, industrialisatie	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Oppervlaktewaterpeilbeheer	Verandering hydrogeologische systemen	divers
Bebossing en ontbossing	Verandering grondwateraanvulling	Verdroging/ vernatting

De meest optimale situatie is echter dat er geen grondwaterwinning plaatsvindt maar dat dit grondwater gebruikt wordt nadat het is gekweld, zijn functie voor de natuur heeft verricht en afgevoerd wordt. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld beekdalen worden aangewezen waarbinnen de functies natuur, recreatie en waterwinning worden gecombineerd.

Ook moet meer aandacht aan de periode van grondwateronttrekking worden besteed. In de praktijk wordt in de zomer veel meer grondwater onttrokken dan in de winter waardoor kwel in zijn geheel kan wegvallen. Er moet bij vergunningverlening meer aandacht aan deze tijdsafhankelijke aspecten worden besteed. Naast vermindering van de grondwateronttrekking moet de voeding van de diepere watervoerende pakketten worden hersteld. Dit kan door aanpassing van het land gebruik in de infiltratiegebieden en het vergroten van infiltratiegebieden. Dit laatste kan worden gerealiseerd door het drainagesysteem aan de rand van deze infiltratiegebieden te dichten.

De situatie in het intermediaire gebied, de voormalige (natte) heide met vennen, is bepalend voor de kwantiteit en kwaliteit van de beken. De goede ontwatering en afwatering heeft geleid tot overstromingen benedenstrooms en lage zomerpeilen of droogstand in droge perioden. Het oppervlaktewatersysteem moet worden aangepast. Dit kan door slootbodempverhoging, dichten van waterlopen, herstel van meandersystemen, herstel van oude vennen en natte heide waardoor deze als 'berging aan de bron' kunnen functioneren. De beken moeten in de winter ook weer langdurig kunnen inunderen waardoor niet alleen de ruimte voor oppervlaktewaterberging weer hersteld wordt, maar ook de grondwaterstand en terrestrische natuurwaarden in het aangrenzende hogere deel van het beekdal weer kansen krijgen.

11. BIJLAGE 3: GRONDWATER KARAKTERISERING (OVERGENOMEN UIT MEINARDI ET AL. 2005)³

De invloed van de bruinkoolwinning in Nederland.

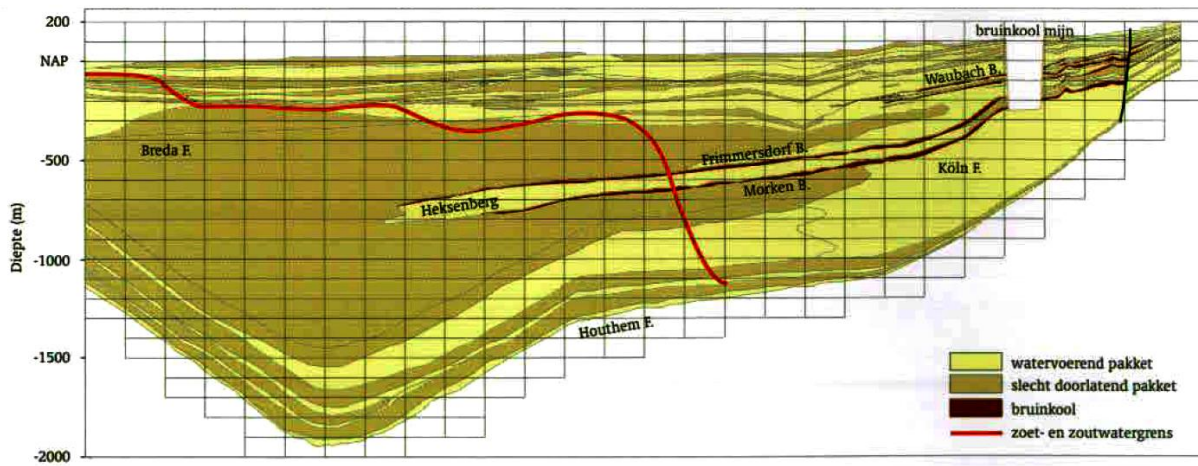
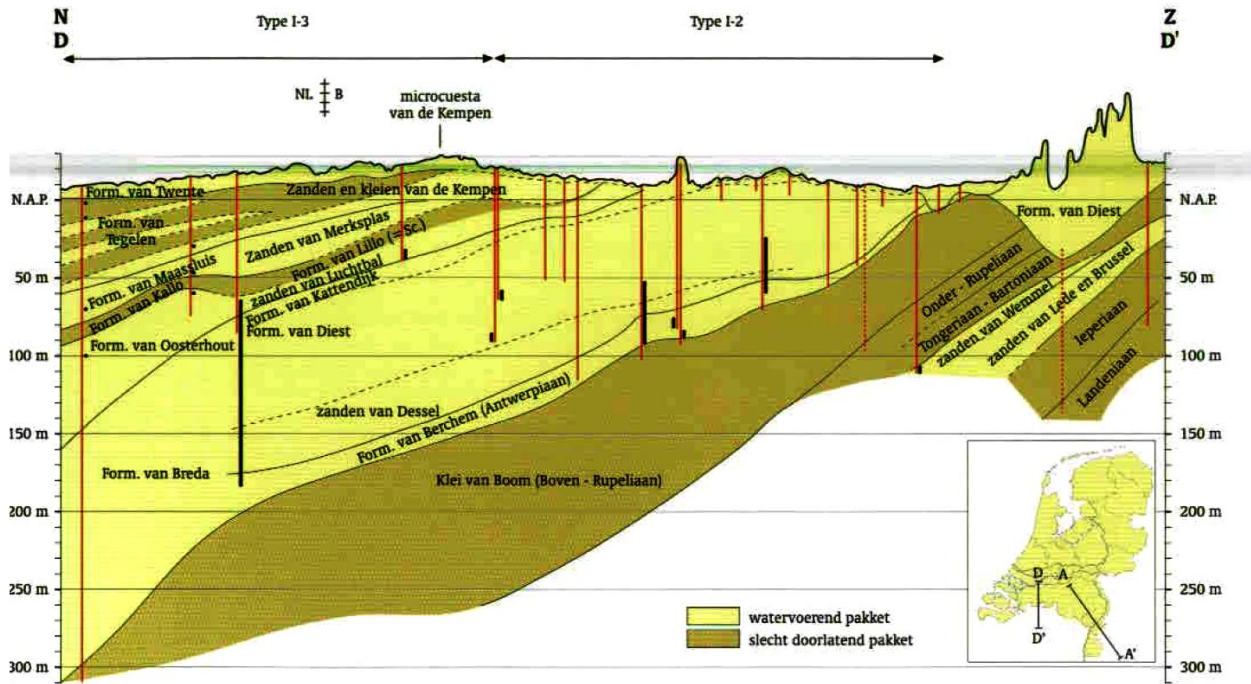
De bruinkool die wordt gewonnen nabij Jülich, is sinds het Carboon afgezet in een depressie in het landschap. Het omliggende gebied is opgeheven waardoor de afdekkende lagen dun zijn en dagbouw mogelijk is. In geologisch recente tijden hebben tectonische bewegingen ook invloed gehad op de aardlagen. Het gebied ligt nabij belangrijke breuksystemen, zoals de zogenaamde Feldbiss en de Peelrandbreuk. De lagen (zie figuur 3.3) hellen bovendien naar het zuidwesten (Dufour, 1998).

Onder Nederland zijn de koollagen verdicht tot relatief dunne lagen steenkool die tot de jaren 1970 gewonnen zijn op een diepte van 500 tot 600 m. In de lagere delen van de Centrale Slenk zijn in het Tertiair en in het Kwartair dikke pakketten zand en klei afgezet die goede aquifers vormen waaruit grondwater wordt gewonnen. NITG-TNO heeft onderzoek gedaan aan het effect van de bruinkoolwinning op grondwater in Nederland (Stuurman, 1996, samengevat in Dufour, 1998). Daaruit blijkt dat de standen van het grondwater in diepe aquifers onder Nederland, die in direct contact staan met de lagen waaruit bruinkool wordt gewonnen, enkele meters zijn gedaald. Deze daling gaat nog steeds door.

De putten waarin de daling is geconstateerd liggen op een diepte van enkele honderden meters onder maaiveld in Limburg en de Centrale Slenk onder dikke pakketten van slecht doorlatende lagen. Dit heeft tot gevolg dat de standen van het erboven liggende ondiepe grondwater (nog) niet duidelijk merkbaar zijn beïnvloed door de winning van bruinkool in Duitsland. Blijkbaar maakt het vanuit diepe lagen toestromende water een vrij gering deel uit van de stroming in de hydrologische kringloop van het ondiepe grondwater. Enkele Limburgse natuurgebieden worden beïnvloed door grensoverschrijdend grondwater.

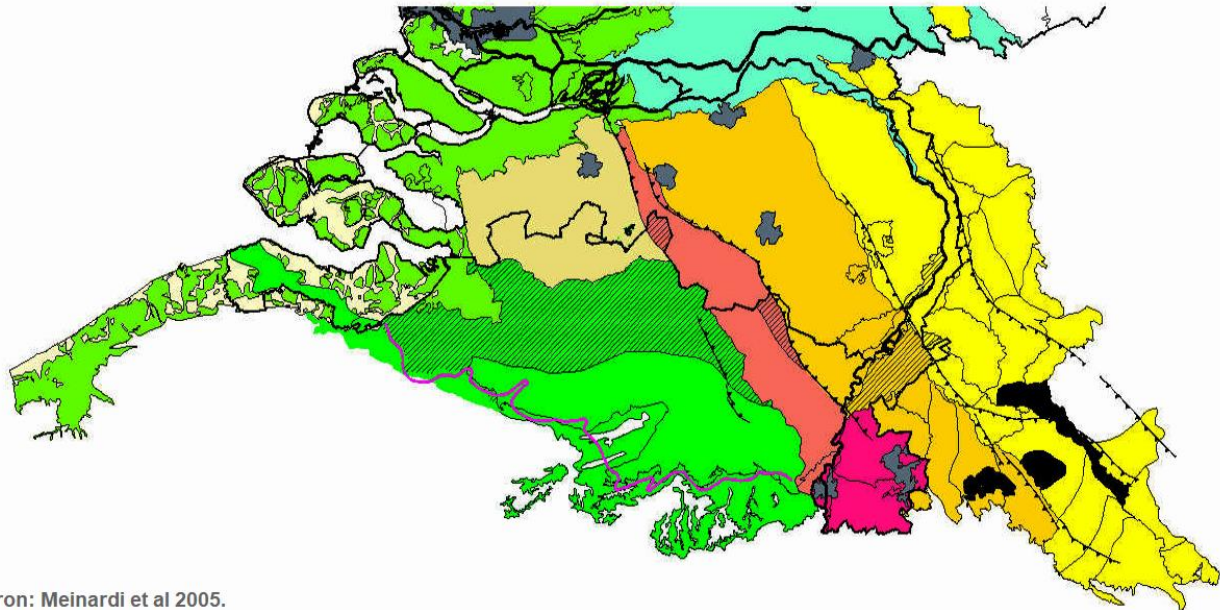
Duidelijk is dat de bruinkoolwinning in Duitsland een enorme grondwateronttrekking is voor de regio, en ook grensoverschrijdende effecten heeft op het grondwater. De dalingen in de stijghoogte onder de Boomse klei zijn evenwel fors, en de mogelijke doorwerking naar het maaiveld (bijv. verticaal langs breukvlakken) dient een onderwerp voor verder onderzoek te zijn.

³ Uit: Kees Meinardi (RIVM), Remco van Ek (RIZA), Willem-Jan Zaadnoordijk (Royal Haskoning), januari 2005. Karakterisering van het grondwater in het stroomgebieddistrict Maas. VROM, V&W



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

Fig 3.3 Profielen Centrale Slenk



Bron: Meinardi et al 2005.



Afstemming langs de Belgische grens.

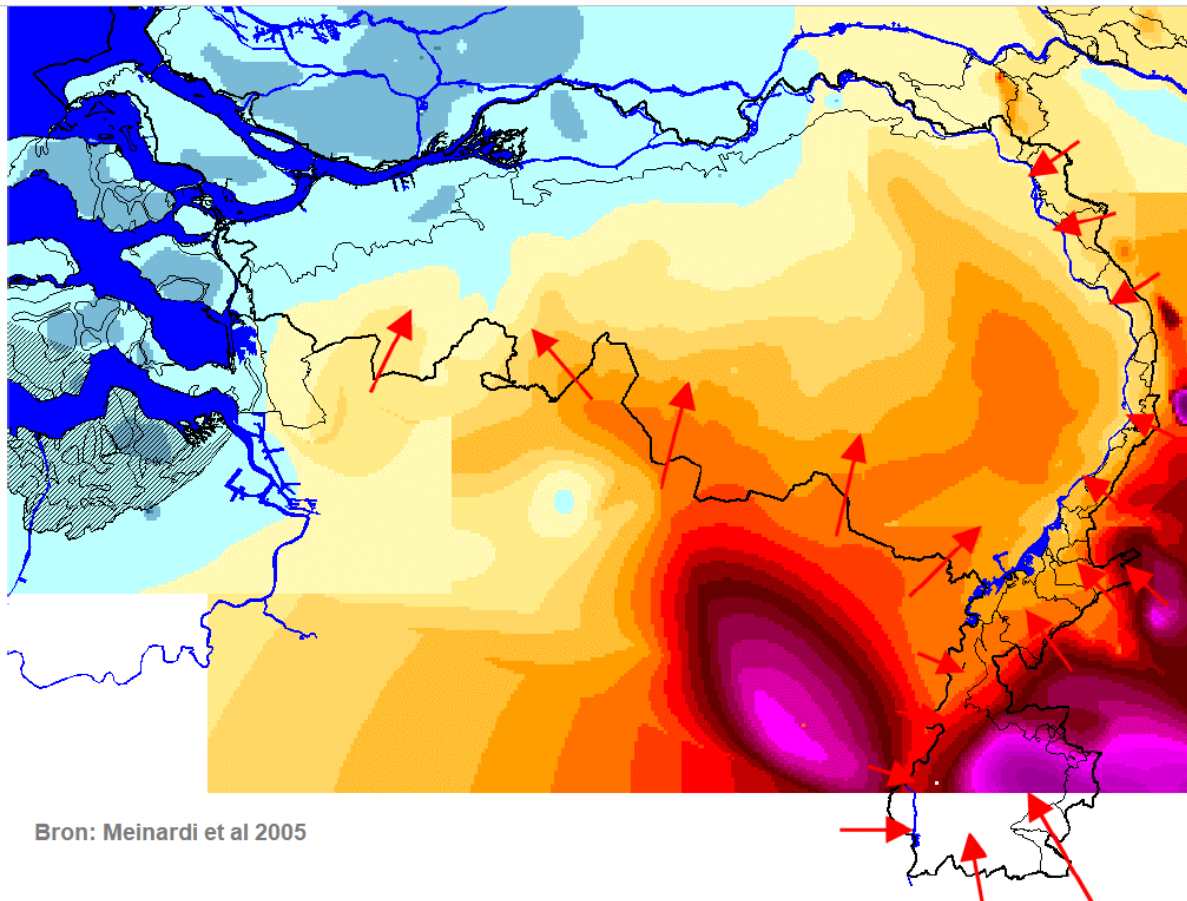
De afstemming in grondwaterlichamen langs de grens met België is uitgevoerd door NITG-TNO (Roelof Stuurman). Daarbij is de grootschalige samenhang aangegeven in grondwatersystemen. De uitgangspunten voor de begrenzing van grondwaterlichamen blijken tussen Vlaanderen en Nederland sterk te verschillen.

Met behulp van de digitale Vlaamse hydrogeologische bestanden, de Nederlandse en Duitse concept-begrenzings van grondwaterlichamen en de hydrogeologische profieltypen uit de Noord-Brabantse Atlas 'Watersystemen in beeld' (Stuurman e.a., 2000) het bovenstaande figuur samengesteld. Deze kaart vormt het eindresultaat van de voorgestelde afstemming.

De volgende punten zijn hierbij van belang:

- In de kaart zijn de breuken aangegeven. Deze informatie is deels afkomstig van een grensoverschrijdend project en afkomstig uit Duitse kaarten. Van west naar oost kunnen 5 tektonisch blokken worden onderscheiden: (1) Zeeland/West-Brabant/Midden-West Vlaanderen, (2) het Kempisch Plateau dat aan de oostzijde wordt begrensd door de Feldbiss en de westzijde de Gilze-Rijen breuk/Donderslag breuk, (3) de Centrale Slenk die in Limburg bekend staat als de Roerdal Slenk. De oostelijk grens wordt gevormd door de Peelrandbreuk, (4) Peelhorst/Venlo-Slenk die hier als één eenheid mogen worden beschouwd op basis van het geringe verval langs de Venlo breuk, (5) het oostelijkste blok dat in Duitsland ligt en aan de westzijde wordt begrensd door de zogenaamde Viersen breuk, ook wel grensbreuk genoemd.
- De breuken tonen dat de langgerekte, noordoostelijke bruinkoolgroeves in het Peel- en Venlo slenk tektonisch blok liggen. De middelste bruinkoolgroeve ligt in het Erft blok dat alleen in Duitsland voorkomt. De zuidelijkste groeves liggen in de Centrale Slenk. Overigens blijken de verlagingen in het Erft blok zich uit te strekken naar de naburige blokken.
- Het Nederlandse deel van het Kempisch plateau is begrensd. De zone aan de grens waar het Vlaamse grondwaterlichaam ms-0200-gwl-1 niet goed aansluit is het Vlaamse deel dat meegenomen zou moeten worden gearceerd en ingekleurd. Het verschil wordt veroorzaakt door andere inzichten over de ligging van de hoofdbreuk (Feldbiss).
- De Duitse grondwaterlichamen die in de Centrale Slenk liggen zijn apart ingekleurd. De noordgrens komt niet helemaal overeen met de Peelrandbreuk.
- Het deel van de Centrale Slenk in Nederland ten zuiden van de Maas is gearceerd en bruin ingekleurd. Dit deel zou tot het Centrale Slenk grondwaterlichaam moeten behoren.

- De arcering langs de Maas is het deel dat bij de Maaslichamen als aparte eenheid wordt beschouwd. Hier bestaan 2 opties: (1) Maasdalen worden niet beschouwd, (2) we beschouwen het (grind-)Maasdalen wel als aparte eenheid. Voor deze laatste optie valt wat te zeggen, immers het Maasdalen heeft eigen karakter omdat het grondwater hier bestaat uit (terrestrisch) grondwater dat komt toestromen en uit geïnfiltreerd oppervlaktewater dat van meander naar meander stroomt of is geïnfiltreerd tijdens hoogwatergolven. Daarnaast heeft het Maasregiem een grote invloed op het grondwaterregiem.
- Van het Vlaamse grondwaterlichaam cks-0200-gwl-2 is een deel afgestaan aan het Kempisch plateau systeem. Dit lijkt TNO juist gezien de ligging van de westelijke breuk.
- Er is gecontroleerd of de subverdeling van de Holocene deklaag in het Vlaamse kustgebied aansluit op de subverdeling van de deklaag in Zeeland. Dit blijkt op hoofdlijnen het geval te zijn



Figuur 3.4 Richting grensoverschrijdende grondwaterstroming in 1^{ste} WVP. De grootte van de grondwaterstroming over de landsgrens (verplicht volgens de KRW) is nog niet berekend.

12. BRONNEN

- <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
- <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>
- https://nl.wikipedia.org/wiki/Brabant_Water#:~:text=In%20de%20waterwingebieden%20Grote%20Heide, van%20%20tot%20320%20meter.
- <https://www.bund-nrw.de/themen/braunkohle/hintergruende-und-publikationen/verheizte-heimat/bergschaeden-durch-braunkohle/>
- <https://www.dinoloket.nl/digitaal-geologisch-model-dgm-diep>
- <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Kees Meinardi (RIVM), Remco van Ek (RIZA), Willem-Jan Zaadnoordijk (Royal Haskoning), januari 2005. **Karakterisering van het grondwater in het stroomgebieddistrict Maas**. VROM, V&W
- R.J. Stuurman en J. Griffioen; 2003; **SYSTEEMGERICHTGRONDWATERBEHEER. DRIE PRAKTIJKGEVALLEN VAN PROBLEMEN IN GRONDWATERBEHEER**. TNO-NITG Opgesteld in opdracht van de Technische commissie bodembescherming. TCB R18(2003)
- Roelof Stuurman, Paul Baggelaar en Niels van Oostrom m.m.v. Michiel van der Meulen en Gualbert Oude Essink; 2007; **Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050**. DG Water; TNO-rapport 2007-U-R0225/B Opdrachtgever Ministerie van Verkeer en Waterstaat,
- R.J. Stuurman, J.L. van der Meij, A. Biesheuvel en U. Pakes. 1990. **De grondwaterstromingsstelsels en de grondwatersamenstelling van de Provincie Noord-Brabant**. TNO-rapport OS 90-26-A
- Stuurman, R.J., G. van Beusekom en J. Reckman, (2000). **Watersystemen in Beeld. Een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant**. TNO-rapport N ITG 00-10-A.
- Roelof Stuurman (Deltares) , Floris Verhagen en Arjan van Wachtendonk (Royal HaskoningDHV) en Han Runhaar (Ecogroen); 2020; **Een verkenning naar de Watervraag van de Noord-Brabantse Natuur**. Deltares 11203929-002-BGS-0002.)