

TNO PUBLIEK

Geologische Dienst NederlandPrincetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nl

T +31 88 866 42 56

TNO-rapport**TNO 2022 R11391 / versie 2023****Analyse van stijghoogten van het grondwater
in het voormalige Limburgse
steenkoolwinningsgebied**

Datum	25 oktober 2023
Auteur(s)	Drs. J.T. Buma Ir. R.W. Vernes Dr.ir. W.J. Zaadnoordijk
Aantal pagina's	23
Opdrachtgever	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Projectnaam	Onderzoek Naijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning, werkprogramma 2022
Projectnummer	060.51941

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 TNO

Inhoudsopgave

Management samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	4
1.1 Doel van dit rapport	4
1.2 Leeswijzer.....	4
2 Grondwater in het voormalige Limburgse steenkoolwinningsgebied.....	5
2.1 Context	5
2.2 Beschrijving van het studiegebied.....	5
2.3 De stijghoogteanalyse in relatie tot gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw	9
3 De recente ontwikkeling van de stijghoogten in het Carboon en van de verzadiging van het Carboon met grondwater.....	10
3.1 Werkwijze	10
3.2 Bevindingen - recente ontwikkeling stijghoogten	12
3.3 Bevindingen - verzadiging van het Carboon	13
3.4 Discussie – recente ontwikkeling stijghoogten en verzadiging van het Carboon	14
4 Analyse stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein	17
4.1 Werkwijze	17
4.2 Bevindingen: vastgestelde stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein	18
4.3 Discussie stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein.....	20
5 Aanbevelingen en lopend onderzoek voortkomend uit deze studie.....	23
5.1 Verbeteren vlakdekkende beelden van de stijghoogte	23
5.2 Aanvullende stijghoogtemeetpunten	23
5.3 Jaarlijkse evaluatie stijghoogten.....	26
5.4 Stijghoogtetrends in het dekterrein	26
5.5 Specifieke situaties: MWM04 en MWM06B	26
5.6 Lopend onderzoek.....	27
6 Conclusies en aanbevelingen	28
6.1 Conclusies	28
6.2 Aanbevelingen.....	28
7 Referenties	30
Bijlage 1: Samenvatting Heitfeld e.a. (2016)	31
8 Ondertekening	35

Management samenvatting

TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN) doet in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) nader onderzoek naar de na-ijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning in het Limburgse steenkoolwinningsgebied. Dit rapport presenteert de resultaten van een analyse van de stijghoogten (waterstanden in de ondergrond gemeten met peilbuizen) uit de periode 2009 tot 2022. Daarbij is gekeken naar de stijghoogten in zowel het gesteentepakket waaruit de steenkool werd gewonnen (het Carboon) als de daarboven gelegen gesteenten en sedimenten (het dekterrein). Het grondwater in de gemijnde delen van het Carboon wordt ook wel aangeduid als mijnwater.

Achtergrond:

Ten behoeve van de steenkoolwinning werden de mijnen droog gehouden door het van nature in de ondergrond aanwezige grondwater dat naar de mijnen toestroomt weg te pompen. Na beëindiging van de steenkoolwinning werd het leegpompen van de mijnen gefaseerd gestaakt. Sindsdien vult het toestromende grondwater de mijnen. Dit zorgt voor een toenemende waterdruk in de mijnen die doorgaat totdat de waterdruk in evenwicht is met de omgeving. Daardoor veranderen de grondwaterstroming en de stijghoogten. Dit brengt een aantal mogelijke gevolgen met zich mee, waaronder mogelijke destabilisering van de ondergrond (denk bijvoorbeeld aan het ontstaan van verdwijngaten of sinkholes) en mogelijke negatieve beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit.

Conclusies in dit rapport:

1. De stijghoogte van het mijnwater nam in de periode 2009-2022 vrijwel lineair toe terwijl werd verwacht dat de stijgsnelheid van het mijnwater zou afnemen.
2. In het westelijke en centrale deel van het steenkoolwinningsgebied is het Carboon verzadigd, in het oostelijke deel, in de schachten Wilhelmina, Beerenbosch II en Willem II, is dit niet het geval. Als het gesteente verzadigd is, betekent dat dat alle holle ruimten in het gesteente, ook de poriën van het gesteente zelf, zijn gevuld met water.
3. Bij alle meetpunten op één na (MWM04), is sprake van neerwaartse grondwaterstroming vanuit het dekterrein naar het onderliggende Carboon.
4. In de komende decennia (tijdstip is locatieafhankelijk) kan deze neerwaartse stroming omslaan naar opwaartse stroming. Dit kan een negatief effect hebben op de grondwaterkwaliteit in het dekterrein.
5. Waar grondwater wordt onttrokken uit watervoerende lagen in het dekterrein zou ook nu al lokaal opwaartse grondwaterstroming vanuit het Carboon kunnen optreden.

Aanbevelingen in dit rapport (zie hoofdstuk 5 voor nadere toelichting):

1. Het bestaande, door middel van grondwatermodellering berekende vlakdekkende beeld van de stijghoogte van het mijnwater voor het gehele voormalige steenkoolwinningsgebied verbeteren.
2. Het mijnwatermeetnet uitbreiden.
3. De stijghoogtegegevens jaarlijks evalueren en hierbij ook de Belgische en Duitse meetgegevens betrekken;
4. Het inzicht in het grondwatersysteem met behulp van andere soorten informatie (grondwaterleeftijd, -samenstelling en -temperatuur) verbeteren, wat vervolgens gebruikt kan worden om de vlakdekkende beelden en voorspelling van de stijghoogte verder te verbeteren.
5. Lokale omstandigheden bij MWM04 (opwaartse stroming naar dekterrein) en MWM06 (invloed energieopslagsysteem van Mijnwater B.V.) nader onderzoeken.

1 Inleiding

1.1 Doel van dit rapport

Dit rapport bevat de resultaten van een analyse van recente stijghoogtegegevens in het voormalige Limburgse steenkoolwinningsgebied, in zowel het gesteentepakket waaruit de steenkool werd gewonnen (het Carboon) als de daarboven gelegen gesteenten en sedimenten (het dekterrein). Een stijghoogte is een waterdruk in de ondergrond gemeten via de waterstand in een peilbuis, ook wel grondwaterstand genoemd. Het grondwater in de gemijnde delen van het Carboon wordt ook wel aangeduid als mijnwater. De rapportage is opgesteld in het kader van een nader onderzoek naar de na-ijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning, waarvoor het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) opdracht heeft verleend aan TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN).

Door Heitfeld e.a. (2016) is uitgebreid onderzoek gedaan naar mogelijke gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw. Zij analyseerden het stijghoogteverloop vanaf het begin van de metingen tot 2015. De hier gerapporteerde studie richt zich op de recente periode, vanaf 2009 tot 2022. Dit rapport brengt de bevindingen aangaande deze recente stijghoogtegegevens bijeen van zowel het Carboon als het dekterrein en beschrijft wat daaruit geconcludeerd kan worden. Op basis van deze conclusies worden in dit rapport een aantal aanbevelingen gedaan.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de context van deze rapportage geschetst, is een beschrijving van het onderzoeksgebied te vinden en wordt beschreven welke aspecten van het grondwatersysteem zijn onderzocht en hoe deze relateren aan de door Heitfeld e.a. (2016) benoemde gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw.

De hoofdstukken 3 en 4 beschrijven het in deze studie uitgevoerde onderzoek. Waar in dit rapport wordt gesproken over 'het Carboon' wordt het gesteente bedoeld waaruit de steenkool werd gewonnen. Dat gesteente werd afgezet tussen circa 360 en 300 miljoen jaar geleden, een geologische periode die wordt aangeduid als *het Carboon*. Alle op het Carboon gelegen gesteenten en sedimenten worden in de context van de Limburgse steenkoolwinning 'het dekterrein' genoemd.

Hoofdstuk 3 presenteert de recente stijghoogten in het Carboon en het tijdstip van verzadiging van het Carboon. Hoofdstuk 4 gaat in op de stijghoogteverschillen tussen het Carboon en het dekterrein. Beide hoofdstukken beschrijven de gehanteerde werkwijze, presenteren de resultaten, en bediscussiëren de conclusies die daaruit getrokken kunnen worden.

De resultaten en conclusies uit hoofdstukken 3 en 4 leiden tot aanbevelingen om het grondwatersysteem beter te kunnen monitoren en begrijpen, om zodoende betere voorspellingen te kunnen doen waar welke na-ijlende effecten van de steenkoolwinning zouden kunnen optreden en hoe lang er nog met effecten rekening gehouden moet worden. In hoofdstuk 5 worden deze aanbevelingen uitgewerkt. Tenslotte zijn in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen die voortkomen uit dit onderzoek samengevat. Op pagina 30 vindt u alle gebruikte referenties.

2 Grondwater in het voormalige Limburgse steenkoolwinningsgebied

2.1 Context

Na de sluiting van de steenkoolmijnen in Limburg en de aangrenzende delen van België en Duitsland werden in 1994 de laatste pompen die zorgdroegen voor het drooghouden van de mijnen stopgezet. Sindsdien stijgt het niveau van het grondwater in het Carboon.

In 2014-2016 is uitgebreid onderzoek gedaan naar gevolgen van de Limburgse steenkoolwinning (Heitfeld e.a., 2016). Dit resulteerde onder andere in het rapport 'Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg – Uittreksel uit het samenvattende rapport met een overzicht van de voorgestelde maatregelen', door projectgroep "Na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg" (projectgroep GS-ZL). De samenvatting hiervan is te vinden in Bijlage 1 van dit rapport. Eén van de onderdelen van het onderzoek bestond uit berekeningen met een numeriek grondwatermodel (Spaans e.a., 2016). Daarmee werden gebiedsdekkende beelden van de stijghoogte in het Carboon en het dekterrein gesimuleerd. Voor de berekeningen werd de toen beschikbare versie 2 van het regionaal hydrologisch modelinstrumentarium voor de provincie Limburg IBRAHYM als basis gebruikt en uitgebreid met het Carboon. Dat is gedaan door aan de basis twee modellagen toe te voegen die het bovenste ongemijnde deel van het Carboon weergeven ('basement above the mining zone') en het gemijnde gedeelte ('mining zone')¹.

De hier gerapporteerde studie betreft een analyse van de recente meetgegevens van de stijghoogten (2009 tot 2022) in het Carboon en het dekterrein. De toename van de stijghoogte in het Carboon is één van de aspecten die samenhangen met de naijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning (zie ook SodM, 2021).

2.2 Beschrijving van het studiegebied

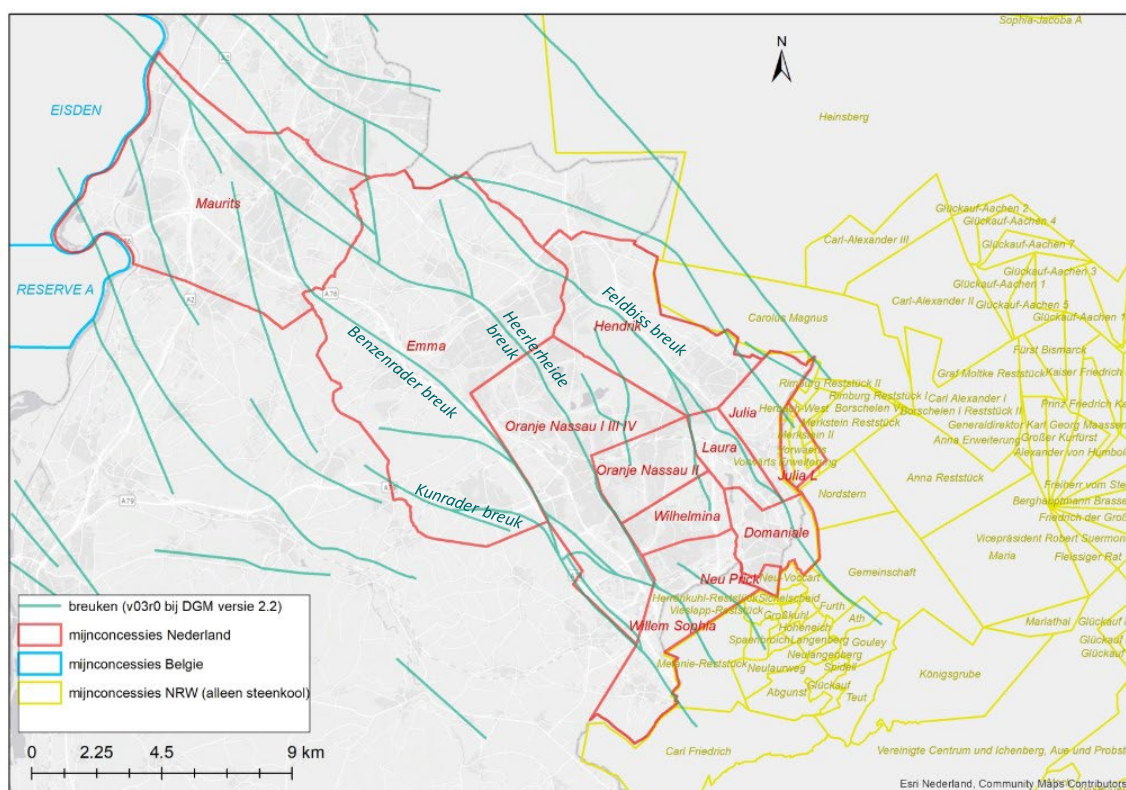
Het studiegebied is weergegeven in Figuur 1, met daarin de grenzen van de voormalige mijnconcessies (gebaseerd op Heitfeld e.a., 2016) en breuken volgens het breukenmodel versie v03r0 behorende bij het Digitaal Geologisch Model, [DGM versie 2.2 \(BROloket\)](#)². DGM is een lagenmodel van de Nederlandse ondergrond tot een diepte van ongeveer 500 tot 1100 meter onder NAP. In de mijnstreek geeft DGM de opbouw van de ondergrond tot de bovenkant van het Carboon, en in het uiterste noordwesten tot de top van het Trias, een gesteentepakket dat jonger is dan het Carboon. DGM bestrijkt daarmee in een groot deel van het gebied het gehele dekterrein.

In het Limburgse steenkoolwinningsgebied zijn breuken aanwezig, die variaties in de opbouw van de ondergrond en de grondwatersituatie kunnen veroorzaken, en zo

¹ Deze lagen hebben in het model dikten van respectievelijk 20 en 900 meter. Voor het Carboon is een doorlatendheid van 0,001 m/d aangehouden, terwijl aan het gemijnde deel een waarde van 250 m/d is toegekend.

² Het Digitaal Geologisch Model (DGM) is opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en kan geraadpleegd worden bij de [ondergrondmodellen](#) op <https://www.DINOloket.nl> waar ook achtergrondinformatie en een downloadmogelijkheid van het model beschikbaar zijn.

bepaalde na-ijlende effecten van de steenkoolwinning kunnen beïnvloeden (SodM, 2021). De in het dekterrein aanwezige breuken zijn ook aanwezig in het Carboon³. Een aantal voor het studiegebied belangrijke breuken zijn met naam aangegeven in Figuur 1. Figuur 1 geeft geen volledig beeld van de in het Carboon aanwezige breuken. Voor de modellering van de breuken wordt verwezen naar de [totstandkomingsrapportage van DGM v2.2 \(Hummelman e.a., 2019\)](#). Een beschrijving van de geologische eenheden is te vinden in de [Stratigrafische Nomenclator](#) op [DINOloket](#).



Figuur 1. Overzichtskartaal studiegebied met mijnconcessies en breuken volgens het breukenmodel versie v03r0 behorende bij [DGM versie 2.2](#). De belangrijkste breuken zijn met naam genoemd).

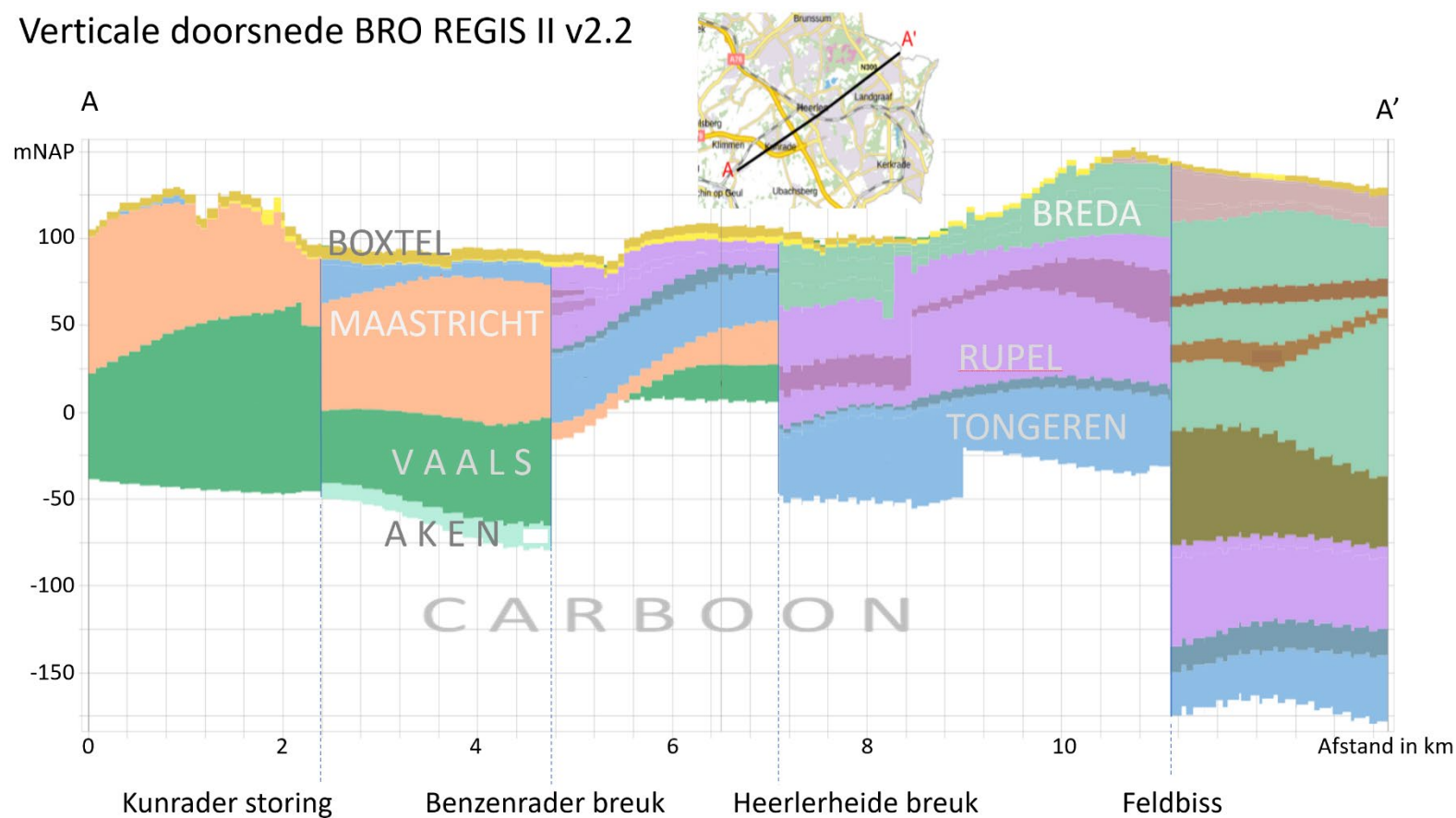
Ook in de doorsnede in Figuur 2 zijn de belangrijkste breuken weergegeven, met daarbij de hydrogeologische eenheden van het dekterrein volgens het *hydrogeologische model REGIS II v2.2*.⁴ In REGIS II zijn binnen de geologische eenheden van DGM de beter doorlatende en minder doorlatende lagen in kaart gebracht. Dit worden hydrogeologische eenheden genoemd; lagen met min of meer uniforme hydrologische eigenschappen. Deze hydrogeologische eenheden vallen dus samen, of zijn onderdeel van, de in DGM onderscheiden geologische eenheden. De doorsnede in Figuur 2 loopt van zuidwest naar noordoost. Binnen de breukblokken hellen de geologische eenheden en liggen ze naar het noordwesten toe steeds dieper.

³ Zie bijvoorbeeld de Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving, blad Paleozoïcum, Rijks Geologische Dienst (1977)

⁴ Ook het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS II) is opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en kan geraadpleegd worden bij de [ondergrondmodellen](#) op <https://www.DINOloket.nl> waar ook achtergrondinformatie met [het totstandkomingsrapport](#) en een downloadmogelijkheid van het model beschikbaar zijn.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de (hydro)geologie wordt verwezen naar Heitfeld e.a. (2016). Voor een beschrijving van de in Figuur 2 weergegeven eenheden wordt verwezen naar de [Stratigrafische Nomenclator](#) en het hydrogeologische model REGIS II v2.2. Een beschrijving van dit model alsook het [totstandkomingsrapport](#) van dit model is te vinden <https://www.DINOloket.nl>.

Verticale doorsnede BRO REGIS II v2.2



Figuur 2. Hydrogeologisch profiel door het voormalige Limburgse steenkoolwinningsgebied, REGIS II v2.2 met de namen van de belangrijkste geologische formaties. Binnen elke geologische eenheid hebben beter doorlatende eenheden een lichtere tint en minder doorlatende lagen een donkerdere tint.

2.3 De stijghoogteanalyse in relatie tot gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw

De hier gerapporteerde stijghoogteanalyse bestaat uit drie onderdelen:

1. Een analyse van de recente ontwikkeling van de stijghoogten in het Carboon, vanaf 2009;
2. Een analyse van de recente ontwikkeling van de verzadiging van het Carboon met grondwater;
3. Een analyse van verticale stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein.

Het eerste, meer algemene onderdeel is relevant voor verschillende door Heitfeld e.a. (2016) genoemde gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw:

- Expansie van ondergrondmateriaal door toename van de waterdruk kan bij verschillen in materiaaleigenschappen of in druktoename leiden tot ongelijkmatige bodembeweging;
- Toename van de waterdruk leidt tot verandering van de spanningen in breuken en kan vervolgens leiden tot verhoogde seismiciteit⁵;
- De mijnwaterstijging kan leiden tot verhoging van de freatische grondwaterstand waardoor lokaal vernatting op kan treden⁶.

Het tweede onderdeel is specifiek relevant voor de volgende twee door Heitfeld e.a. (2016) genoemde gevolgen:

- Daar waar industriële mijnbouwactiviteiten dicht onder de top van het Carboon zijn ontplooid, kan een vermindering van de stabiliteit van los materiaal (bijvoorbeeld door verzadiging met grondwater) instorting van voormalige mijngangen veroorzaken. Dit kan vervolgens leiden tot uitspoeling van zand uit het dekterrein en uiteindelijk verzakkingen aan maaiveld (verdwijngaten of sinkholes).
- Mijngas kan via oude schachten in (kelders van) gebouwen uitkomen en daar veiligheids- en gezondheidseffecten veroorzaken. Het stijgende mijnwater verdringt de lucht die uit mijngas kan bestaan in de holtes van de voormalige mijnen. Dit risico doet zich alleen voor in het zuidoostelijke deel van de Mijnstreek waar de mijnen (nog) niet volledig zijn verzadigd en mogelijk droog blijven.

Het derde onderdeel is specifiek relevant voor het door Heitfeld e.a. (2016) genoemde gevolg dat in delen van het gebied het stijgende mijnwater opwaartse grondwaterstroming vanuit het Carboon kan veroorzaken en de grondwaterkwaliteit in het dekterrein negatief kan beïnvloeden.

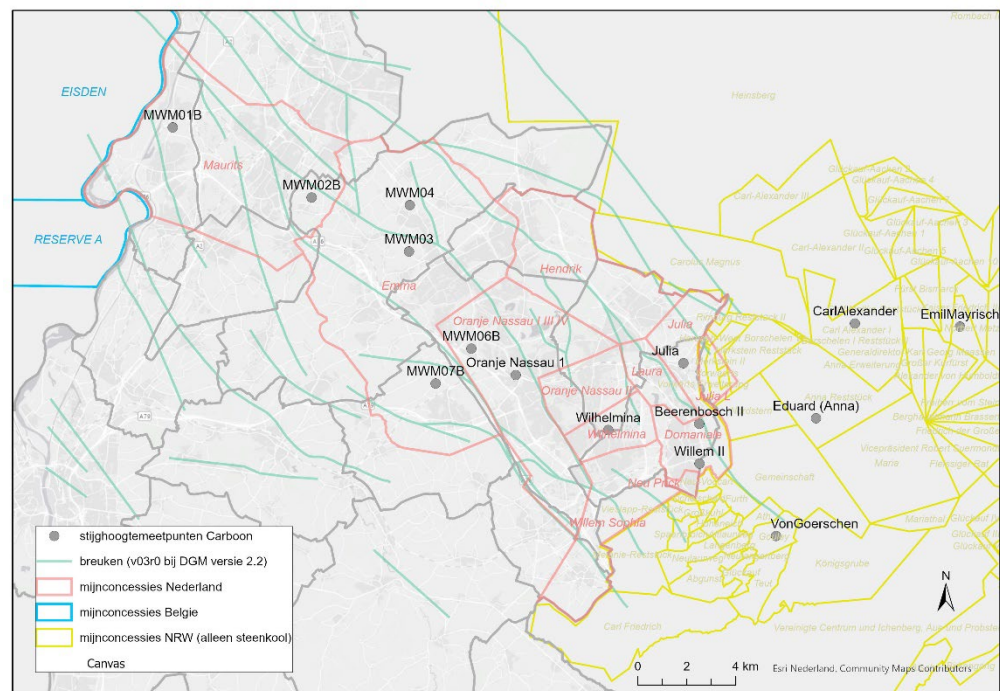
⁵ Heitfeld e.a. (2016) concluderen dat er mogelijk een verband zou kunnen zijn tussen de mijnwaterstijging en kleine aardbevingen, maar verwachten niet dat de nog te verwachten mijnwaterstijging zal leiden tot extra seismiciteit ten opzichte van de natuurlijke aardbevingen.

⁶ Heitfeld e.a. (2016) stellen dat deze vernatting gering is en naar verwachting niet leidt tot schade aan gebouwen of natuur.

3 De recente ontwikkeling van de stijghoogten in het Carboon en van de verzadiging van het Carboon met grondwater

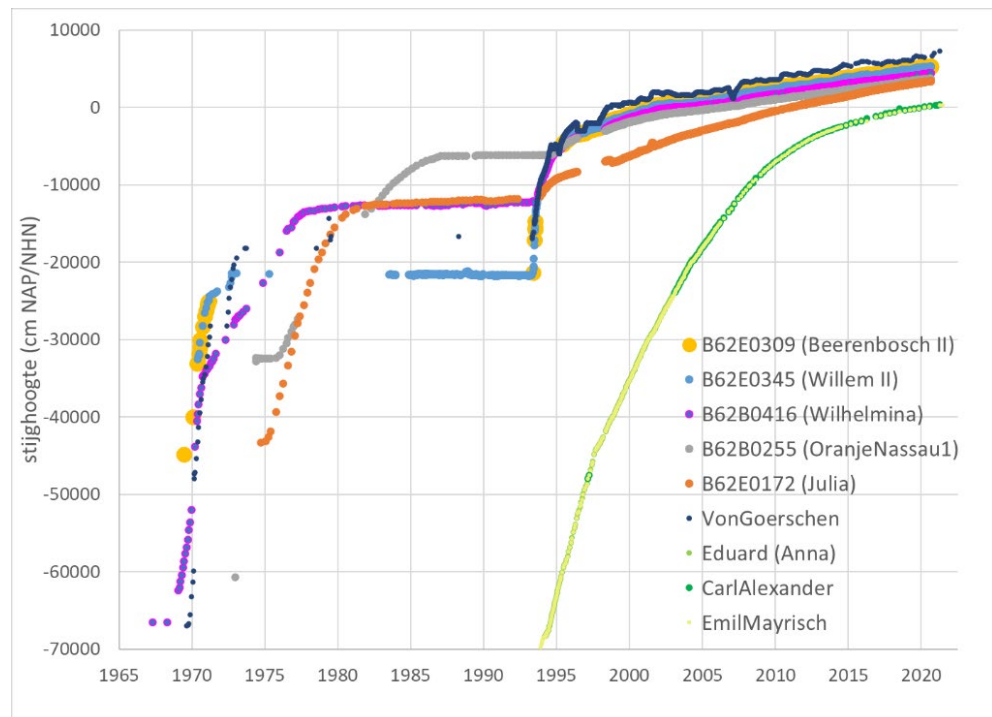
3.1 Werkwijze

Voor een analyse van de toename van de stijghoogten van het mijnwater is gebruik gemaakt van meetgegevens van de locaties weergegeven in Figuur 3. In Nederland betreft het meetpunten in voormalige mijnschachten en putten die deel uitmaken van het naar aanleiding van de aanbevelingen van Heitfeld e.a. (2016) uitgebreide mijnwatermeetnet van de Provincie Limburg. De meetgegevens van deze locaties zijn ter beschikking gesteld door de Provincie Limburg. De gegevens van de in Figuur 3 aangegeven Duitse locaties zijn ter beschikking gesteld door EBV GmbH, met medewerking van dr. P. Rosner (Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH). Voor zover bekend zijn er geen meetpunten voor de stijghoogten van het mijnwater in de westelijk gelegen Belgische mijnconcessies.



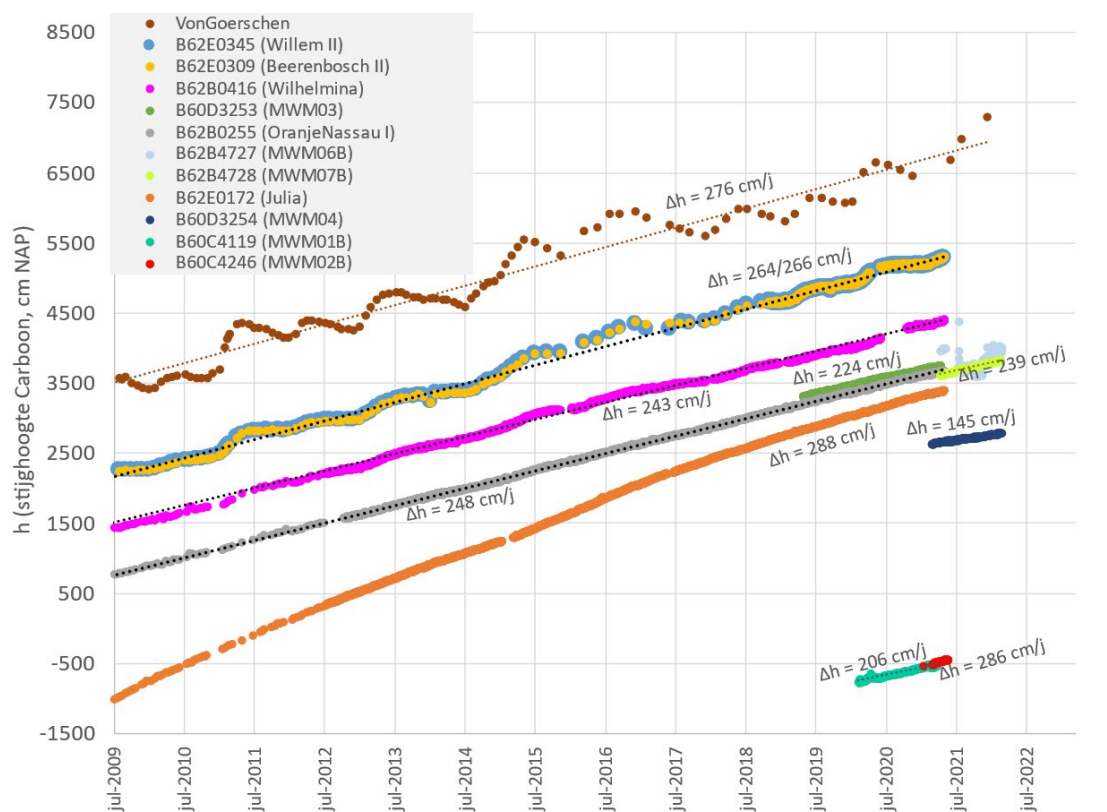
Figuur 3. Stijghoogtemeetpunten gebruikt in de analyse van de stijghoogte-toename in het Carboon. Niet weergegeven (en ook niet geanalyseerd) zijn de putten met filterstelling in het Carboon van het mijnwaterproject in Heerlen.

Van de locaties waarvoor al meerdere decennia aan meetgegevens beschikbaar zijn, zijn de meetreeksen grafisch weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Meetreeksen stijghoogte in het Carboon vanaf het begin van de metingen, uitgezonderd de locaties van het mijnwatermeetnet van de provincie Limburg (MWM).

Door Heitfeld e.a. (2016) werd het stijghoogteverloop vanaf het begin van de metingen tot 2015 geanalyseerd in relatie tot de connectiviteit van de verschillende mijncompartimenten en hun drainagegeschiedenis. De huidige analyse richt zich op de recente periode, vanaf 2009 tot 2022 (mei 2021 of februari 2022, dit verschilt per meetpunt). De meetreeksen in deze periode zijn grafisch weergegeven in Figuur 5. De meetreeksen in de schachten begonnen al vóór 2009 en zijn daarom voor de gehele analyseperiode beschikbaar. De meetreeksen van het mijnwatermeetnet beginnen in 2019 of later.



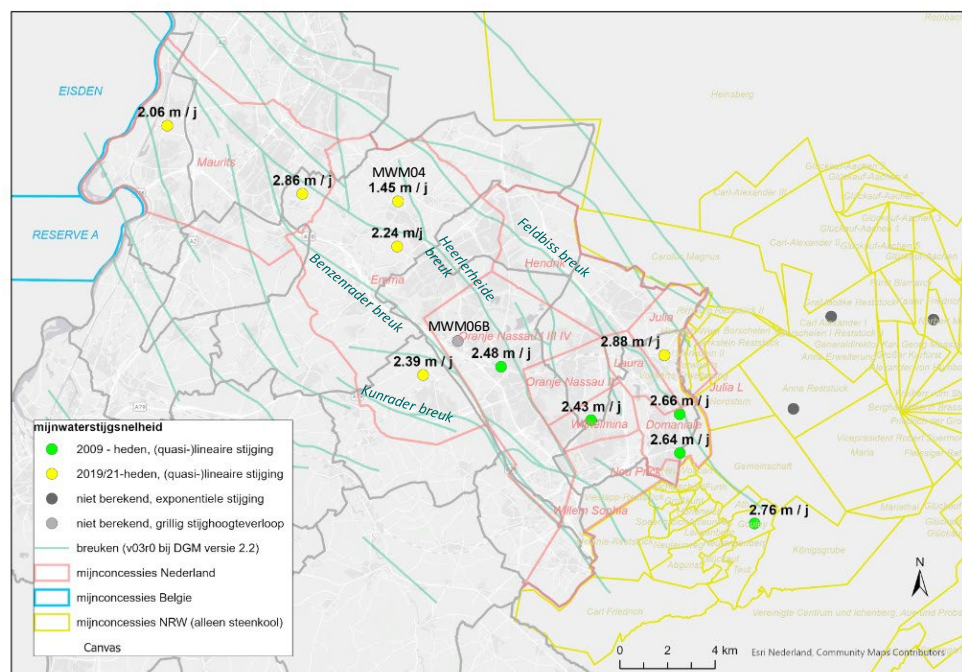
Figuur 5. Meetreeksen stijghoogte in het Carboon vanaf 1 januari 2009, met richtingscoëfficiënt van de stijgende trend volgens een lineaire regressie. Om redenen van leesbaarheid (bereik y-as) zijn de meetreeksen van de locaties Eduard (Anna), EmilMayrisch en CarlAlexander niet weergegeven.

3.2 Bevindingen - recente ontwikkeling stijghoogten

Figuur 4 laat zien dat de stijghoogte in het Carboon snel steeg nadat in 1994 de laatste pompen die zorgdroegen voor het drooghouden van de mijnen werden stopgezet. Vervolgens begon de stijgsnelheid af te vlakken volgens een exponentieel verloop, maar sinds circa 2005 vertoont het merendeel van de put- en schachtlocaties een vrijwel lineaire stijging. Dit geldt niet voor de Duitse locaties Eduard (Anna), CarlAlexander en EmilMayrisch ten noordoosten van de Feldbissbreukzone, waar de stijging tot op heden wel een exponentieel verloop vertoont. In mindere mate geldt dit ook voor schacht Julia (zie Figuur 4).

Uit de in Figuur 5 weergegeven richtingscoëfficiënten van de stijgende trends blijkt dat de stijgsnelheden van de verschillende meetlocaties vrij dichtbij elkaar liggen. Deze stijgsnelheden zijn in figuur 6 ruimtelijk weergegeven, en liggen tussen 2 en 3 meter per jaar. Daarbij valt in Figuur 5 nog op dat in oostelijke richting meer en meer fluctuaties in de stijghoogte optreden. Deze zijn in Nederland het best zichtbaar in de reeksen van Willem II en Beerenbosch II, en nog duidelijker in de Duitse locatie Von Goerschen. Trendanalyses over kortere perioden, zoals uitgevoerd door Heitfeld e.a. (2022) kunnen dan ook andere stijgsnelheden te zien geven dan de hier gerapporteerde trends over een langere periode. Twee locaties tonen een ander stijghoogteverloop: locatie MWM04 (B60D3254), waarover meer in hoofdstuk 4, en locatie MWM06B (B62B4727) die een grillig verloop zonder

stijgende trend toont. Mogelijk hangt het afwijkende stijghoogteverloop van locatie MWM06B samen met een aardwarmteproject te Heerlen ([Mijnwater](#)) dat gebruik maakt van mijnwaterwinning uit en waterinjectie in de steenkoolgalerijen om te zorgen voor koeling of verwarming en opslag van thermische energie. De eventuele relatie met na-ijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning dient nader te worden onderzocht (zie Hoofdstuk 5 voor het overzicht van de aanbevelingen die in dit rapport worden gedaan).

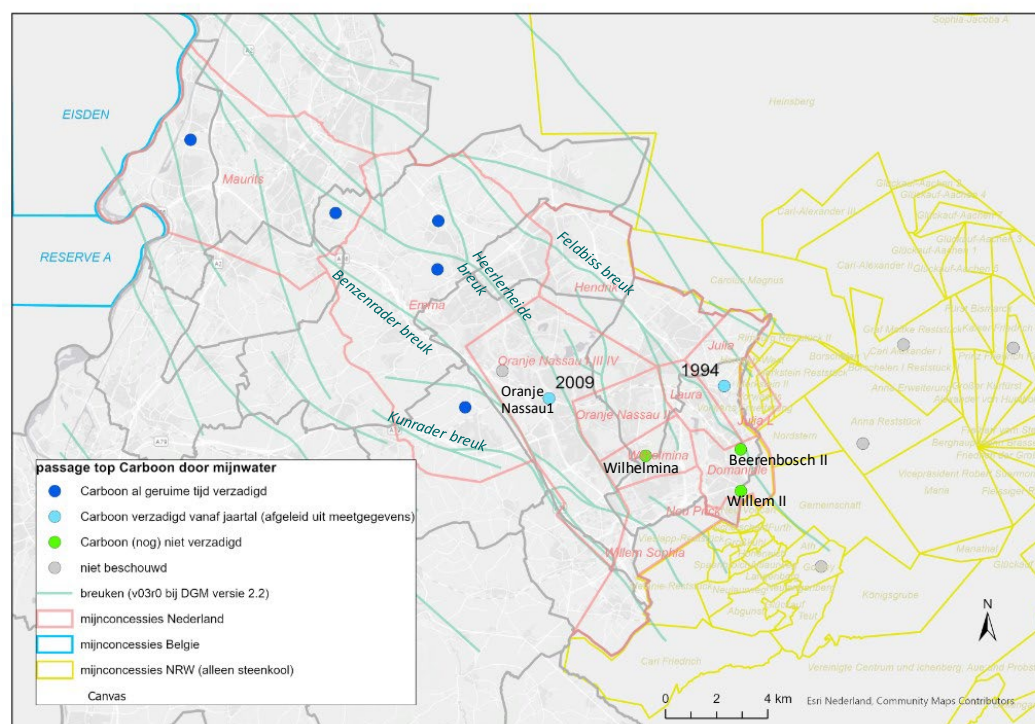


Figuur 6. Stijgsnelheden van de stijghoogte in het Carboon (het mijnwater), gebaseerd op lineaire regressie van metingen en uitgedrukt in meters per jaar (m / j).

3.3 Bevindingen - verzadiging van het Carboon

In Figuur 7 is op basis van de beschikbare meetgegevens weergegeven of het grondwater ter plaatse van de meetpunten het Carboon heeft verzadigd. De top van het Carboon is per locatie afgeleid uit de in DINOLoket beschikbare boorprofielen mits die stratigrafisch geïnterpreteerd zijn voor DGM v2.2 en/of REGIS v2.2 en/of H3O-ROSE, of de in REGIS II v2.2 gemodelleerde niveaus van de basis van het dekterrein. Deze niveaus zijn gecorrigeerd voor bodemdaling sinds het begin van de mijnperiode.

Figuur 7 laat zien dat alleen bij de oostelijke meetpunten tussen de Feldbissbreukzone en Heerlerheidebreuk onverzadigde omstandigheden voorkomen. Het westelijke en centrale deel van de voormalige Nederlandse ontginningslocaties in het Carboon is verzadigd. Op de locaties weergegeven met het label 'Carboon al geruime tijd verzadigd' was de stijghoogte in het Carboon al bij aanvang van de metingen (2019-2021) ruim hoger dan de top van het Carboon (variërend van 129 m hoger in MWM07B tot 306 m hoger in MWM01B). De trend van Carboon verzadiging vindt grofweg plaats van noordwest naar zuidoost.



Figuur 7. Passage van de top van het Carboon door het stijgende mijnwater.

3.4 Discussie – recente ontwikkeling stijghoogten en verzadiging van het Carboon

Het onttrekken van grondwater is gekoppeld aan een verlaging van de stijghoogte (grondwaterstand) die het grootst is in de laag waaruit wordt onttrokken. Direct na beëindiging van een grondwateronttrekking begint het herstel van de oorspronkelijke stijghoogte. Na een aanvankelijke snelle stijging vlakt de snelheid waarmee de stijghoogte toeneemt normaal gesproken steeds meer af volgens een exponentieel verloop, tot weer een evenwichtssituatie is bereikt. De vrijwel lineaire (hierna: quasi-lineaire) stijghoogtetoeename in de periode 2009-2022 is daarom opvallend. Te meer omdat in de eerste circa 15 jaren nadat de pompen in 1994 werden stopgezet wel sprake was van een afvallend verloop. De oorzaak van de geconstateerde quasi-lineaire stijging sinds 2009 verdient nader onderzoek. Hiervoor is meer inzicht in het grondwatersysteem nodig.

Zoals ook door Heitfeld e.a. (2022) gesuggereerd, spelen variaties in het neerslagoverschot mogelijk een rol bij de grotere stijghoogtefluctuaties in de oostelijke meetpunten Willem II, Beerenbosch II en Von Goerschen. In dit deel van het Limburgse steenkoolwinningsgebied ligt het Carboon het dichtst aan het oppervlak.

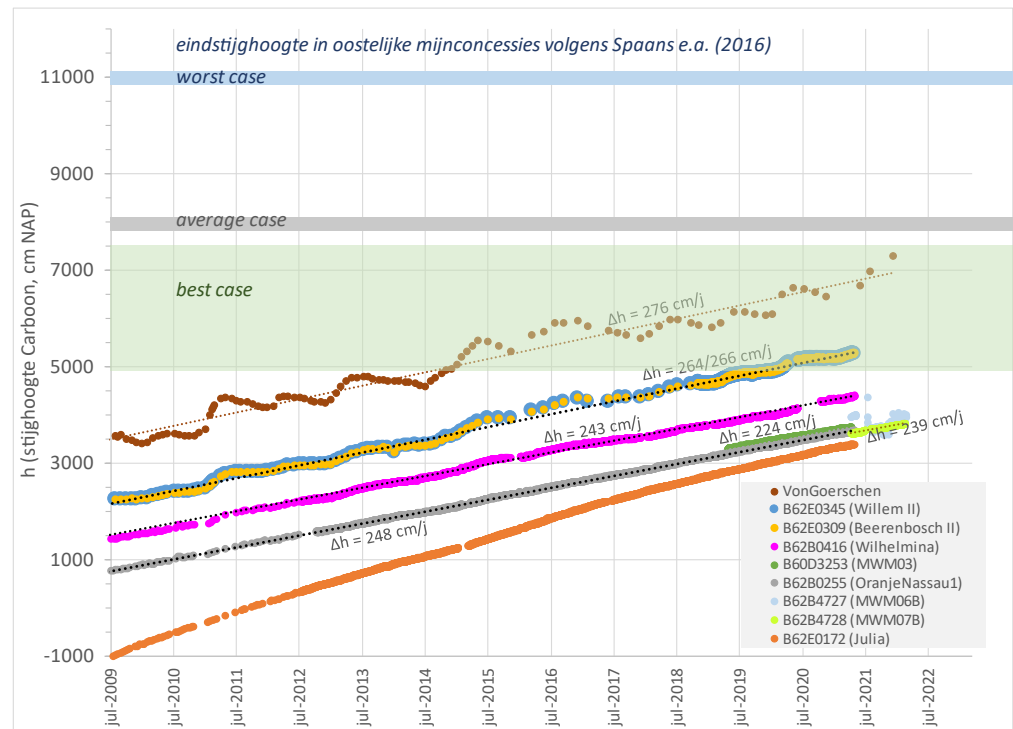
In de in hoofdstuk 2 genoemde, door Spaans et al (2016) uitgevoerde grondwatermodelstudie zijn op basis van de toen beschikbare gegevens drie mogelijke eindscenario's voor de toekomstige ontwikkeling van de stijghoogte van het mijnwater geformuleerd:

- ‘*Worst case*’: de stijghoogte in de eindsituatie wordt bepaald door het drainageniveau van de rivier de Worm in het oostelijk steenkoolwinningsgebied tussen de Feldbissbreukzone en Heerlerheidebreuk. Dit drainageniveau is in het model opgelegd op NAP + 110 m. Uit de simulatie van dit scenario volgt dat een onwaarschijnlijk hoge grondwateraanvulling naar het Carboon en een lage doorlatendheid van het gemijnde deel van het Carboon nodig is om de eindstijghoogte in het Carboon te kunnen bereiken van circa NAP + 110 m in de oostelijke concessies;
- ‘*Average case*’: hiervoor zijn realistische schattingen gemaakt van de doorlatendheid van het gemijnde deel van het Carboon (50 m/d in plaats van 250 m/d) en van de aanvulling. Voorts is ervan uitgegaan dat er geen toestroming vanuit Duitsland is langs de oostelijke grens van het Limburgse steenkoolwinningsgebied. De in de oostelijke concessies gesimuleerde eindstijghoogte in het Carboon komt uit op circa NAP + 80 m;
- ‘*Best case*’: de stijghoogte in de eindsituatie wordt bepaald door een laterale toestroming vanuit het voedingsgebied in Duitsland gelijk aan de grondwateraanvulling over het oppervlak van 14 km². Verder treedt alleen langs de Worm verticale toestroming naar het Carboon op en heeft het Carboon een relatief hoge doorlatendheid. De in de oostelijke concessies gesimuleerde eindstijghoogte in het Carboon komt uit tussen NAP + 50 en +75 m.

Deze scenario's zijn door Spaans et al. (2016) stationair⁷ gesimuleerd met het in hoofdstuk 2 genoemde grondwatermodel IBRAHYM2.

Figuur 8 toont de stijghoogten in het Carboon in de oostelijke mijnconcessies vanaf 2009, in combinatie met de hiervoor beschreven eindstijghoogten volgens de drie scenario's uit de grondwatermodelstudie van Spaans et al. (2016). Uit Figuur 8 kan worden afgeleid dat de waargenomen quasi-lineaire stijghoogtetoename vooralsnog binnen de bandbreedte valt van de drie beschreven scenario's voor de stijghoogte in de eindsituatie. Daarmee blijft ook de verwachting van Spaans e.a. (2016) gehandhaafd dat de meest zuidoostelijke regio's nooit verzadigd zullen raken en dat een deel van het Carboon permanent droog zal blijven staan. Dit omdat het Carboon daar uitkomt ruim boven de hoogte van de rivier de Worm die het grondwater draineert.

⁷ In een stationair model zijn alle opgelegde randvoorwaarden een gemiddelde, en onveranderlijk in de tijd, ook bijvoorbeeld neerslag, verdamping en grondwateronttrekkingen. Zodoende wordt het grondwatersysteem in evenwicht gemodelleerd.



Figuur 8. Meetreeksen stijghoogte in het Carboon vanaf 1 januari 2009, uitsluitend voor de meetpunten in de oostelijke mijnconcessies, met berekende eindstijghoogten volgens de drie in het IHS-onderzoek geformuleerde scenario's: 'best case', 'average case', 'worst case' (Spaans et al., 2016).

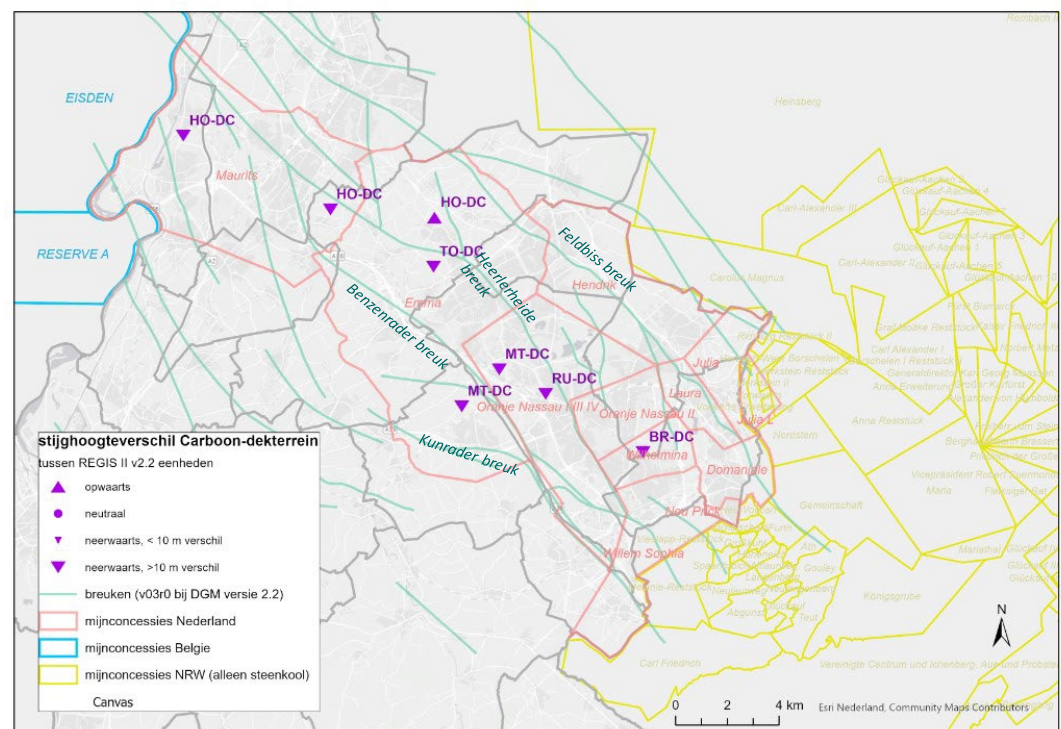
Om de geconstateerde ontwikkelingen in de stijghoogte van het mijnwater beter te kunnen begrijpen is meer inzicht in het grondwatersysteem in het onderzoeksgebied nodig. Ook is het van belang om de ontwikkelingen nauwgezet te blijven volgen door middel van periodieke evaluaties van de meetgegevens. Dit wordt verder uitgewerkt tot concrete aanbevelingen in hoofdstuk 5.

- Selectie van een zo recent mogelijke periode van maximaal⁹ 12 maanden waarvoor stijghoogtemetingen beschikbaar zijn van alle geselecteerde peilfilters in een put. Deze periode kan van put tot put verschillen, maar is wel hetzelfde voor alle peilfilters in eenzelfde put. Hierdoor is een consistente berekening van het stijghoogteverschil per put gewaarborgd. Omdat de huidige analyse zich richt op de recente trends, zijn alleen peilfilters gebruikt met metingen na 1 januari 2015 bij deze analyse. Hoe ouder een meetreeks, hoe groter de kans dat sinds het einde van de meetreeks veranderingen zijn opgetreden.
- Controle op meetfouten en uitschieters in de geselecteerde periode.
- Bepaling van de gemiddelde stijghoogte per peilfilter in de geselecteerde periode.
- Berekening van het stijghoogteverschil tussen het Carboon en het dekterrein, per put. Voor putten met drie peilfilters is het verschil bepaald op basis van het onderste filter (in het Carboon) en het middelste filter (dat daar het dichtste bij staat).
- In het zuidoostelijke deel van het steenkoolwinningsgebied zijn geen putten aanwezig met meerdere peilfilters waarvan het diepste filter zich in het Carboon bevindt. Om toch een indicatie te krijgen van het stijghoogteverschil is:
 - de stijghoogte in de mijnschacht van Oranje Nassau I (B62B0255) vergeleken met de stijghoogte in het peilfilter van put B62B4283 op een afstand van 132 m;
 - de stijghoogte in de mijnschacht van Wilhelmina (B62B0416) vergeleken met de stijghoogte in het peilfilter van put B62B4274 op een afstand van 134 m.

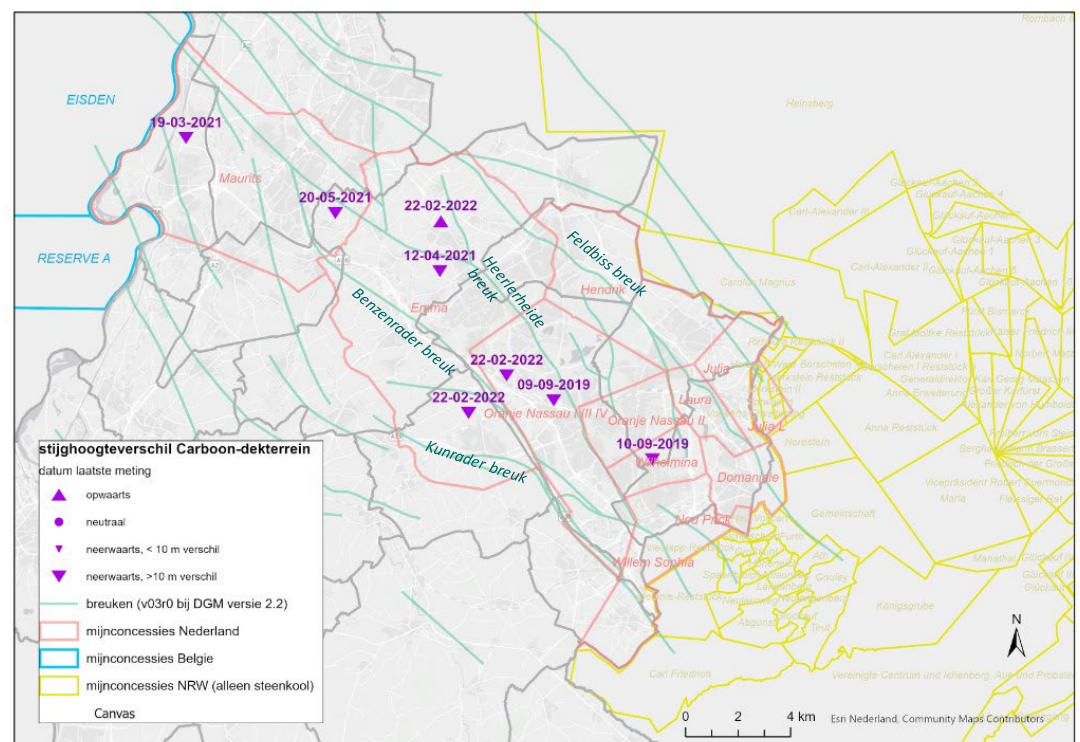
4.2 Bevindingen: vastgestelde stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein

De stijghoogteverschillen per meetpunt zijn kwalitatief weergegeven in Figuur 10: de richting van de grondwaterstroming die hoort bij het stijghoogteverschil. Figuur 11 geeft de laatste datum waarop in beide filters een stijghoogte beschikbaar was. De grootte van het verschil is te zien in Figuur 12.

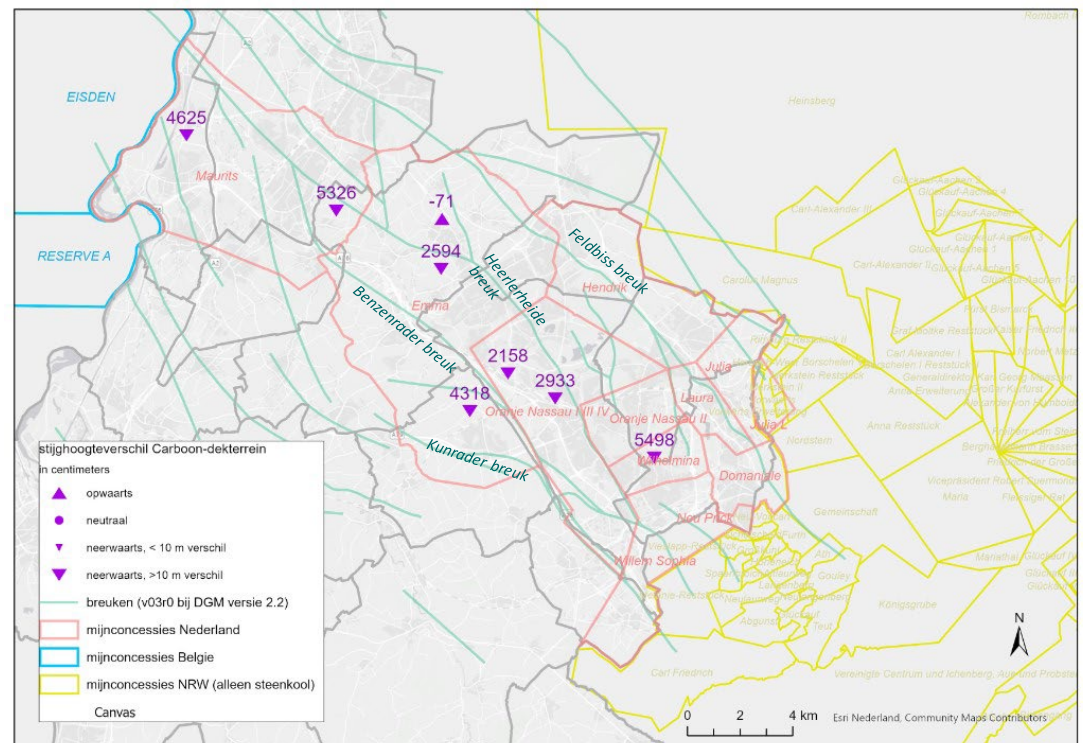
⁹ Van een aantal peilfilters van het mijnwatermeetnet zijn meetgegevens beschikbaar vanaf april 2021 en is de geanalyseerde periode korter.



Figuur 10. Stijghoogteverschillen Carboon – dekkerrein, met als label de geologische eenheid waarin de vergeleken peilfilters zijn afgesteld (DC = Carboon, MT = F v Maastricht, HO = F v Houthem, TO = F v Tongeren, RU = Rupel Formatie, BR = F v Breda).



Figuur 11. Stijghoogteverschillen Carboon – dekkerrein, met als label de datum van de laatste waarneming die kon worden meegenomen in de berekening van het stijghoogteverschil.



Figuur 12. Stijghoogteverschillen Carboon – dekterrein, met als labels de stijghoogteverschillen in centimeters.

Op alle putlocaties, met uitzondering van MWM04 (B60D3254), is de stijghoogte in het diepste filter in het dekterrein meer dan 10 meter hoger dan in het Carboonfilter. Er is dan sprake van een neerwaartse stroming vanuit het dekterrein naar het Carboon.

4.3 Discussie stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein

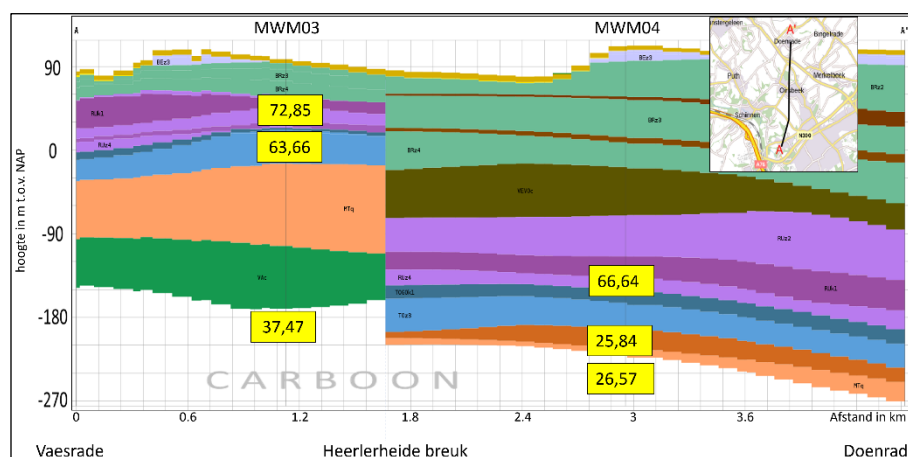
Op locaties met een neerwaartse stroming is nu geen sprake van beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit in het dekterrein door mijnwater. In de toekomst kan dit omslaan naar een opwaartse stroming door de toename van de stijghoogte in het Carboon. Vanaf het moment dat de stroming opwaarts wordt, zal het mijnwater de grondwaterkwaliteit in het dekterrein kunnen beïnvloeden. Door Heitfeld e.a. (2016) wordt hiervoor een termijn tot omslag van enkele decennia genoemd, met name in de concessie Emma vanwege de aanwezigheid van een hydraulische barrière tussen de concessies Emma en Maurits (Spaans e.a., 2016). De berekende stijghoogteverschillen in Figuur 12 en de in hoofdstuk 3 afgeleide stijgsnelheden in het Carboon geven geen aanleiding om dit beeld bij te stellen. Wel wordt het volgende hierbij opgemerkt:

- Sinds het verschijnen van Heitfeld e.a. (2016) is al bijna een decennium verstreken;
- Hoe langer de stijgsnelheid van het grondwater in het Carboon quasi-lineair blijft, hoe korter de termijn tot omslag wordt en hoe groter het gebied waar de omslag zich kan voltrekken. Het is dus ook voor dit aspect van het grondwatersysteem van belang om de ontwikkelingen nauwgezet te blijven

volgen door middel van periodieke evaluaties van de meetgegevens. Wanneer de huidige quasi-lineaire toename van de stijghoogtes zich zou voortzetten, zou in het meest westelijke gedeelte van het Limburgse steenkoolwinningsgebied over één tot twee decennia een omslag van neerwaartse naar opwaartse grondwaterstroming op kunnen treden. Zoals eerder vermeld wordt echter een afvlakking van de stijghoogtetoeename verwacht;

- De termijn tot omslag hangt ook af van eventuele trends in de stijghoogten in het dekterrein. Naar eventuele stijghoogtetrends in het dekterrein is in dit kader geen onderzoek gedaan, maar dit aspect verdient wel nadere aandacht (zie voor het overzicht van alle aanbevelingen Hoofdstuk 5).
- Voorzichtigheid is geboden om uit de neerwaartse stroming in alle meetpunten buiten MWM04 (B60D3254) conclusies te trekken voor de hele mijnstreek, omdat ter plaatse van grondwateronttrekkingen in watervoerende lagen in het dekterrein verlaging van de stijghoogte optreedt. Als die verlaging groot genoeg is kan er ook nu al lokaal sprake zijn van een opwaartse grondwaterstroming vanuit het Carboon.
- De peilfilters van B62B4274 en B62B4283 liggen vrij hoog in het dekterreinprofiel, en honderden meters hoger dan de mijnschachten waarin de stijghoogte in het Carboon wordt gemeten. Zoals put MWM04 laat zien kan er dieper in het dekterrein een lagere stijghoogte aanwezig zijn. Een betere maat voor de kans op beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit bij eventuele grondwateronttrekkingen in het dekterrein is daarom het stijghoogteverschil tussen een peilfilter dieper in het dekterreinprofiel en het peilfilter in het Carboon. Het verdient dan ook aanbeveling om zo'n filter dieper in het dekterrein te plaatsen, zie ook paragraaf 5.2.

De situatie rond het meetpunt MWM04 (B60D3254) is gevisualiseerd in Figuur 13. Dit is het enige meetpunt waar boven het Carboon een lagere stijghoogte is gemeten dan in het Carboon.



Figuur 13. Stijghoogten putlocaties MWM03 (B60D3253) en MWM04 (B60D3254) op 12 april 2021, in meters t.o.v. NAP.

De stijghoogte in het middelste filter van MWM04 (B60D3254), in de Formatie van Houthem of de daaronder liggende Formatie van Maastricht, is lager dan de andere filters, ook lager dan de peilfilters in meetpunt MWM03 (B60D3253), aan de andere

kant van de Heerlerheidebreuk. De oorzaak hiervan moet nader worden onderzocht.

5 Aanbevelingen en lopend onderzoek voortkomend uit deze studie

5.1 Verbeteren vlakdekkende beelden van de stijghoogte

De analyse van stijghoogten in deze rapportage is gebaseerd op meetgegevens van specifieke putlocaties. Voor het in kaart brengen waar welke na-ijlende effecten van de voormalige steenkoolwinning zouden kunnen optreden, hebben vlakdekkende stijghoogtebeelden een grotere informatiewaarde dan informatie van een beperkt aantal puntlocaties.

In 2021 is begonnen met de actualisatie van IBRAHYM tot een versie 3, waarin ook het Carboon is opgenomen. Met IBRAHYM3 zullen ook de vlakdekkende beelden van de stijghoogten in Carboon en dekterrein worden geactualiseerd. De recente meetgegevens van de stijghoogte worden daarbij gebruikt voor de ijking van IBRAHYM3 (Sevriens-Visser & Spaans, 2022). De mate van overeenstemming tussen de met het model berekende en de daadwerkelijk gemeten stijghoogten zal dan een aanwijzing zijn hoe goed we het grondwatersysteem in het gebied begrijpen. Op voorhand zijn al een aantal aspecten van het grondwatersysteem aan te wijzen waarover aanvullende kennis gewenst is voor een beter begrip van het grondwatersysteem. Dit zijn:

1. De doorlatendheid die binnen het Carboon is gecreëerd door de mijnactiviteiten, de structuur van schachten, gangen en al dan niet ingestorte pijlers binnen de concessies. Ook de verbindingen tussen de concessies zijn van belang;
2. De hydraulische werking van de breuken;
3. De interne structuur van het ongemijnde deel van het Carboon met de nog aanwezige steenkool, zandsteen en kleisteen;
4. Integratie van gegevens van aanvullende meetpunten in Duitsland en België voor de bepaling van laterale in- en uitstroming in het Carboon en het bepalen van randvoorwaarden voor grondwatermodellering. Met name de Duitse gegevens zijn ook van belang voor een beter begrip van de geconstateerde quasi-lineariteit van de stijghoogtetoenname in het Carboon.
5. De interactie van het grondwater in het dekterrein met het Carboon, en binnen het dekterrein tussen de verschillende watervoerende lagen en breukblokken.

In de navolgende paragrafen wordt verder uitgewerkt wat aanvullend op de modelberekeningen met IBRAHYM3 gedaan kan worden om te komen tot de bovengenoemde inzichten.

5.2 Aanvullende stijghoogtemeetpunten

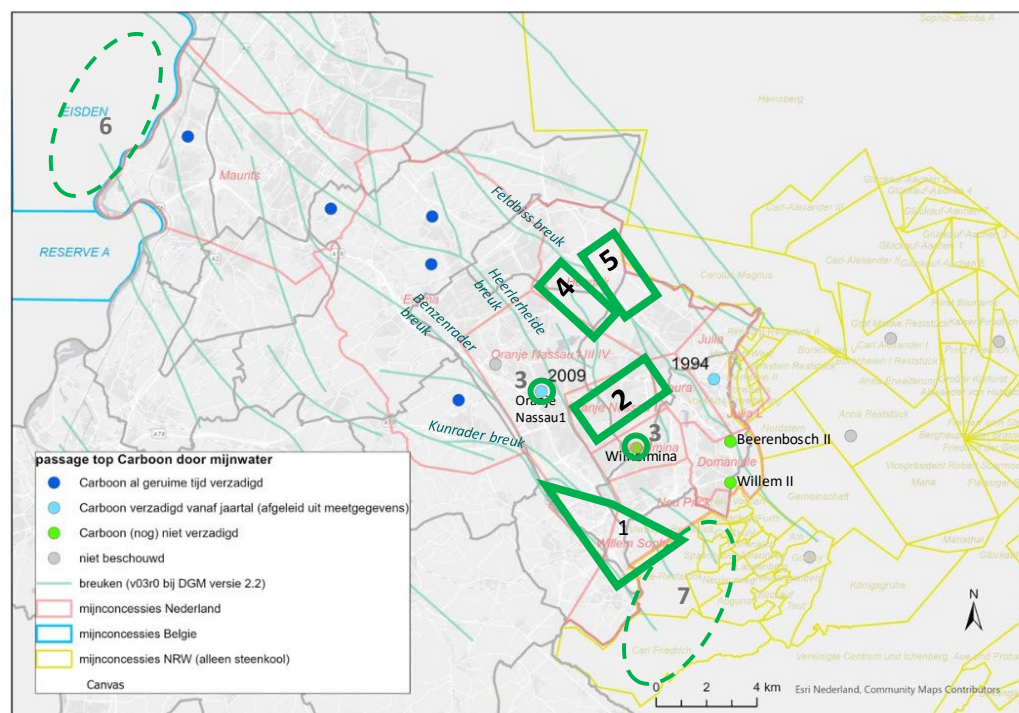
Voor een betrouwbaar vlakdekkend beeld is de dichtheid aan meetpunten van belang. Daarbij is in het oosten de behoefte aan detail groter omdat de concessies in dit gebied kleiner zijn en het gebied wordt doorsneden door breuken in twee richtingen (NW-ZO en ZW-NO). Bovendien liggen de mijnen hier ondieper dan in de westelijke en centrale gebiedsdelen en zullen zij deels onverzadigd blijven.

Figuur 14 bakent zoekgebieden af waar aanvullende grondwatermeetpunten (peilbuizen) gewenst zijn voor verschillende doeleinden. Per zoekgebied is behoefte aan specifieke informatie en meer inzicht in:

- 1: de stijghoogte-ontwikkeling en verzadiging van het Carboon in een onbemeten breukblok;
- 2: de verzadiging van het Carboon;
- 3: het stijghoogteverschil met het dekterrein, bij schachten waarin de stijghoogte in het Carboon al gemeten wordt;
- 4: het verticale stijghoogteverschil tussen Carboon en dekterrein;
- 5: het horizontale stijghoogteverschil over de Feldbissbreukzone en de stijghoogte in de Roerdalslenk;
- 6: de situatie in het aangrenzende Belgische steenkoolwinningsgebied en hoe die de situatie in de Nederlandse mijnstreek beïnvloedt;
- 7: de situatie in het aangrenzende Duitse steenkoolwinningsgebied en hoe die de situatie in het Limburgse steenkoolwinningsgebied beïnvloedt.

De boringen voor alle aanbevolen nieuwe meetpunten dienen vergezeld te gaan van goede boorbeschrijvingen, boorgatmetingen en eventueel camera-inspecties om de bodemopbouw betrouwbaar vast te kunnen stellen en een goede filterstelling te kunnen kiezen.

Per zoekgebied volgt nu een toelichting.



Figuur 14: Zoekgebieden (met groene rechthoeken aangegeven) voor aanvullende grondwatermeetpunten (1: verzadiging van Carboon in onbemeten breukblok, 2: verzadiging Carboon, 3: stijghoogteverschil met dekterrein bij bemeten schachten, 4: verticaal stijghoogteverschil, 5: stijghoogteverschil over Feldbissbreukzone en mijnwaterstand noordoostelijk deel concessie Hendrik, 6: België, 7: Duitsland).

Zoekgebied 1

In de concessie Willem Sophia is geen meetpunt aanwezig. Deze concessie wordt doorsneden door de Benzenraderbreuk. Ten oosten van deze breuk zijn wel meetpunten in de aangrenzende concessies (Wilhelmina en Domaniale). Aan de zuidwestkant van deze breuk is er ook in het aangrenzende deel van de Oranje Nassau I binnen dit breukblok geen meetpunt in het Carboon.

- ➔ Aanbeveling: Creëer een meetpunt ten zuidoosten van schacht Oranje Nassau I, tussen de Benzenraderbreuk en Heerlerheidebreuk, met filters in zowel het Carboon als het dekterrein.

Zoekgebied 2

Zoekgebied 2 ligt tussen de Heerlerheidebreuk en de Feldbissbreukzone en tussen de noordwestrand van de Wilhelminaconcessie en de 70-meterstoring. In dit gebied, dat de concessie Oranje Nassau II omvat, is het Carboon mogelijk nog niet verzadigd, afhankelijk van de eigenschappen van de connectie tussen de concessies Wilhelmina en Oranje Nassau II.

- ➔ Aanbeveling: Creëer een aanvullend meetpunt in de concessie Oranje Nassau II met filters in zowel het Carboon als het dekterrein.

Zoekgebied 3

De voor de analyse van verticale stijghoogteverschillen in hoofdstuk 4 gebruikte peilfilters van B62B4274 en B62B4283 liggen vrij hoog in het dekterreinprofiel waardoor eventuele lagere stijghoogten dieper in het dekterrein niet gedetecteerd kunnen worden.

- ➔ Aanbeveling: installeer extra peilfilters dieper in het dekterrein ter plaatse van de schachten Oranje Nassau I en Wilhelmina

Zoekgebied 4

Gelet op de geconstateerde opwaartse stroming in putlocatie MWM04 is het wenselijk om op meer locaties ten oosten van de Heerlerheidebreuk inzicht te hebben in de stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein.

- ➔ Aanbeveling: creëer een aanvullend meetpunt met meerdere filters (en onderste filter in het Carboon) in het gebied tussen de Heerlerheidebreuk en de Feldbissbreukzone. Het meetpunt moet in de concessie Hendrik komen om ook het meetdoel van zoekgebied 5 optimaal te kunnen dienen.

Zoekgebied 5

De kennis over de hydraulische eigenschappen van de breuken is beperkt. Breuken met een hoge weerstand zorgen voor een hydrologische scheiding. Zo zijn er verschillen in de stijghoogte ter weerszijden van de Feldbissbreukzone, in de schachten Julia enerzijds en Wilhelmina en Beerenbosch II anderzijds. Ook de stijgsnelheden van het mijnwater aan beide kanten van de breuk zijn mogelijk verschillend, wat tot differentiële stijging van het maaiveld kan leiden. Bovendien is er in het deel van de concessie Hendrik ten oosten van de Feldbissbreukzone geen meetpunt.

- Creëer een nieuw meetpunt met filters in zowel het Carboon als het dekterrein aan de noordoostzijde van de Feldbissbreukzone in de concessie Hendrik. In combinatie met het in zoekgebied 4 aanbevolen meetpunt zorgt deze voor meer inzicht in stijghoogteverschillen over deze breukzone.

Zoekgebieden 6 en 7:

Voor deze zoekgebieden worden in dit rapport geen specifieke aanbevelingen gedaan.

- Aanbevolen wordt om in overleg met Belgische en Duitse partijen te inventariseren of gegevens van bestaande meetlocaties gebruikt kunnen worden ten behoeve van bijvoorbeeld het verbeteren van vlakdekkende stijghoogtebeelden (paragraaf 5.1).

5.3 Jaarlijkse evaluatie stijghoogten

Om de in dit rapport geconstateerde ontwikkelingen in de stijghoogte in het Carboon en het dekterrein beter te kunnen begrijpen is meer inzicht in het grondwatersysteem in het onderzoeksgebied nodig. Het creëren van vlakdekkende beelden met het grondwatermodel IBRAHYM (paragraaf 5.1) draagt hieraan bij, maar het is ook van belang om de ontwikkelingen in de gemeten stijghoogten nauwgezet te blijven volgen door middel van periodieke evaluaties van de meetgegevens.

- Aanbevolen wordt om deze evaluaties jaarlijkse uit te voeren en hier Belgische en Duitse meetgegevens bij te betrekken.

5.4 Stijghoogtetrends in het dekterrein

Zoals beschreven in hoofdstuk 4 hangt de termijn waarop omslag van neerwaartse naar opwaartse grondwaterstroming kan plaatsvinden ook af van eventuele trends in de stijghoogten in het dekterrein.

- Voer een trendanalyse uit van bestaande meetreeksen in alle beschikbare putlocaties met filters in het dekterrein.

5.5 Specifieke situaties: MWM04 en MWM06B

Twee van de geanalyseerde meetpunten vertonen een afwijkend stijghoogteverloop (MWM06B) of stijghoogteverschil met het dekterrein (MWM04). Wij bevelen aan om te onderzoeken waardoor dit wordt veroorzaakt om het inzicht in het grondwatersysteem te vergroten. Meer specifiek geeft de wijze waarop het actieve mijnwater-energiesysteem in Heerlen de stijghoogte beïnvloedt, meer inzicht in de hydraulische eigenschappen van het gemijnde deel van het Carboon. Vandaar de navolgende aanbevelingen:

- ➔ Onderzoek hoe het aardwarmteproject te Heerlen ([Mijnwater](#)) de grondwaterstromingen beïnvloedt.
- ➔ Onderzoek wat er de oorzaak van is dat de stijghoogte in het middelste filter van MWM04 (B60D3254), in de Formatie van Houthem of de daaronder liggende Formatie van Maastricht, lager is dan die van de andere filters, en ook lager dan de peilfilters in meetpunt MWM03 (B60D3253) aan de andere kant van de Heerlerheidebreuk.

5.6 Lopend onderzoek

Analyse van stijghoogten draagt bij aan het inzicht in de werking van het grondwatersysteem in het Limburgse steenkoolwinningsgebied. Een waardevolle aanvulling hierop wordt gevormd door informatie over de leeftijd, samenstelling en temperatuur van het grondwater. Inzichten hierin verbeteren de kalibratie en betrouwbaarheidsanalyse van het model.

Gegevens over de samenstelling van het mijnwater zijn ook nodig om de beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit te beoordelen in het geval dat er opwaartse stroming vanuit het Carboon naar het dekterrein optreedt. De eventuele aanwezigheid van verontreinigingen in het mijnwater vormt een bedreiging voor de grondwaterkwaliteit in het dekterrein. De bevindingen in hoofdstuk 3 en 4 van dit rapport geven daarom aanleiding tot aanvullend onderzoek dat in 2023 is gestart. Het doel hiervan is om meer inzicht te geven in het grondwatersysteem door middel van:

1. het meten en analyseren van temperatuurprofielen tot in het Carboon;
2. een inventarisatie en evaluatie van de samenstelling van het mijnwater en van het grondwater in het dekterrein met betrekking tot de herkomst van het water;
3. datering (leeftijdsbepaling) van het mijnwater.

In 2023 zijn temperatuurprofielen in geselecteerde monitoringsputten gemeten en hierover zal begin 2024 gerapporteerd worden. Ook is in 2023 gestart met de beide andere genoemde activiteiten. De doorlooptijd daarvan is afhankelijk van de levering van speciale apparatuur voor monsternamen op grote diepte, en van de beschikbare capaciteit voor isotopenanalyses die alleen in een gespecialiseerd laboratorium uitgevoerd kunnen worden. Resultaten worden in de loop van 2024 en 2025 verwacht.

- ➔ Aanbeveling: gebruik de nieuwe informatie over leeftijd, samenstelling en temperatuur van het grondwater en de daaruit resulterende inzichten in het grondwatersysteem voor verdere verfijning en kalibratie van IBRAHYM3, zodat de toekomstige ontwikkeling van de mijnwaterstanden beter voorspeld kan worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Deze rapportage bevat de resultaten van een analyse van recente stijghoogtegegevens (2009 tot 2022) in het Limburgse steenkoolwinningsgebied, in zowel het Carboon (het mijnwater) als het daarboven gelegen dekterrein.

De analyse bestaat uit drie onderdelen:

- Een analyse van de recente ontwikkeling van de stijghoogten in het Carboon, vanaf 2009;
- Een analyse van de recente ontwikkeling van de verzadiging van het Carboon met grondwater;
- Een analyse van verticale stijghoogteverschillen tussen Carboon en dekterrein.

Elk van deze onderdelen is te relateren aan één of meer van de door Heitfeld e.a. (2016) onderzochte gevolgen van stijgend mijnwater en historische mijnbouw; dit wordt beschreven in paragraaf 2.3.

Uit de analyse volgen onderstaande conclusies:

1. De stijghoogte in het Carboon neemt de laatste 15 jaar vrijwel lineair toe met 2 tot 3 meter per jaar. Dit terwijl de verwachting was dat de stijgsnelheid van het mijnwater zou gaan afnemen. Wel blijft de waargenomen stijghoogtetoeename vooralsnog binnen de bandbreedte van de drie eerder door Spaans e.a. (2016) beschreven scenario's voor de stijghoogte in de eindsituatie.
2. Op basis van het huidige stijghoogtemeetnet en de beschikbare kennis over het niveau van de top van het Carboon, is het Carboon verzadigd in het westelijke en centrale deel van het Limburgse steenkoolwinningsgebied, maar niet bij de oostelijke meetpunten in de schachten Wilhelmina, Beerenbosch II en Willem II.
3. Uit een analyse van verticale stijghoogteverschillen blijkt dat bij alle meetpunten op één na (MWM04 ofwel B60D3254) sprake is van neerwaartse stroming vanuit het dekterrein naar het Carboon.
4. Ter plaatse van grondwateronttrekkingen in watervoerende lagen in het dekterrein zou lokaal opwaartse grondwaterstroming vanuit het Carboon op kunnen treden.
5. Wanneer de huidige quasi-lineaire toename van de stijghoogtes zich zou voortzetten, zou in het meest westelijke gedeelte van het Limburgse steenkoolwinningsgebied over één tot twee decennia een omslag van neerwaartse naar opwaartse grondwaterstroming op kunnen treden. Opwaartse stroming van het mijnwater kan gevolgen hebben voor de kwaliteit van het grondwater in het dekterrein.
6. Zoals beschreven in paragraaf 3.4 wordt echter een afvlakking van de stijghoogtetoeename verwacht.

6.2 Aanbevelingen

Deze studie is gebaseerd op een beperkt aantal meetpunten. In het Limburgse steenkoolwinningsgebied zijn breuken aanwezig, die variaties in de opbouw van de ondergrond veroorzaken. Dat beïnvloedt de grondwaterstroming, die op haar beurt

bepaalde na-ijlende effecten van de steenkoolwinning beïnvloedt. In een aantal door breuken begrensde gebieden zijn geen meetlocaties aanwezig. Verder zijn de hydrologische eigenschappen van het Carboon onvoldoende bekend. Om het grondwatersysteem beter te kunnen monitoren en begrijpen, en zodoende betere voorspellingen te kunnen doen waar welke na-ijlende effecten van de steenkoolwinning zouden kunnen optreden, wordt daarom aanbevolen om:

1. De bestaande, door middel van grondwatermodellering berekende vlakdekkende beelden van de stijghoogte van het mijnwater te verbeteren.
2. Het mijnwatermeetnet uit te breiden.
3. De stijghoogtegegevens jaarlijks te evalueren en hierbij ook de Belgische en Duitse meetgegevens te betrekken;
4. Het inzicht in het grondwatersysteem met behulp van andere soorten informatie (grondwaterleeftijd, -samenstelling en -temperatuur) te verbeteren, wat vervolgens gebruikt kan worden om de vlakdekkende beelden en voorspelling van de stijghoogte verder te verbeteren.
5. Lokale omstandigheden bij MWM04 (opwaartse stroming naar dekterrein) en MWM06 (invloed mijnwater-energiesysteem) nader te onderzoeken.

In Hoofdstuk 5 zijn deze aanbevelingen vertaald in concrete acties.

7 Referenties

Heitfeld, M., Klünker, J., Rosner, P., Rosin, D., Spaans, J., Rauwers, M., 2016. Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg. Uittreksel uit het samenvattende rapport met een overzicht van de voorgestelde maatregelen. Projectgroep “Na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg” (GS-ZL).

Heitfeld, M., Rosner, P., Luka, H., 2022. Bericht über die Ergebnisse des Grubenwasseranstiegs im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier - Beobachtungsphase 01.01. bis 31.12.2021. Rapport Ingenieurburo Heitfeld - Schetelig GmbH, 48pp.

Hummelman, J., Maljers, D., Menkovic, A., Reindersma, R., Stafleu, J., Vernes, R., 2019. Totstandkomingsrapport Digitaal Geologisch Model (DGM), TNO 2019 R11653, TNO Geologische Dienst Nederland, Utrecht, <https://www.dinoloket.nl/sites/default/files/Totstandkomingsrapport-DGM.pdf>.

De Man, Y., 1988. Surface subsidence near Douvergenhout and the Eastern Mining District South Limburg, The Netherlands. Memoirs of the Centre for Engineering Geology in The Netherlands, No. 58, juni 1988.

Sevriens-Visser, N., Spaans, J., 2022. Aanlevering gegevens deelmodel stijgend mijnwater t.b.v. IBRAHYM3. Ref. PLI204, Kragten.

SodM, 2021. Staat van de sector voormalige steenkoolwinning. Staatstoezicht op de Mijnen, Den Haag.

Spaans, J., Sevriens-Visser, N., Biesheuvel, A., Denneborg, M., Heitfeld, M., Rosner, P., van Rooijen, P., 2016. Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg. Final report on the results of the working groups 5.2.4. – groundwater quality / 5.2.5. – groundwater quantity, rev. a: 02. Projectgroep “Na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg” (GS-ZL).

Bijlage 1: Samenvatting Heitfeld e.a. (2016)

Samenvatting (letterlijk overgenomen) van het rapport van Heitfeld e.a. (2016): 'Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg – Uittreksel uit het samenvattende rapport met een overzicht van de voorgestelde maatregelen door projectgroep "Na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg" (projectgroep GS-ZL)

Het ministerie van Economische Zaken (EZ) is in 2014 gestart met een onderzoek naar de „Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg”. Het doel van het onderzoek was om de risico's die verband houden met stijgend mijnwater en historische mijnbouw, in kaart te brengen. Daarnaast werd gevraagd om een risicoanalyse uit te voeren en een monitoringsprogramma te maken.

Het onderzoek is uitgevoerd door een Duits-Nederlandse consortium van onderzoeksinstituten, ingenieursbureaus en specialisten, onder leiding van Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen (Duitsland). Het onderzoek heeft zich gericht op bodembeweging, de eventuele verandering van de grondwaterkwantiteit en –kwaliteit, de aanwezigheid van oude mijnschachten en de mogelijke risico's daarvan, en de potentiële gevolgen van de ondiepe mijnbouwwinning. Daarnaast is het mogelijk voorkomen van kleine aardbevingen en het mogelijke risico van het vrijkomen van mijngas onderzocht.

De mijnen in Zuid-Limburg werden tussen 1967 en 1974 gesloten en het wegpompen van het mijnwater werd stap voor stap stopgezet. Toch werden enkele ontwateringsmaatregelen op Nederlands grondgebied in stand gehouden voor de bescherming van de nog altijd actieve Duitse mijnactiviteiten die door het Duitse mijnbedrijf EBV GmbH werden uitgevoerd. Hierdoor zijn de Nederlandse mijnen slechts gedeeltelijk volgestroomd met mijnwater. Na de sluiting van de laatste Duitse mijn in 1992 is het oppompen van mijnwater in 1994 helemaal gestopt. Sindsdien is het mijnwater in heel Zuid-Limburg gestegen en tot nu toe is het hydraulisch evenwicht nog niet bereikt.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat er geen sprake is van directe veiligheidsrisico's, die te maken hebben met de mijnbouw en stijgend mijnwater. Het projectteam geeft adviezen voor herstelmaatregelen en monitoring, dit om toekomstige risico's te kunnen beheersen.

Bodemstijging

Doordat vanaf de jaren '70 en tenslotte in de jaren '90 gestopt is met het oppompen van mijnwater, stijgt de stand van het mijnwater en ook de grondwaterstand in de daarboven liggende lagen. Dit heeft tot gevolg dat het maaiveld, dat tijdens de mijntijd plaatselijk enorm is verzakt, weer iets stijgt, langzaamaan en gelijkmatig. Gelijkmatige stijging leidt in het algemeen niet tot schade. In drie gebieden in Limburg, langs de Heerlerheidebreuk in Geleen en de Feldbissbreuk in Brunssum en Eygelshoven, kunnen ongelijkmatige stijgingen met grote hoogteverschillen die plotseling, stapsgewijs optreden, echter niet worden uitgesloten.

Het risico op schade door deze ongelijkmatige stijgingen is hier weliswaar laag, maar kan niet worden uitgesloten. Vandaar dat wordt aanbevolen om maaiveldveranderingen in het hele mijngebied te monitoren, en met meer in detail in deze drie gebieden. Daarnaast wordt aanbevolen om in Geleen een pilotproject uit te voeren om deze ongelijkmatige bodembeweging beter te kunnen verklaren, en om gevoelige infrastructuur te inventariseren.

Grondwater

Het stijgend mijnwater heeft tot gevolg dat ook de grondwaterstand in de daar boven liggende lagen stijgt. In enkele lager gelegen gebieden in het Geleenbeekdal kan dat leiden tot vernatting. Deze vernatting is gering en leidt naar verwachting niet tot schade aan gebouwen of natuur. Door het stijgende mijnwater kan er in een deel van het mijngebied, m.n. in de voormalige Emma concessie, een situatie ontstaan dat stijgend mijnwater over enkele decennia infiltreert in de daarboven-liggende watervoerende lagen. Het hoog gemineraliseerde mijnwater kan daardoor de samenstelling van het bovenliggende grondwater beïnvloeden.

Deze beïnvloeding is op zich beperkt, maar omdat dit water door de drinkwatervoorziening en de levensmiddelenindustrie wordt opgepompt worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van het grondwater. Het is daarom belangrijk dat een eventuele veranderingen in de waterstand en de waterkwaliteit goed wordt gemonitord. Op dit moment ontbreekt er echter in delen van het onderzoeksgebied (met name in de Westelijke Mijnstreek) belangrijke informatie over de waterstand in het Carboon/de diepe mijnen. daarom wordt aanbevolen om extra peilbuizen te maken om de stijging van het mijnwater te kunnen volgen en ook de – op termijn – mogelijke verandering van de grondwaterkwaliteit. Mocht een verandering van de grondwaterkwaliteit zich voordoen, dan moeten maatregelen worden genomen om risico's te beheersen.

Mijngas

Steenkoollagen bevatten meerdere gasbestanddelen die door mijnbouwactiviteiten vrij kunnen komen. Grote delen van de voormalige mijnen zijn inmiddels weer gevuld met grondwater, waardoor gasuittreding niet meer kan voorkomen. Alleen in het zuidoostelijk deel van het mijngebied, voornamelijk in de gemeente Kerkrade, zullen de mijnen naar verwachting ook in de toekomst niet meer volledig worden gevuld met water. Hier blijft het risico, al wordt dat gering geacht, dat mijngas (waarbij het gaat om CO₂) via oude schachten in (kelderruimtes van) gebouwen komt, en gezondheidseffecten veroorzaakt. Vandaar dat wordt aanbevolen om te onderzoeken welke gebouwen binnen de 'beschermingszones' van oude mijnschachten liggen, om vervolgens hier de luchtkwaliteit te monitoren. Voor nieuwbouw of het maken van grondboringen binnen diezelfde beschermingszones moeten veiligheidsmaatregelen worden getroffen.

Kleine aardbevingen

Na het sluiten van de mijnen zijn in de omgeving van Voerendaal twee zwermen van kleine aardbevingen opgetreden, een kleiner cluster rond 1985-1986 en een groter cluster rond 2000-2002. Deze bevingen hebben plaatsgevonden rondom een tektonische breuk aan de zuidwestelijke grens van het mijngebied, de Kunraderbreuk.

Het onderzoek laat zien dat er mogelijk een verband is met de mijnwaterstijging, al kan dat niet worden bewezen. De resterende mijnwaterstijging is – vergeleken met de stijging die tot nu is opgetreden – gering. Het is niet te verwachten dat de nog te verwachten stijging van het mijnwater leidt tot seismiciteit. Dit neemt niet weg dat Zuid-Limburg ligt in een gebied met van nature aanwezige seismiek. In dat verband is het een goede ontwikkeling dat nu richtlijnen worden ontwikkeld voor aardbevingsbestendig bouwen.

Historische schachten

In de pre-industriële, soms middeleeuwse tijd, werd al via mijnschachten steenkool gewonnen. De documentatie over deze schachten is slecht en de locaties zijn niet goed bekend. In het onderzoek zijn inmiddels 59 historische schachten geïdentificeerd, alle in de

gemeente Kerkrade. Op de lange termijn neemt de kans toe dat er rondom deze schachten aan maaiveld verzakkingen optreden. Daardoor neemt ook het risico toe dat schade ontstaat aan gebouwen, infrastructuur, of menselijk letsel. De historische schachten zouden daarom moeten worden opgespoord en hersteld/gesaneerd, conform de procedure in Duitse mijngebieden.

Om na te gaan welke schachten met voorrang moeten worden aangepakt, moet een onderzoek worden uitgevoerd om de exacte ligging van de schachten te bepalen. Op de lange termijn wordt aanbevolen de historische schachten te saneren. Toekomstige constructies en ontwikkelingen moeten rekening houden met de risico's van historische schachten.

Industriële schachten

De industriële schachten stammen uit de 19e en 20e eeuw. In het Zuid-Limburgse mijnengebied werd elke mijn van minimaal twee of drie schachten voorzien. In totaal bestaan er 39 industriële schachten met dieptes van enkele honderden meters tot ongeveer 1.060 m. De documentatie over deze schachten en de manier waarop zij na de mijnbouw zijn ontmanteld is zeer uitvoerig. Drie schachten worden als 'permanent veilig' beoordeeld, 30 schachten kregen de kwalificatie 'veilig'. Aanbevolen wordt om deze te monitoren. Een laag veiligheidsniveau werd toegekend aan zes schachten. Voor deze schachten wordt aanbevolen om deze verder te onderzoeken en indien nodig te saneren.

Historische oppervlakkige mijnbouwactiviteiten

Het gebied waarin historische oppervlakkige mijnbouwactiviteiten werden uitgevoerd beperkt zich tot Kerkrade. In deze regio werd in het Wormdal, waar de steenkool houdende lagen aan de oppervlakte komen, in de 12e eeuw met mijnbouw gestart. Het instorten van achtergebleven holle ruimtes nabij het maaiveld kan in dit gebied gedurende onbepaalde tijd leiden tot zogenaamde verdwijngaten (sinkholes) of verzakkingen. In totaal is een gebied van ca 1,44 km² als mogelijke invloedsgebied aangemerkt, waarbinnen gebieden worden ondescheiden met in het algemeen 'gemiddeld' of 'laag' risico. Het saneren van deze historische mijnbouwactiviteiten wordt vanwege de omvang daarvan en het relatief lage risico niet als 'proportioneel' beschouwd. Wel wordt aangevolen om bij toekomstige bouwprojecten en ontwikkelingen rekening te houden met de mogelijke gevolgen van deze historische mijnactiviteiten.

Industriële oppervlakkige mijnbouwactiviteiten

In het gebied van de diepe industriële mijnbouw liggen de steenkoollagen onder een dikke deklaag van kalksteen, zand, en klei. Om veiligheidsredenen werd het bovenste deel van de afzettingen van het Carboon intact gelaten, om een toename van het instromend grondwater of zelfs drijfzand vanuit de deklaag te voorkomen.

Op sommige locaties is deze veiligheidszone boven een ontijdende kolenlaag niet gehanteerd en zijn de mijnactiviteiten tot enkele meters onder de bovenkant van het Carboon doorgezet. Op deze locaties zou een instorting van voormalige mijngangen zich tot in het dekterrein kunnen voortzetten en uitspoeling van zand kunnen veroorzaken. Dit kan leiden tot verzakkingen aan maaiveld. De gebeurtenis bij Winkelcentrum 't Loon in Heerlen is een indicatie voor het potentieel effect van deze specifieke locaties.

In het kader van de risicobeoordeling worden mijnbouwactiviteiten die binnen 20 m onder de bovenkant van het Carboon plaatsvonden, alle als potentiële effect gebieden beschouwd. Daarvan zijn 26 locaties (elk met een oppervlakte van < 0,2 km²) geïdentificeerd met een hoger potentiële risico. De overige locaties worden beschouwd als weinig risicovol.

Op dit moment wordt het niet proportioneel geacht om al deze lokaties te saneren. Het wordt wel aanbevolen om nader onderzoek te doen naar de werkelijke risico's in deze lokaties, o.a. door middel van een pilotonderzoek. Aanbevolen wordt om op deze lokaties gericht grondonderzoek uit te voeren in het geval van nieuwbouw.

Kleinere mijnrelicten

Gedurende het project zijn kleinere gevolgen van de mijnbouwactiviteiten gedocumenteerd waarmee rekening gehouden dient te worden indien effecten aan maaiveld of op het grondwater worden onderzocht of wanneer nieuwe gebouwen worden gebouwd. Het gaat hier om discontinuïteiten, scheuren en spleten in de ondergrond, die worden veroorzaakt door de toenmalige actieve mijnbouw. Al treden deze effecten niet meer op, zij kunnen een indicator zijn voor een verzwakte ondergrond. Het wordt aanbevolen om bij nieuwbouw of opgetreden schade deze kleinere mijnrelicten te onderzoeken.

8 Ondertekening

Naam en paraaf tweede lezer

Dr. H.P. Broers

Ondertekening

Autorisatie vrijgave

Drs. J.T. Buma
Auteur

R. van Steveninck
Hoofd Adviesgroep Economische Zaken