

Lange termijn effecten na het sluiten van de steenkoolmijnen in Limburg.

A.Biesheuvel *Witteveen + Bos*

F.J.R. Denys *Ministerie van Economische zaken en Klimaat*

M. Heitfeld *Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Duitsland*

P. Rosner *Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Duitsland*

J.H. Spaans *Witteveen + Bos, thans Kragten*

F.G. Versteegen *Witteveen + Bos*

Samenvatting

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft een Nederlands-Duits consortium in de periode 2014 tot december 2016 onderzoek uitgevoerd naar de lange termijn effecten van de sluiting van de steenkoolmijnen in Limburg. In dit artikel wordt ingegaan op de 'nauwkeurigste effecten' en een omvangrijk maatregelenprogramma dat nu wordt uitgevoerd.

In Limburg werd tot de mijnsluiting eind jaren '60 op grote schaal steenkool gewonnen, diep in de ondergrond. Om dat mogelijk te maken werden de mijnen drooggehouden waarvoor grote hoeveelheden grondwater werden weggepompt. Na het sluiten stopten de pompen en steeg de waterstand in de mijnen weer. Nu, meer dan 50 jaar na dato, stijgt de mijnwaterstand nog steeds en deze stijging gaat naar verwachting nog enkele decennia door. Door het consortium is onderzocht welke lange termijn effecten dit met zich meebrengt. Daarbij is onderzoek gedaan naar bodemstijging, (mogelijk instabiele) oude mijnschachten, de grondwaterkwaliteit, de grondwaterstand, mijn gas en aardbevingen

Als onderdeel van het onderzoek werd een geïntegreerde risicoanalyse uitgevoerd, zijn risicobeheersmaatregelen geformuleerd en aanbevelingen gedaan voor monitoring.

Omdat na het sluiten van de mijnen de meeste schachten zijn afgedicht, zijn er in het midden en westelijke deel van Limburg geen plaatsen meer waar de waterstand en de waterkwaliteit in de steenkoollagen (het Carboon) kan worden gemeten. Dit is een belangrijk kennisvraagstuk. Daarom worden in opdracht van de provincie Limburg zeven peilbuizen geplaatst tot een diepte van circa 450 meter.

In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de resultaten van het onderzoeksproject.

1 Inleiding

In 2014 kreeg het Akense ingenieursbureau IHS (D) van het ministerie van EZK de opdracht om een systematische en uitgebreide studie uit te voeren naar alle lange termijn effecten van de steenkoolwinning in Zuid-Limburg (NL). Daarbij moesten maatregelen worden geformuleerd om ongewenste effecten tegen te gaan of te voorkomen. De aanleiding voor de studie was de groeiende publieke bezorgdheid over mogelijke schade door de mijnbouw. Mijnbouw was namelijk de oorzaak van de verzakking die in 2011 plaatsvond onder het winkelcentrum 't Loon in Heerlen.

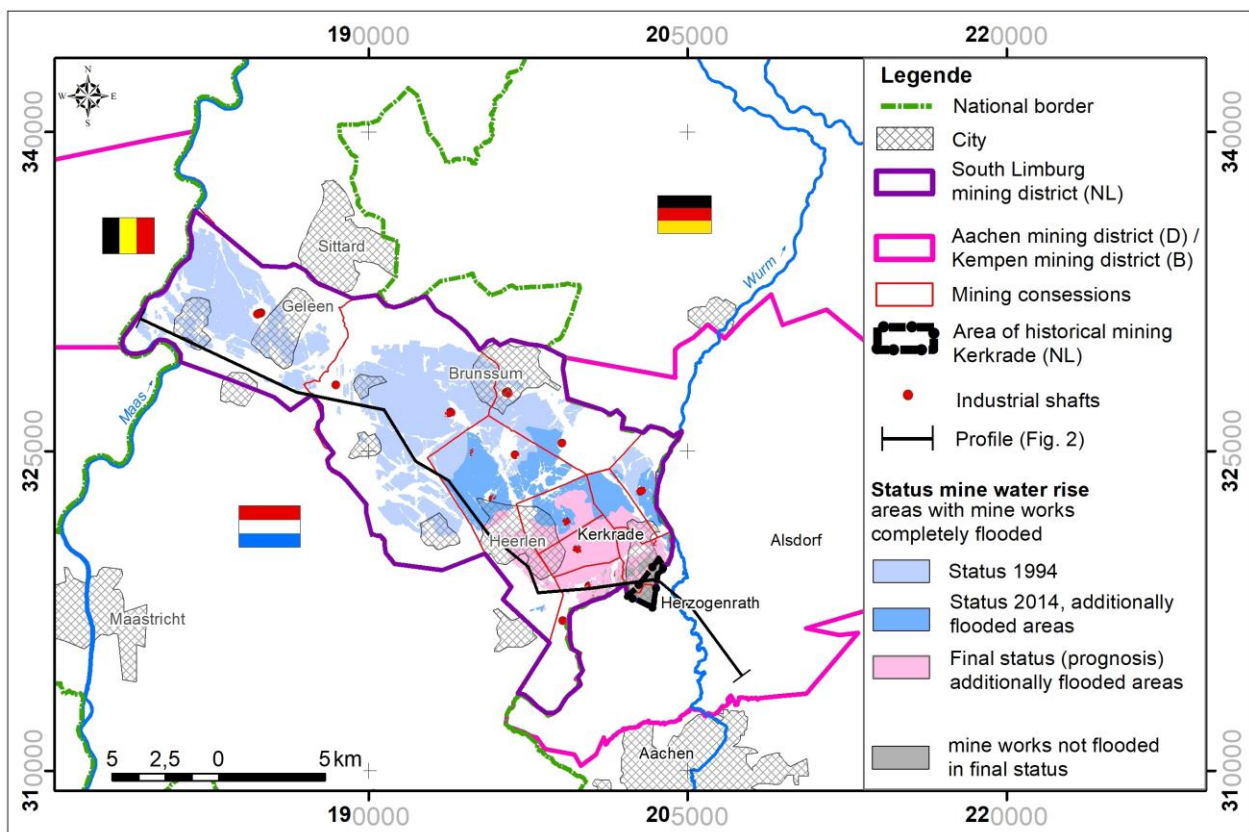
Voor de uitvoering van de opdracht heeft IHS een consortium samengesteld (genaamd 'projectgroep nauwkeurigste gevolgen van de steenkoolwinning in Zuid-Limburg', projectgroep GS-ZL) bestaande uit Witteveen + Bos (NL), AHU (D), TU Delft (NL), GeoControl (NL), van Rooijen adviezen, en DMT (D). Het consortium verzamelde alle relevante mijnbouwdocumenten waaronder ruim 7700 mijnbouwkaarten. In totaal werden zeven deelonderzoeken uitgevoerd, waarna in een samenvattend rapport de resultaten van een integrale risicoanalyse werden beschreven. In december 2016 werden de rapporten aangeboden aan de Tweede

Kamer. In de loop van 2017 startten de bij de mijnbouwproblematiek betrokken overheden, het ministerie van EZK, de provincie Limburg en twaalf gemeenten, met de opzet en uitvoering van het risicomanagement.

2 Mijnbouw in Zuid-Limburg

Het Zuid-Limburgse mijnbouwgebied is onderdeel van een groter steenkoolbekken, dat zich uitstrekt van de regio Aken in Duitsland tot de Belgische Kempen. Vanaf de Nederlands/Duitse grensstreek in Kerkrade (NL)- en Herzogenrath (D), strekt het voormalige Nederlandse mijnbouwgebied zich ongeveer 30 kilometer naar het noordwesten uit tot de Maas; in SW-NE richting is het gebied ongeveer 12 km breed (figuur 1). Het ondergrondse mijngebied is ongekend groot; tijdens de periode dat mijnsteen werd gewonnen was het feitelijk een meer dan 250 km² ondergronds industriegebied dat reikte tot meer dan 1000 meter onder maaiveld.

In de grensregio met Duitsland, nabij Kerkrade dagzoomt de steenkool. Daar werd al in de 12^e eeuw steenkool opgegraven. De historische mijnbouwactiviteiten strekten zich uit over een oppervlakte van ongeveer 2 km² onder het (vandaag) dichtbevolkte stedelijke gebied van Kerkrade. Naar het noordwesten duiken de Carboonlagen onder en worden afgedekt onder een steeds dikkere deklaag. Nabij de grens met België ligt de top van het Carboon op ca 400 meter onder maaiveld. Het mijnen van deze diepe lagen begon einde van de 19^e eeuw, toen er technieken waren ontwikkeld om op industriële schaal de Carboonlagen te ontwateren.



Figuur 1: Mijngebied in Zuid-Limburg; aanduiding welke gemijnde gebieden weer onder water staan en een indicatie van de eindsituatie.

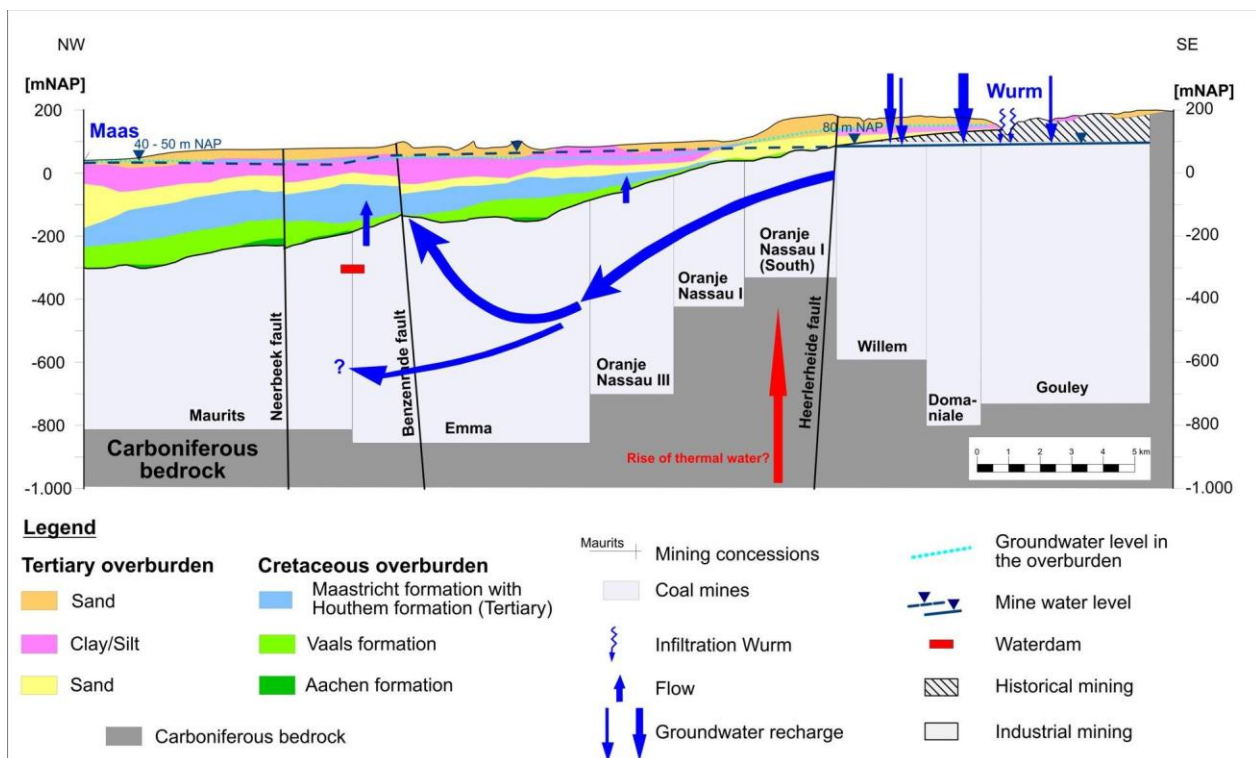
Het Zuid-Limburgse mijnbouwgebied ligt op de overgang tussen het Limburgs krijtplateau en de Roerdalslenk. Dit gebied wordt gekenmerkt door bewegingen langs twee belangrijke NW-ZO tektonische

breuken, de Heerlerheidebreuk en de Feldbiss. In het zuidwestelijke deel van het mijnbouwgebied bestaat de deklaag uit krijt zand-/ slib en kalksteen afzettingen (figuur 2); in het noordoosten overheersen tertiaire sedimenten.

In het gebied waren verschillende steenkoolwinningen, waarvan de diepste tot ruim 1000 meter onder maaiveld reikten, en waarbij verschillende galerijen onder elkaar lagen. Na het beëindigen van de graafwerkzaamheden werden stutten in de gangen meestal verwijderd, waardoor deze instortten. Als gevolg hiervan zijn er gebieden in Limburg waar het maaiveld tot meer dan 10 meter is gedaald. Omdat de mijnbouw in het heuvelland plaatsvond, waar al van nature grote hoogteverschillen zijn, zijn dergelijke verzakkingen in het algemeen niet meer te zien. Ook de oppervlaktewaterhuishouding behoefde niet ingrijpend worden aangepast, zoals dat wel het geval was in andere mijngebieden. In Maasmechelen in België bijvoorbeeld veroorzaakte de mijn Eisden grote verzakkingen en steeg het grondwaterniveau tot boven maaiveld. Hier is sindsdien continue bemaling van grondwater noodzakelijk.

De mijnen van het Zuid-Limburgse mijnbouwdistrict werden gedurende de mijnbouwperiode met elkaar verbonden, met uitzondering van de mijn Maurits en de mijn Emma. De onttrekking van mijnwater varieerde per mijn sterk; deze was afhankelijk van de instroom van water van de bovenliggende deklaag (de mijn Maurits bijvoorbeeld werd door een grote toevloed van water van boven de 'natte mijn' genoemd). Ook kwam (zout en soms thermaal) water van omliggende lagen omhoog, rechtstreeks of via breuken. Deze verticale instroom leidde ook tot een verlaging van de stijghoogten van het grondwater in de bovenliggende lagen.

Hoe omvangrijk de grondwateronttrekkingen waren is bekend uit metingen uit die tijd. In de laatste operationele fase van de mijnen werd 48 m³ mijnwater per minuut opgepompt, ofwel ongeveer 25 miljoen m³ per jaar. Dit water was relatief zout, al varieerde dat sterk per mijn, afhankelijk van de mate waarin zout water vanuit de ondergrond omhoog kwam. Gemiddeld werden chloride concentraties van ongeveer 100 tot 3.000 mg/l (ref. Rosner, 2011) gemeten.



Figuur 2: Geologisch-hydrogeologisch dwarsprofiel door het Zuid-Limburgse mijngebied.

Na de mijnsluitingen tussen 1967 en 1974 werden de pompen in de mijnen stilgelegd en steeg het water in de mijnen weer. In 1974 werd de onttrekking van grondwater echter weer hervat door de Duitse vereniging EBV GmbH. Dit voor de bescherming van de Duitse kolenmijnen die toen nog in bedrijf waren en die in contact stonden met de Limburgse mijnen. Pas na de stopzetting van de laatste Duitse kolenmijn in 1992 is de onttrekking van grondwater in het Zuid-Limburgse mijnbouw gebied volledig beëindigd.

Door de verdere stijging van het mijnwater zijn de meeste mijnen weer volledig onder water komen staan. In december 2017 lag het niveau in de oostelijke mijnen (waar gemeten wordt in een aantal oude schachten) tussen 25 en 50 meter +NAP. De stijghoogte van het water (dus het drukniveau in de mijnen) blijft echter stijgen. Momenteel is de gemiddelde stijging ongeveer 2 tot 3 meter per jaar (figuur 2).

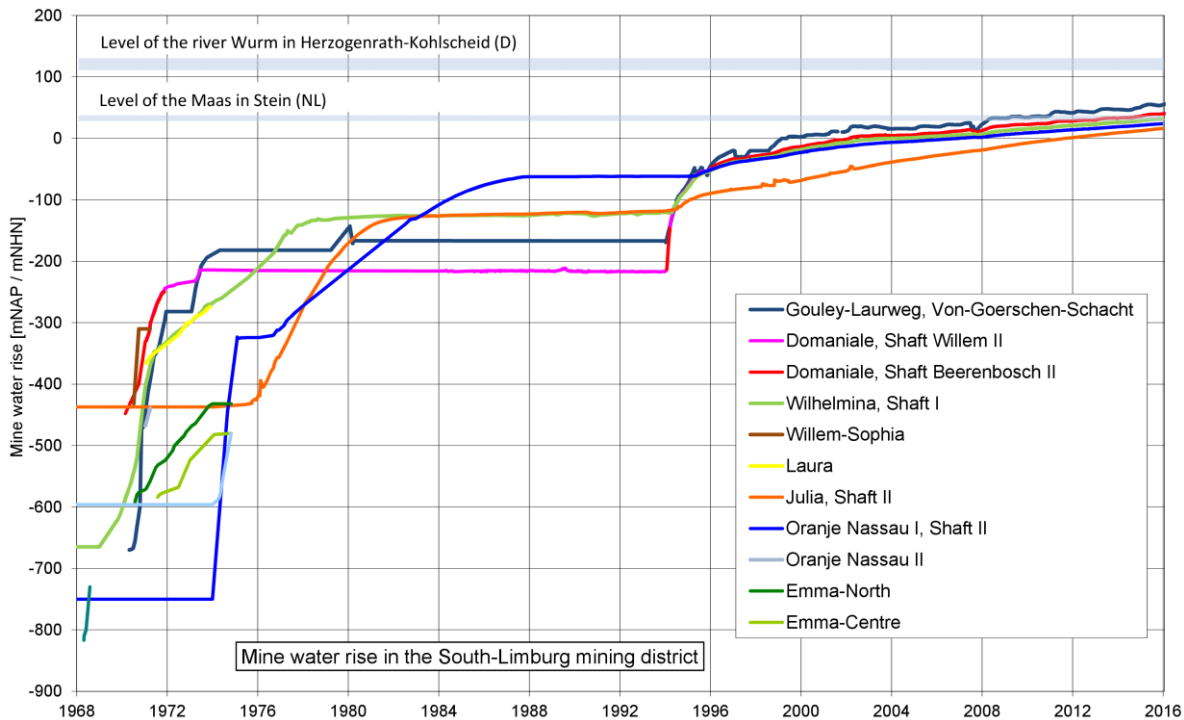


Figure 3: Stijging mijnwaterniveau in de verschillende mijn-concessies

Uitgaande van de modelberekeningen, wordt een verdere stijging verwacht van ongeveer 40 meter en wordt een stationaire eindsituatie verwacht over circa 20 à 30 jaar.

3 Gevolgen van stijgend mijnwater

3.1 Bodemstijging

Door de stijging van het mijnwater stijgt ook het maaiveld in het voormalige mijnbouwgebied. Sinds de jaren zestig wordt deze stijging gemeten. Door analyse van satellietgegevens van InSAR concludeerde TU Delft dat de bodem in het mijnbouwgebied op plaatsen al meer dan 0.35 meter is gestegen en dat deze stijging zich voortzet. Een overzicht van de bodemstijging tussen 1974 en 2014 is weergegeven in figuur 4.

In het algemeen is de bodemstijging gelijkmatig. Tijdreeksanalyses lieten een goede correlatie zien tussen de stijging van mijnwater en de bodemstijging. Zoals in figuur 4 is te zien, zijn de gemijnde gebieden in het patroon van bodemstijging goed te herkennen. De mate van maaiveldstijging verschilt echter. Het meest is de bodem gestegen in het centrale en in het Noord Westelijk deel van het mijnbouwgebied (zone 1 en 2, figuur 4). Dit zijn de gebieden waar de steenkoollagen al vóór 1994 volledig waren ondergelopen. De bodemstijging hier is ongeveer 0,30 tot 0,35 m. In het zuidoostelijke deel van het mijnbouwgebied, waar het waterpeil in de mijnen nog niet de bovenkant van de steenkoollagen heeft bereikt is de bodemstijging

minder geweest (ongeveer 0,10 tot 0,15 m in zone 3, figuur 4). Buiten het gemijnde gebied is vrijwel geen bodembeweging gemeten.

Een gelijkmatige regionale stijging van het maaiveld leidt normaliter niet tot grote problemen. Alleen daar waar over een beperkte afstand grotere verschillen in bodembeweging plaatsvinden, is risico dat schade ontstaat aan bebouwing en infrastructuur. Dit is het geval waar belangrijkste tektonische breuken liggen, de Heerlerheide breuk en de Feldbiss. Deze gebieden zijn in het onderzoek als invloedsgebieden aangeduid, waar schade als gevolg van doorgaande differentiële bodemstijging niet kan worden uitgesloten.

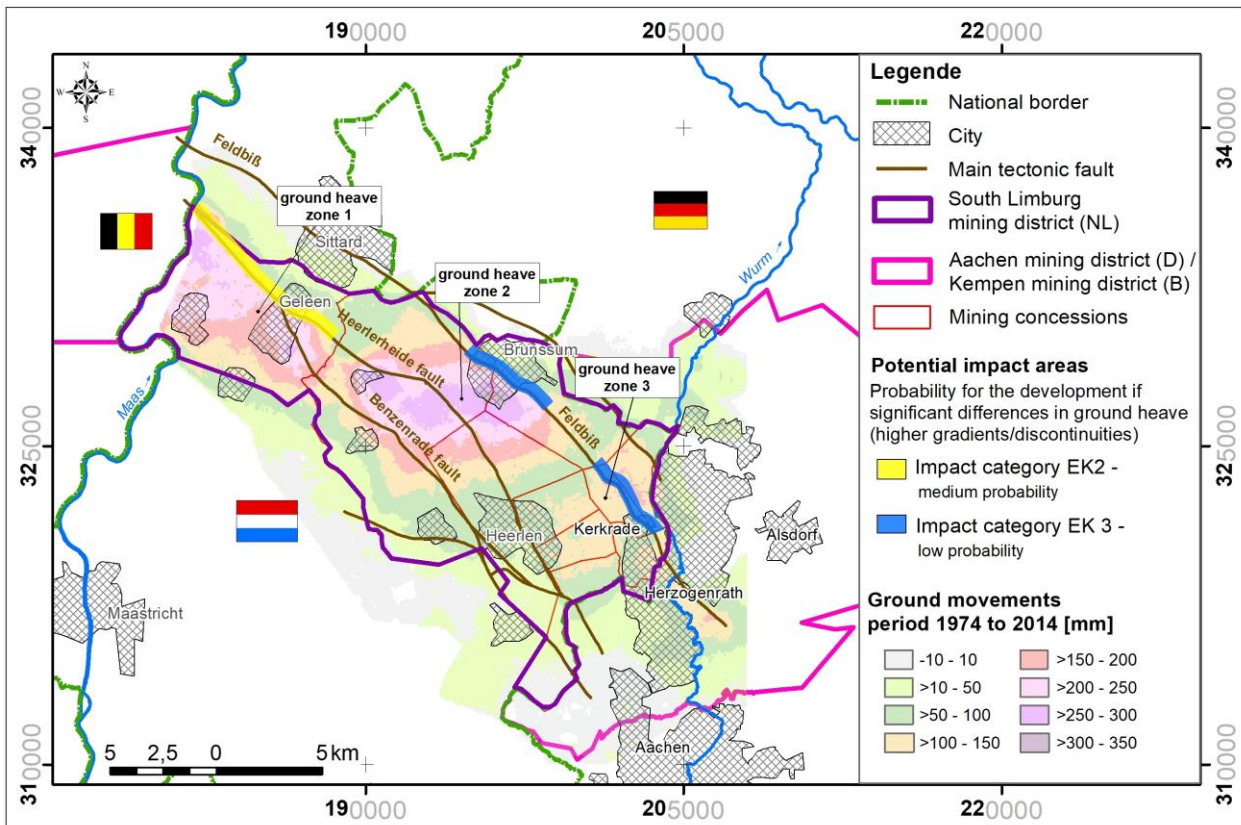


Figure 4: Bodemstijging van 1974 tot 2014 en de invloedsgebieden.

Op basis van de te verwachten stijging van het waterniveau in de mijnen en de daardoor ook stijgende diepe grondwaterstand, is berekend hoeveel bodemstijging nog is te verwachten. Dit is in het oostelijke en centrale mijnbouwgebied ongeveer nog 0,15 m. In totaal zal de bodemstijging door het stopzeten van de ontwatering van de steenkoollagen dus ongeveer 0,5 meter bedragen. In verhouding tot de maaiveld daling die tijdens de mijnbouw plaatsvond is dit relatief gering, maar een bodemstijging van deze orde komt in Nederland niet voor.

Zoals aangegeven, kan schade niet worden uitgesloten. Voor het bepalen van de omvang van het risico en eventuele gevolgen is de aanpak gevolgd die ook wordt toegepast in mijnbouwgebieden in het Ruhrgebied in Duitsland (Heitfeld et al., 2014). Deze aanpak bestaat uit een classificatie van invloedsgebieden in drie categorieën. De categorie-indeling is gebaseerd op de kans dat de aanwezigheid van discontinuïteiten daadwerkelijk schade aan gebouwen kan toebrengen. Categorie EK1 heeft dan een hoog potentieel risico en categorie EK3 een lage kans dat schade optreedt. Categorie EK2 en EK3 liggen in gebieden waar de belangrijkste tektonische breuken liggen en grote mijnbouwactiviteit heeft plaatsgevonden (figuur 4). Buiten deze gebieden wordt geen schade verwacht door relevante differentiële bodembeweging.

Voor de risicogebieden wordt aanbevolen om op representatieve profielen maaiveldveranderingen te meten, ondersteund door analyses op basis van satellietgegevens.

3.2 Grondwaterstand en grondwaterkwaliteit

Door de mijnbouw is het grondwatersysteem aanzienlijk beïnvloed. De oorspronkelijk slecht doorlatende steenkoollagen waren na het mijnen verbrokken en veel beter waterdoorlatend dan oorspronkelijk het geval was. Dit heeft tot gevolg dat toekomstige stijghoogten in het gebied anders zullen zijn dan voorheen (figuur 2). Daar waar de stijghoogte in het Carboon op termijn hoger is dan de stijghoogte in bovenliggende dekklagen, kan het mijnwater stijgen en de grondwaterkwaliteit in het Krijt en Tertiaire dekklagen beïnvloeden.

De mogelijke effecten van mijnwater stijging op bovenliggende watervoerende pakketten zijn berekend met het MODFLOW-grondwater model (TNO, 2007). De steenkoollagen uit het Carboon zijn in dit model opgenomen als extra modellagen. De modelberekeningen toonden aan dat in het centrale deel van het mijnbouwgebied op termijn mijnwater zou kunnen stijgen tot in het bovenliggende watervoerende kalksteenpakket (figuur 5).

In dit gebied is de mogelijke verandering van de grondwaterkwaliteit gesimuleerd met behulp van een transportmodel (MT3D) en een hydrogeochemisch model (PHREEQC). Vooral in de kalksteenaquifer in het gebied tussen de Heerlerheidebreuk en de Benzenradebreuk kunnen op lange termijn chloride- en sulfaat concentraties in het diepe grondwater stijgen. Uit berekeningen blijkt dat de toename van chloride en sulfaat echter beperkt blijft en pas op zeer lange termijn optreedt. Dit neemt niet weg dat aanbevolen wordt om de mijnwaterkwaliteit en –stand én de diepe grondwaterkwaliteit en –stand goed te monitoren.

Heel lokaal kan de stijging van het mijnwater ook leiden tot stijging van de ondiepe grondwaterstand. Dit kan eveneens op de lange termijn voorkomen op een aantal plaatsen in diep ingeslepen beekdalen in Limburg (figuur 5).

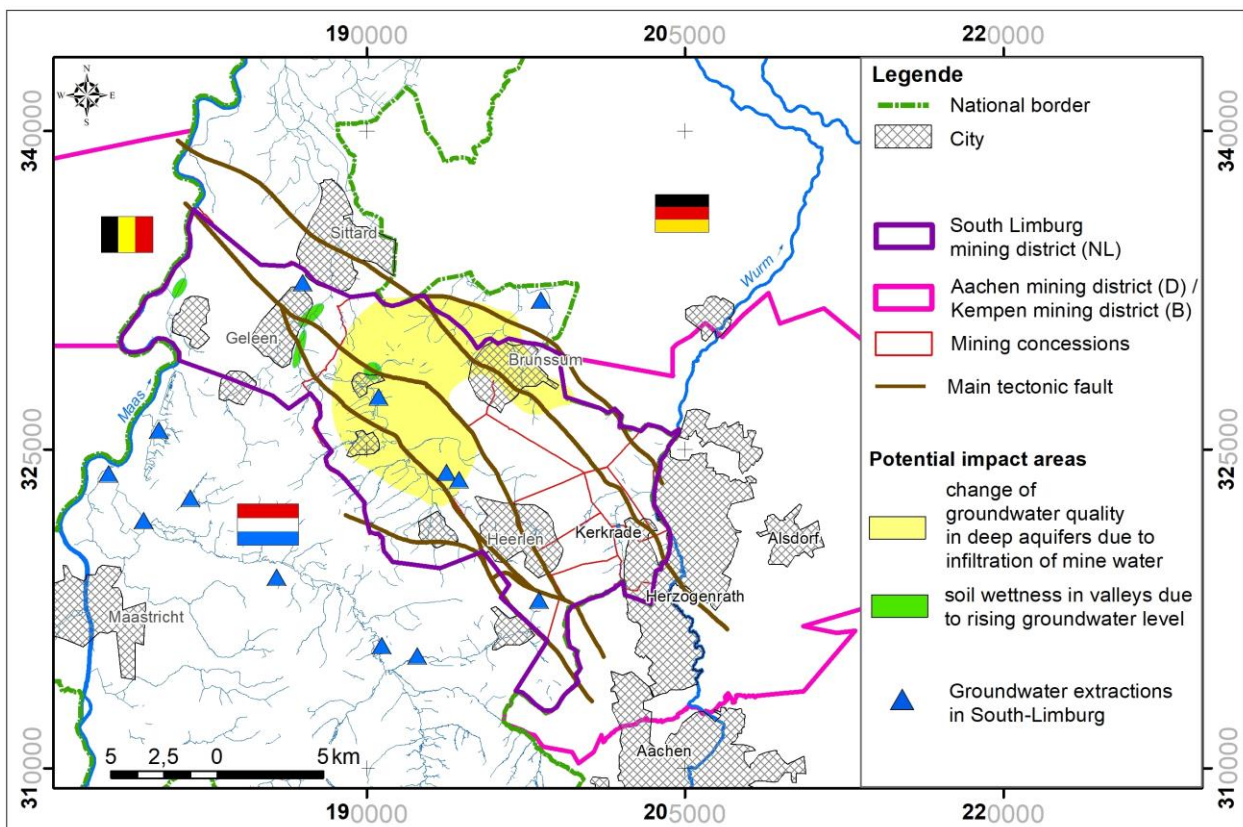


Figure 5: Mogelijke verandering van de grondwaterkwaliteit en zones waar op lange termijn vernatting kan optreden.

3.3 Mijngas

Door stijgend mijnwater kan mijngas naar bovenliggende lagen stijgen. Uit het onderzoek blijkt dat dit kan optreden in een beperkt gebied in het zuidoostelijke deel van het mijngebied. Dit is waar de mijnen nog niet volledig zijn ondergelopen (figuur 1). Daar kan een verhoogde kooldioxide-concentratie ontstaan (ongeveer 10 vol.-%). Methaan, dat in veel mijngebieden aanwezig is, is hier afwezig.

Het risico in dit gebied is dat accumulatie optreedt van mijngas in afgesloten ruimten, waardoor zuurstof wordt verdrongen en er in uitzonderlijke gevallen gevaar is voor verstikking. Risicogebieden zijn gebieden waar zones voorkomen waar makkelijk gastransport in de ondergrond kan plaatsvinden, zoals boringen of een sterk verbrokkelde ondergrond. Dit geldt vooral voor het gebied van historische mijnbouw rond Kerkrade.

Voor het gebied in Kerkrade is aanbevolen een inventarisatie uit te voeren van gebouwen die zich bevinden in de buurt van mijnschachten en naar mogelijke preferente zones voor transport van mijn gas, zoals riolering.

3.4 Kleine aardbevingen

Evenals in andere mijngebieden, zoals Groningen, kan winning van delfstoffen leiden tot aardbevingen, de zogenaamde geïnduceerde bevingen. In het voormalige zuidoostelijke mijngebied zijn de afgelopen decennia twee zwermen van kleine aardbevingen geweest, de eerste in 1985-1986 en de tweede in 2000-2002. Ook recent in 2018 is een zwerm van kleine aardbevingen geweest.

In het onderzoek is geconcludeerd dat een oorzakelijk verband tussen het (in twee fasen) stopzetten van de winning van grondwater en de eerst twee zwermen van kleine aardbevingen niet kon worden uitgesloten. Echter, Limburg ligt in een gebied waar van nature aardbevingen voorkomen die van grotere omvang kunnen zijn. Het totale risico op schade of letsel zal door de resterende stijging van het mijnwater dan ook nauwelijks toenemen.

4 Mijnschachten en ondiepe mijnbouw

In het historische mijnbouwgebied in Kerkrade is van 59 oude middeldiepe schachten vastgesteld dat er een risico is dat sinkholes ontstaan of verzakkingen. Deze schachten worden met voorrang opgespoord en waar nodig gesaneerd. Daarnaast is aanbevolen om bij toekomstige bouwprojecten rekening te houden met mogelijke risico's. Tot nu toe is geen grote schade waargenomen rondom schachten.

In het gebied waar industriële diepe mijnbouw heeft plaatsgevonden liggen 39 schachten; de meeste van deze schachten zijn gesloten in de jaren 1960 en 1970 en afgesloten door beton-pluggen. Dit is niet overal gebeurd volgens huidige techniek. Voor een aantal schachten is verder onderzoek en herstel aanbevolen, en daarnaast monitoring.

In Heerlen ontstond in 2011 onder het winkelcentrum 't Loon in Heerlen een aanzienlijke verzakking. Het winkelcentrum moest gedeeltelijk worden gesloopt. Op deze plaats ligt de steenkool onder een 80 m dikke deklaag van kalksteen en tertiaire zanden en silt (Klünker et al., 2013). De steenkool was hier weggehaald tot dicht onder de deklaag (de zogenaamde 'ondiepe' winning). Na het mijnen bleven daar holtes over. De bovenliggende kalksteen was verkarst (gespleten) en bovenliggende zanden spoelden de spleten en holtes in.

In het onderzoek werden voor 26 gebieden vastgesteld dat deze ook 'ondiep' zijn gemijnd. Deze gebieden zijn gedefinieerd als potentiële risicogebieden. Eén risico gebied wordt op dit moment verder onderzocht.

5 Review

Op verzoek van het ministerie van Economische zaken en Klimaat werden de uitkomsten van de studie beoordeeld door de British Coal Authority. De British Coal Authority beheert in Engeland de meeste

voormalige mijngebieden, en heeft een uitgebreide expertise op technisch gebied, op het gebied van risicomanagement en communicatie. De Coal Authority concludeerde dat de aanbevolen maatregelen effectief en proportioneel zijn (THE COAL AUTHORITY, 2016).

6 Monitoring lange termijn grondwater-effecten

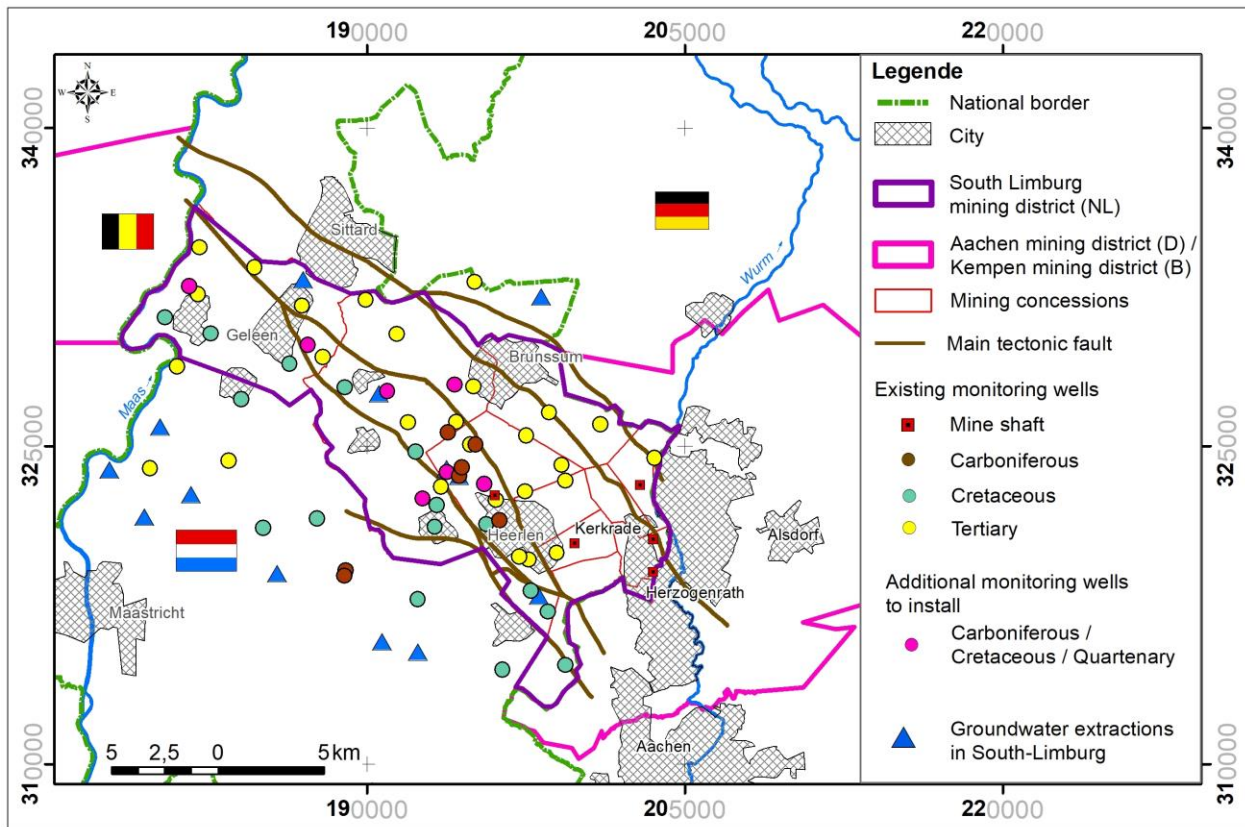
Om de gevolgen van het stijgende mijnwater voor grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit te monitoren, is een meetnet ontworpen. Doelstellingen van het monitoringsnetwerk zijn:

- Verkrijgen van inzicht in de huidige grondwaterstand en de verandering in de grondwaterstand in de tijd, zowel in freatische watervoerende lagen als in de diepe watervoerende lagen (kalksteen, Carboon);
- Verkrijgen van gegevens over hydrogeologische parameters van het Carboon, zoals permeabiliteit, connectiviteit tussen gemijnde gebieden en het bestaan van "hydraulische windows" tussen de kalksteen en het Carboon;
- Evaluatie van de uitkomsten van de modelberekeningen
- Indien nodig aanpassen van model/modelberekeningen op basis van metingen
- Verzamelen van informatie waarmee beter inzicht kan worden verkregen in andere 'naijlende' effecten, zoals bodemstijging of geïnduceerde aardbevingen.

Het monitoringsnetwerk is in drie stappen ontwikkeld:

- Berekenen van potentiële invloedsgebieden met het grondwatermodel (figuur 5), analyse van best- en worst-case situaties, analyse van trends in stijghoogten en grondwaterstanden in bovenliggende lagen;
- Beoordelen huidig meetnet op geschiktheid, ouderdom, ruimtelijke spreiding, aanwezigheid van filters in alle aquifers;
- Analyse van kennishiaten en maken van een plan van aanpak voor zeven diepe peilbuizen (orde 90 tot 450 meter minus maaiveld), waarmee waterstanden in de Tertiaire aquifer, de kalksteen aquifer en het Carboon worden gemeten. Op dit moment (september 2018) is de eerste van de zeven boringen gerealiseerd.
- Ontwikkelen van een risicosignaleringsstelsel: aan de hand van kritische indicatoren is vastgesteld wanneer sprake is van een 'waakzaamheidsniveau', 'signaleringsniveau' of 'interventieniveau'.

Het totale mijnwaterennetwerk is in figuur 6 weergegeven.



Figuur 6 Huidig mijnwatermeetnet en locatie nieuwe diepe boringen.

7 Conclusies

In de afgelopen jaren is uitgebreid onderzoek gedaan naar de 'naijlende effecten' van de mijnbouw in Limburg. Ruim 50 jaar na het beëindigen van de winning van steenkool stijgt het mijnwater in de ondergrond nog steeds. Naar verwachting zal deze stijging zich voortzetten en over circa 20 tot 30 jaar stabiliseren.

Het onderzoek bracht belangrijke mogelijke effecten in beeld, waaronder de verandering van grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit, bodemstijging, geïnduceerde aardbevingen, mijngas en instabiliteit rondom oude winningen en schachten. Op basis van een integrale risicoanalyse is een maatregelenprogramma ontwikkeld. Op dit moment werken alle bij de mijnbouw betrokken overheden, het ministerie, de provincie, en 12 gemeenten aan de uitvoering van dit programma.

In dit artikel is vooral ingegaan op de effecten van stijgend mijnwater op het grondwater. Omdat de stijging van het mijnwater de 'motor' is achter bodemstijging en andere naijlende effecten, is het belangrijk de mijnwaterstand nauwkeurig te volgen. Er is een uitgebreid monitoringsnetwerk ontworpen en de provincie Limburg is inmiddels gestart met het realiseren van zeven diepe peilbuizen. De meetgegevens zullen input zijn voor een risicosignaleringsysteem.

Het onderzoek laat ook zien dat de nazorg van de steenkoolwinning nog decennia zal duren. Of anders gezegd: de toekomst van de mijnbouw in Nederland is nazorg.

De integrale aanpak zoals deze in Limburg wordt toegepast is relatief nieuw. Mogelijk kan deze ook behulpzaam zijn bij nazorg in andere mijngebieden.

Verantwoording

Dit artikel is opgesteld in nauwe samenwerking met de provincie Limburg.

Referenties

Projectgroup GS-ZL (2016): Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg, final reports.-
www.tweedekamer.nl.

Heitfeld, M., Rosner, P. & Mühlkamp, M. 2014, 'Auswirkungen von Geländehebungen im Zuge des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier - ein Ansatz zur Bewertung der Risiken', 14. Altbergbau-Kolloquium, pp. 41-60; Gelsenkirchen (D).

Klünker, J., Hordijk, D. & Heitfeld, M. 2013, 'Tagesbruchbedingter Abriss eines Einkaufszentrums im Innenstadtbereich von Heerlen/Niederlande - Erkundung und Nachweis bergbaulicher Ursachen', 13. Altbergbau-Kolloquium, pp. 12-25; Freiberg (D).

Rosner, P. 2011, 'Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier - Eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge', dissertation. RWTH Aachen, 194 p.; Aachen (D). <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2011/3741>.

The Coal Authority 2016, 'Mining Risk Policy Advice on "Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg"', report assigned by the Ministerie van Economische Zaken, 20 p.; Mansfield (UK).

TNO, 2007: 'IBRAHYM Grondwatermodel Instrumentarium Limburg', Rapport 2007-U-R0193/B