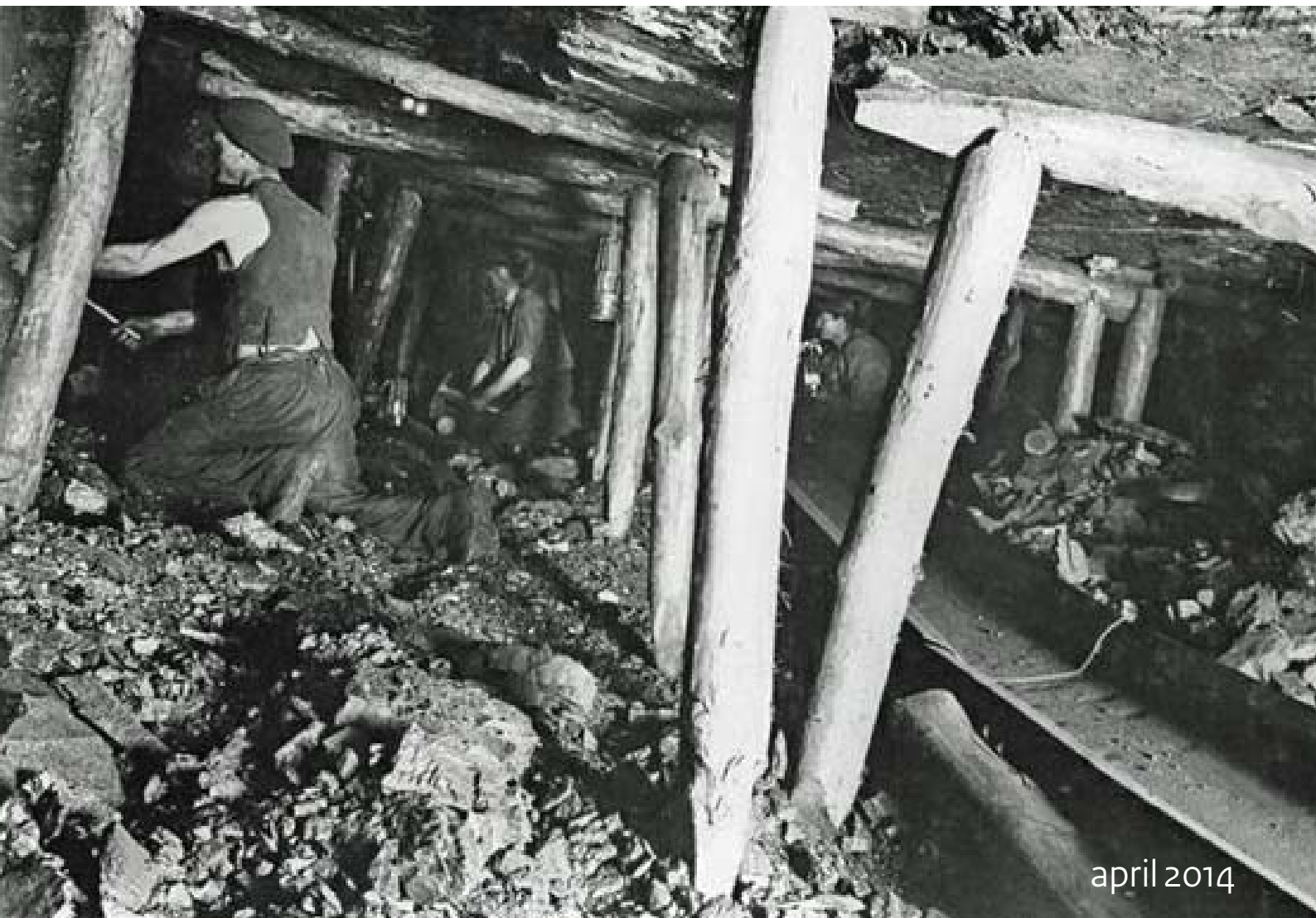




Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken

Staatstoezicht op de Mijnen

Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg
(inventarisatie)



april 2014

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Achtergrond	4
2 Aanleiding	4
3 Methode	5
4 Aard en omvang van de na-ijlende gevolgen	5
4.1 Bodemstijging	7
4.2 Verzakkingen bij schachten	9
4.3 Verzakkingen boven ondiepe winningen	11
4.4 Vervuiling van grondwater	13
4.5 Stijging van grondwater	14
4.6 Vrijkomen van mijngas	15
4.7 Lichte aardbevingen	16
5 Niet-technische aspecten van de problematiek	18
5.1 Rol van SodM	18
5.2 Overige gesignaleerde problemen	18
5.3 Internationale aspecten	18
6 Conclusies en aanbevelingen	19
Bronvermelding	20
Afkortingen	21

Samenvatting

Door de voormalige steenkolenwinning in Zuid-Limburg kan in deze regio nieuwe schade optreden. Dit rapport is een weergave van een eerste inventarisatie van deze na-ijlende gevolgen. Met behulp van literatuur- en archiefstudie, overleg met experts, analyse van meetgegevens en analyse van schadegevallen zijn aard en omvang van de problematiek nader in kaart gebracht.

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heeft zeven mogelijke na-ijlende gevolgen bestudeerd: bodemstijging, verzakkingen bij schachten, verzakkingen boven ondiepe winningen, vervuiling van grondwater, stijging van grondwater, vrijkomen van mijngas en lichte aardbevingen. Deze gevolgen hebben deels te maken met stijgend mijnwater, deels met holtes die de mijnbouw heeft achtergelaten. Naast materiële schade zijn veiligheidsrisico's niet uit te sluiten.

Naast de technische aspecten zijn er een aantal omstandigheden die de aanpak van deze problematiek kunnen bemoeilijken. Zo is er in Nederland weinig vakkennis voorhanden, noch bij overheden noch bij commerciële partijen. Op juridisch gebied is er onduidelijkheid over verjaring en aansprakelijkheid. Ook is de positie van SodM voor wat betreft de nazorg steenkolenwinning niet duidelijk. Gezien de grensoverstijgende aspecten is afstemming met Duitse en Belgische partijen nodig.

Op basis van deze inventarisatie acht SodM nader onderzoek nodig. Dit onderzoek dient zich zowel te richten op de risico's van de na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning, als op mogelijke beheersmaatregelen. Aanbevelingen hiervoor zijn uitgewerkt in het onderzoeksplan dat tegelijk met deze inventarisatie verschijnt. Om maximale veiligheid tegen minimale kosten mogelijk te maken, adviseert SodM de nazorg van steenkolenwinning systematisch op te pakken, in een samenwerkingsverband van het ministerie van Economische Zaken (EZ), SodM en lokale overheden.

1 Achtergrond

De laatste jaren wordt meer en meer duidelijk dat de steenkolenmijnbouw in Nederland ook lange tijd na het beëindigen van de winning nog gevolgen heeft. Niet alleen is er kans op schade, ook bestaat de kans dat personen letsel oplopen. Om te komen tot een verantwoorde aanpak heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), op verzoek van het ministerie van Economische Zaken (EZ), aard en omvang van de problematiek geïnventariseerd. Daarbij is voortgebouwd op de voorstudie die Ingeniebüro Heitfeld-Schetelig GmbH (IHS) in 2007 in opdracht van EZ heeft uitgevoerd. Dit rapport beschrijft de resultaten van deze eerste inventarisatie.

2 Aanleiding

Vanaf de veertiende eeuw tot 1974 werd in Zuid-Limburg steenkool gedolven. In de ondergrond werd over vele hectaren en in verschillende lagen steenkool weggehaald. Ook werd water opgepompt om ondergronds droog te kunnen werken. Aan het maaiveld leidde dit indertijd tot bodembeweging en mijnschade. Maar ook nu nog kan de voormalige steenkolenwinning na-ijlende gevolgen hebben. Stijgend mijnwater speelt hierin een belangrijke rol. De problematiek is echter breder.

Algemeen wordt onderkend dat verlaten steenkolenmijnen en met name de terugkeer van mijnwater in zulke velden ook op langere termijn effecten aan het maaiveld kunnen veroorzaken. In 2007 heeft ingenieursbureau IHS in opdracht van EZ onderzocht welke gevolgen het stijgende mijnwater kan hebben voor maaiveld en grondwaterkwaliteit in Zuid-Limburg. Met 'mijnwater' wordt overigens het grondwater bedoeld dat voorkomt op het niveau van het ondergrondse mijngebouw. IHS kwam tot de volgende na-ijlende effecten van de mijnwaterstijging:

- Bodemstijging en schade bij mijnbouwkundige of hydrogeologische discontinuïteiten;
- Verlies van stabiliteit van mijnschachten;
- Verlies van stabiliteit van ondiepe afbouw;
- Beïnvloeding van de samenstelling van het grondwater;
- Stijging van het grondwater en daardoor vernatting aan het maaiveld;
- Vrijkomen van mijngas bij schachten en breukzones.

De voorstudie van IHS heeft in kaart gebracht welke na-ijlende gevolgen de steenkolenwinning in Zuid-Limburg zou kunnen hebben. Of deze effecten daadwerkelijk (gaan) optreden in de Limburgse mijnstreek en in welke mate, was echter niet bekend. Om risico's in te kunnen schatten en om zo optimaal en verantwoord mogelijke beheersmaatregelen te kunnen vaststellen, is informatie over aard en omvang van de gevolgen noodzakelijk. Dit is de aanleiding voor deze inventarisatie.

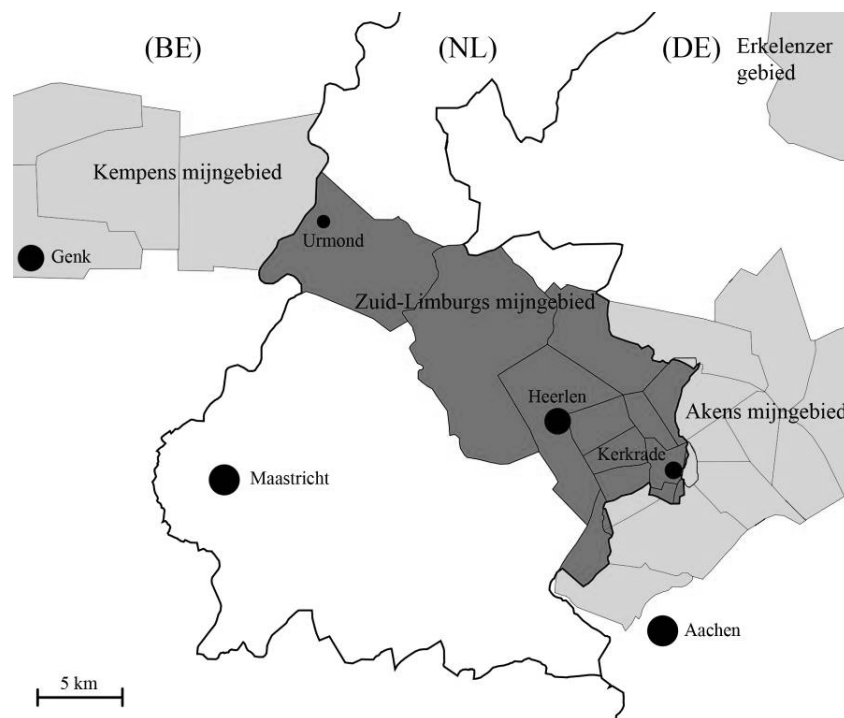
3 Methode

SodM heeft deze inventarisatie van na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg uitgevoerd van medio 2010 tot medio 2013. Doel was te onderzoeken in hoeverre de door IHS benoemde effecten daadwerkelijk in Zuid-Limburg zullen optreden (waar? wanneer?) – of dat wellicht al doen. Daarnaast is deze fase gebruikt om binnen SodM de kennis van deze problematiek in het algemeen en van zijn achtergrond in de Limburgse steenkolenwinning te vergroten.

Voor de inventarisatie zijn verschillende gegevens gecombineerd. Naast een beknopte literatuur- en archiefstudie zijn gesprekken gevoerd met lokale overheden en met experts. Voor het monitoren van de bodemstijging zijn enkele proefprojecten met satelliet radar interferometrie (PS-InSAR) opgezet en uitgevoerd. Veel aandacht is besteed aan de analyse van schadegevallen die bij de Technische commissie bodembeweging (Tcbb) zijn gemeld, en aan de verzakking die eind 2011 bij winkelcentrum 't Loon in Heerlen tot een *sinkhole* heeft geleid. Daarnaast zijn publicaties en presentaties gebruikt om feedback te vragen van diverse belanghebbenden.

4 Aard en omvang van de na-ijlende gevolgen

Deze inventarisatie is gericht op de Zuid-Limburgse mijnstreek. Figuur 1 toont de ligging van de verschillende concessies, dat wil zeggen de gebieden waarvoor indertijd vergunning was verleend om steenkool te winnen. Het Zuid-Limburgse mijngebied besloeg circa 12 bij 28 km, van grofweg Urmond tot Kerkrade. In het zuidoosten grensde het aan het Duits-Akense steenkooldistrict; in het noordwesten aan het Belgisch-Kempense mijngebied. Omdat niet uitgesloten kan worden dat effecten ook buiten de concessies optreden, is rondom het voormalige mijngebied een band van circa 1 km breed meegenomen in de inventarisatie.



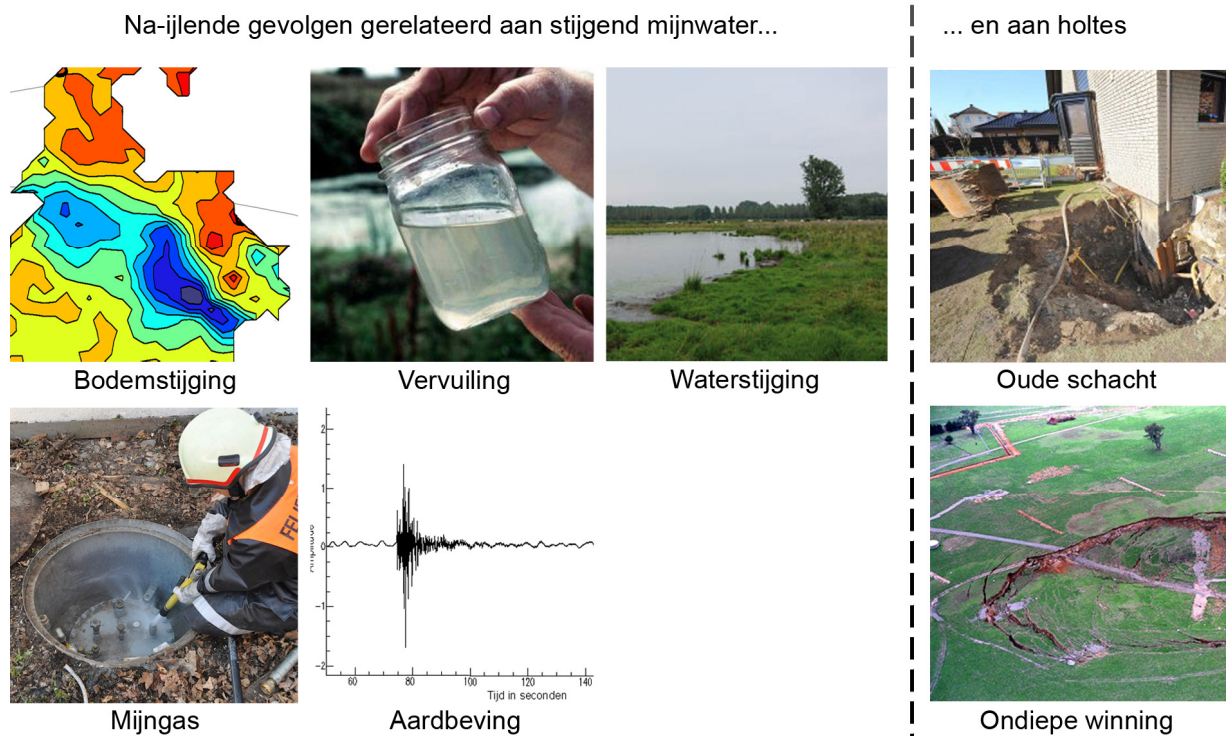
Figuur 1: De Zuid-Limburgse mijnstreek (donkergrijs), met de aangrenzende Belgische en Duitse steenkoolvelden (lichtgrijs).

In deze inventarisatie worden zeven na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning nader bekeken. Naast de zes in de voorstudie van IHS genoemde effecten, zie Paragraaf 2, zijn getriggerde aardbevingen aan de lijst toegevoegd. Figuur 2 geeft een overzicht van deze na-ijlende gevolgen. Deels hangen ze samen met de mijnwaterstijging, deels met holtes die de mijnbouw achtergelaten heeft. Voordat de zeven na-ijlende gevolgen in subparagrafen nader besproken worden, zal eerst een beeld geschetst worden van de achtergrond van deze processen.

Vijf van de zeven na-ijlende gevolgen worden toegeschreven aan de mijnwaterstijging. Om in de steenkolenmijnen droog te kunnen werken werd water uit de diepe ondergrond weggepompt. Sinds het pompen in 1994 volledig gestaakt is, vullen de Zuid-Limburgse mijnen en de diepe ondergrond daaromheen zich weer geleidelijk met water. Dit kan de bovengrond beïnvloeden. Zo wordt er in de hele regio bodemstijging gemeten. Andere gevolgen die kunnen optreden zijn vervuiling van grondwater, stijging van grondwater en het vrijkomen van mijngas. Ook een serie lichte aardbevingen die zich rond 2000 heeft voorgedaan staat wellicht in verband met het stijgende mijnwater.

De mijnwaterstijging doet zich in de gehele Zuid-Limburgse mijnstreek voor. Ook de hieraan verbonden effecten zouden in het hele onderzoeksgebied kunnen voorkomen. Per na-ijlend gevolg zal aangegeven worden waar de kans op optreden het grootst lijkt.

Zodra het mijnwater een evenwichtsituatie zal hebben bereikt en niet verder stijgt, zullen de vijf aan het mijnwater gerelateerde effecten ook niet verder optreden of toenemen. Naar verwachting zal dat gebeuren als het mijnwater in het zuidoosten het niveau bereikt waarop het kan afwateren naar de Worm. Dit niveau ligt op circa +107 m *Normalhöhennull* (NHN, vergelijkbaar met NAP). In Figuur 3 wordt het stijgingsverloop van het mijnwater sinds 1967 weergegeven. Op basis van dit stijgingsverloop is de verwachting dat, zonder ingrepen, het mijnwater op zijn vroegst over 20 jaar zijn maximale stijghoogte zal hebben bereikt. Mogelijk gebeurt dit echter pas over 40 jaar.

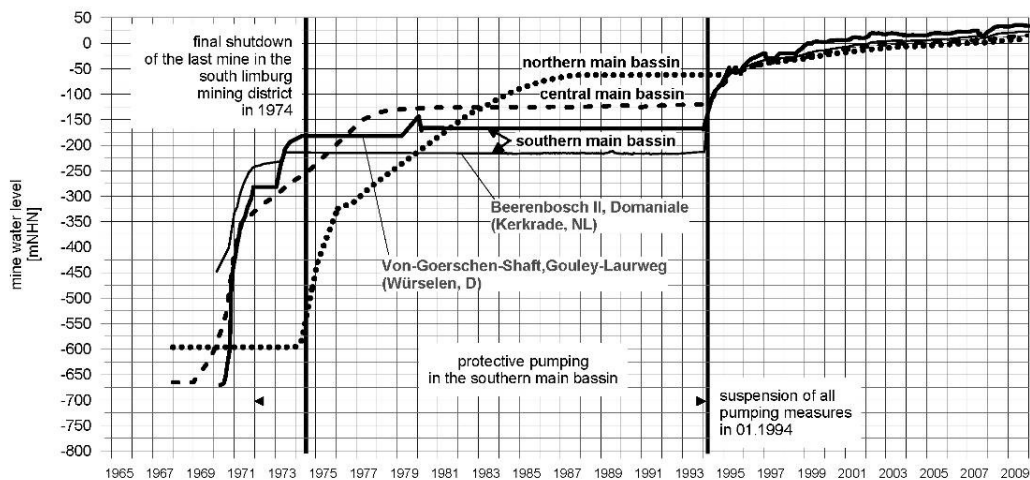


Figuur 2: Overzicht van de na-ijlende gevolgen van de voormalige steenkolenwinning.

Het andere deel van de na-ijlende gevolgen heeft te maken met holtes die de mijnbouw in de ondergrond heeft

achtergelaten. Daarbij gaat het niet zozeer om de mijngangen die in de gehele mijnstreek voorkomen, maar om specifieke locaties zoals schachten en ondiepe, niet-ingestorte winningen. Door langdurige erosieprocessen kunnen boven dit soort holtes lokale verzakkingen of *sinkholes* optreden. Behalve materiële schade is er gevaar voor letsel van personen. Gezien de aard van deze processen is er geen tijdslimiet aan het risico te stellen, en kan het risico met de tijd zelfs toenemen.

In de volgende subparagrafen zullen de zeven na-ijlende gevolgen nader besproken worden. Per effect zal een inschatting gegeven worden waar het kan optreden en wat de risico's daarbij zijn. Ook wordt aangegeven wat knelpunten zijn die een aanpak kunnen bemoeilijken.



Figuur 3: Mijnwaterstijging in de Zuid-Limburgse en Akense mijnstreek tussen 1967 en 2009, naar Rosner [2011].

4.1 Bodemstijging

Wat is het probleem?

In de Zuid-Limburgse mijnstreek wordt bodemstijging gemeten. Naar schatting gaat het tot nu toe om een stijging van maximaal 30 centimeter sinds de mijnsluitingen [Pöttgens 1985, Wings et al. 2004, Caro Cuenca et al. 2013]. Dit is ongeveer 3 % van de maximale bodemdaling van 10 meter die door de steenkolenwinning is opgetreden. Met satellietbeelden (PS-InSAR) is de bodembeweging vanaf 1992 in kaart gebracht, zie Figuur 4.

De stijging van de bodem die aan het maaiveld gemeten wordt, is zeer waarschijnlijk een gevolg van de stijging van het mijnwater ondergronds. Er zijn twee verklaringen voor dit verband: enerzijds laat het terugkerende mijnwater de bodem opzwellen; anderzijds zorgt het stijgende water voor een drukopbouw, die hoger gelegen grondlagen doet opdrijven. Hierbij lijkt met name het moment dat het stijgende mijnwater de overgang carbon-dekterrein bereikt cruciaal te zijn.

Het fenomeen van bodemstijging boven weer onderwaterlopende mijnen is al sinds de jaren 1930 bekend [Oberste-Brink 1940]. Lange tijd werd echter gedacht dat het geen schade zou veroorzaken. Men ging er namelijk vanuit dat de bodembeweging heel egaal en gelijkmatig zou optreden, zonder verschillen in beweging op korte afstand. Ervaringen in met name Nordrhein-Westfalen (DE) leren dat dit niet altijd waar is. Zo werd rond 2000 in Wassenberg veel schade geconstateerd boven een gesloten en onderwaterlopende mijn [Baglikow 2010]. Over een afstand van enkele meters traden in dit specifieke geval verschillen in bodemstijging van enkele centimeters op. Een aantal van de beschadigde gebouwen is afgebroken en herbouwd. Experts geven aan dat schade door bodemstijging ook kan ontstaan buiten de gebieden die vroeger door steenkolenwinning zijn beïnvloed.

Ook in Zuid-Limburg zijn er de laatste jaren indicaties van nieuwe schade. De Tcbb heeft tussen 2009 en april 2013 12 schademeldingen in dit gebied onderzocht. Zeven daarvan beoordeelt zij als 'redelijkerwijs het gevolg van mijnbouwactiviteiten'.

Waar vindt het plaats?

Zoals Figuur 4 laat zien, wordt bodemstijging in vrijwel de gehele Zuid-Limburgse mijnstreek gemeten. Schade is met name te verwachten in die gebieden waar lokaal, over korte afstand, relatief grote verschillen in bodembeweging optreden. Deze grote verschillen in bodembeweging zijn op de satellietbeelden in Figuur 4 zichtbaar door een sterk kleurverloop.

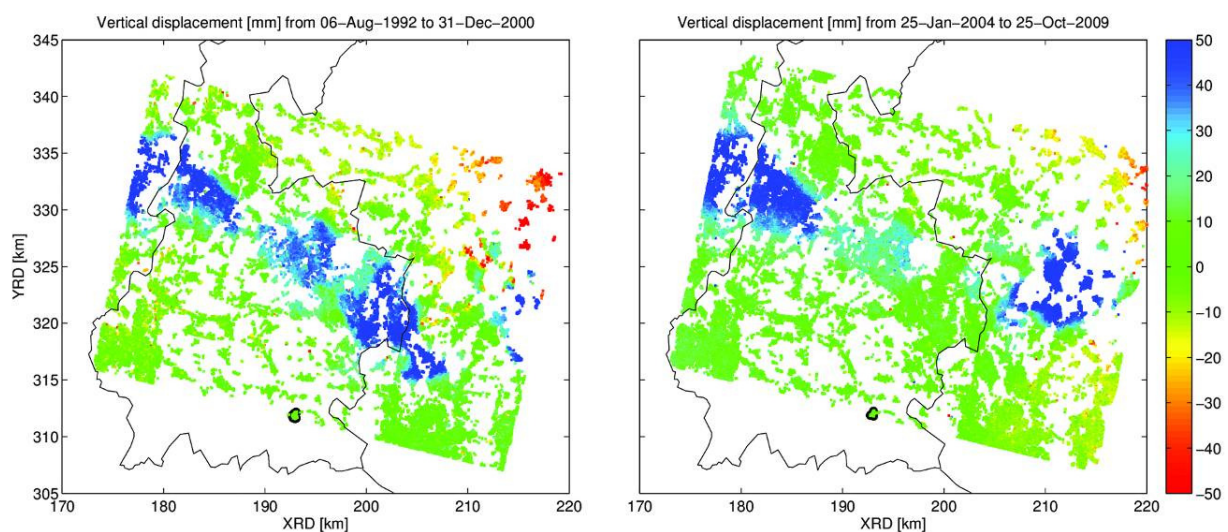
Mede op basis van mijnbouwkundige analyses van de bij de Tcbb gemelde schadegevallen is er een vermoeden onder welke omstandigheden bodemstijging tot schade leidt. In alle zeven erkende mijnschadegevallen blijkt de steenkolenwinning ter plaatse gekenmerkt door abrupte overgangen: gebieden met intensieve mijnbouw grenzen aan zones waar geen steenkool is gedolven. Dergelijke mijnbouwkundige discontinuïteiten doen zich vaak voor in de buurt van grote geologische breukzones in de ondergrond (Feldbiss, Heerlerheidebreuk, Willemstoring), maar ook bij concessiegrenzen en rond veiligheidspijlers die onder grote openbare gebouwen (zoals ziekenhuizen) werden aangehouden. Ten tijde van de steenkolenwinning ontstonden in zulke overgangsgebieden vaak drempels: scheuren en sprongen aan het maaiveld ten gevolge van lokale verschillen in bodemdaling.

Het is aannemelijk dat de discontinuïteiten in bodembeweging, en daarmee de schades, verband houden met discontinuïteiten in mijnbouw. De drempelkaarten waarop ten tijde van de winning de scheuren en sprongen aan het maaiveld opgetekend werden, kunnen nu een belangrijk aanknopingspunt vormen voor het in kaart brengen van risicozones voor ongelijkmatige, schadeveroorzakende bodemstijging.

Wat zijn de risico's?

Gezien de regionale omvang van de bodemstijging lijkt er een grote kans te zijn op beperkte schade aan gebouwen en infrastructuur. Afhankelijk van bijvoorbeeld type en functie van bebouwing zou lokaal ook grote schade kunnen ontstaan.

De kans dat er letsel ontstaat ten gevolge van bodemstijging lijkt zeer klein: het gaat hier om een langdurig proces waarbij ook de schade over het algemeen geleidelijk zal ontstaan. Er is dan tijd om maatregelen te nemen. Daarbij is wel van belang dat het voortgaan van het bodembewegingsproces wordt onderkend.



Figuur 4: Bodemstijging (blauw) en -daling (rood) in Zuid-Limburg, gemeten met PS-InSAR in mm, voor de perioden augustus 1992 tot december 2000 (links) en januari 2004 tot oktober 2009 (rechts) [Caro Cuenca 2013].

Wat zijn de knelpunten?

Het voornaamste knelpunt bij de omgang met bodemstijging is de prognose van de omvang van de schade. Daarbij moet gedacht worden aan zowel directe zaakschade als vervolgschade door bijvoorbeeld gederfde inkomsten. Welke partij de kosten voor dergelijke schades zou moeten dragen is op dit moment onduidelijk.

Een ander knelpunt is de vraag of er mogelijkheden zijn om verdere bodemstijging te voorkomen. Als de bodemstijging inderdaad veroorzaakt wordt door de mijnwaterstijging, dan zou het opnieuw oppompen van mijnwater deze bodemstijging kunnen vertragen of zelfs doen stoppen. Dit mag een goede oplossing lijken, er kunnen echter ongewenste gevolgen aan verbonden zijn. Pompactiviteiten die de mijnwaterstand op de ene plek constant houden, kunnen op een andere plek voor een daling van het waterniveau zorgen, en daarmee voor bodemdaling. Ook die kan schade veroorzaken. Bovendien is het geen definitieve oplossing in die zin, dat de pompen 'voor eeuwig' aan zouden moeten blijven om de bodemstijging te blijven onderdrukken. Dit is wat men in Duitsland 'Ewigkeitslasten' noemt. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of de baten de lasten van een dergelijke maatregel overstijgen.

4.2 Verzakkingen bij schachten

Wat is het probleem?

Voor het winnen van steenkool is het, anders dan bij bijvoorbeeld gas en olie, nodig om mensen en machines ondergronds tot bij de steenkolenlagen te brengen. Voor ventilatie en transport tussen maaiveld en kolenlagen werden schachten afgediept. Deze lift- en luchtschachten zijn verticale, cilindervormige holtes van enkele meters doorsnede en enkele tientallen tot ook honderden meters diep.

Bij het buiten gebruik raken of sluiten van een mijn werden mijnschachten meestal opgevuld: soms over hun hele diepte, soms door halverwege een vloer of prop te maken en daarop vulling te storten. Bij de moderne schachtafsluitingen in de jaren 1960 en 1970 werd de schachtmond aan het maaiveld bovendien met een betonnen plaat of prop afgedekt.

In de loop van de tijd kan het vulmateriaal in een schacht verdichten of wegspoelen. Hierdoor zal de schachtvulling nazakken. Wanneer er aan het maaiveld geen voldoende veilige afdekking over de schachtmond is geplaatst, kan daardoor boven of rond een verlaten schacht een verzakking ontstaan. Zeker wanneer dit plotseling gebeurt, kan dit gevaarlijk zijn.

Waar vindt het plaats?

Het gevaar van verzakkingen bij schachten speelt niet zo zeer bij de moderne schachten die in de jaren 1960 en 1970 zijn gesloten: die zijn naar de huidige maatstaven voldoende veilig verlaten. Van de schachten die eerder buiten gebruik zijn geraakt, rond 1900 of zelfs in de eeuwen daarvoor, is meestal niet bekend hoe ze gevuld zijn. Bij dergelijke schachten zijn plotselinge verzakkingen niet uit te sluiten. In Nederland is dit overigens nog niet gebeurd, maar in het aangrenzende Nordrhein-Westfalen is het een bekend fenomeen.

De historische schachten waarbij verzakkingen kunnen optreden, komen in Zuid-Limburg alleen voor waar de steenkool niet te diep onder maaiveld voorkomt: in het zuidoosten van Kerkrade. Doordat een deel van deze schachten uit een tijd stamt waarin mijnbouw door grondeigenaren werd bedreven, zonder veel verdere coördinatie of vastlegging, is hun precieze ligging vaak niet bekend. Dit vergroot het risico.

Met behulp van historische kaarten en documenten zijn 60 vermoede schachtlocaties in beeld gebracht, zie Figuur 5. In verband met de onnauwkeurigheid van het historische kaartmateriaal is steeds een zone met een straal van 25 meter aangehouden waarbinnen de schacht zich waarschijnlijk bevindt. Wellicht is niet op elk van de 60 locaties ook daadwerkelijk een schacht aanwezig: door onnauwkeurigheden in bronnen kunnen er dubbelingen zijn ontstaan. Er moet echter ook rekening mee gehouden worden dat er schachten hebben bestaan die op geen enkele historische kaart zijn ingetekend, en daarmee ook niet op deze inventariserende kaart zijn opgenomen.

Een ander, niet-technisch knelpunt ligt op het vlak van aansprakelijkheid. Voor de historische schachten is geen mijnonderneming nog verantwoordelijk: vaak zijn ze ooit afgediept door particuliere grondeigenaren. De Domaniale Mijnmaatschappij, die later in dit deel van Kerkrade de mijnwerken pachtte en exploiteerde, is in 1996 geliquideerd. Door deze lange en complexe geschiedenis is onduidelijk wie verantwoordelijk is in geval van plotselinge verzakkingen.

4.3 Verzakkingen boven ondiepe winningen

Wat is het probleem?

Ondiepe winningen zijn winningen op minder dan 100 meter onder maaiveld, waarbij boven de winning minder dan 30 meter aan vast gesteente aanwezig is. Bij dergelijke winningen bestaat de kans dat ze, bedoeld of onbedoeld, niet direct na de afbouw van steenkool ingestort zijn, maar nog open staan. Wanneer dergelijke ondiepe winningen alsnog instorten of volstromen met bodemmateriaal, kan dit aan het maaiveld tot verzakkingen leiden. Ook de ingangen van ontwateringsgalerijen (gangen) vormen een mogelijk veiligheidsrisico.

Op basis van de huidige ervaringen lijken er twee typen ondiepe winningen te zijn die mogelijk nog geheel of gedeeltelijk openstaan. Enerzijds gaat het om winningen door middel van partiële extractie, zoals *room and pillar mining* en *long pillar mining*. Bij dit type afbouw werd steenkool in kamers of gangen weggehaald; daartussen bleven pilaren of stroken staan. Het zo gecreëerde gangenstelsel staat vrijwel zeker nog open. Anderzijds gaat het om moderne ondiepe winningen op basis van volledige extractie. Bij volledige extractie liet men het gebied achter het winningsfront vrijwel meteen na het weghalen van de steenkool instorten. Dit gecontroleerd laten instorten van de breukpijler was veiliger voor de mijnwerkers ondergronds; bovendien konden zo meer kolen gedolven worden dan bij partiële extractie. Waar echter op deze manier tot dicht onder de overgang van carboon naar dekterrein gewonnen werd, was de gebergtedruk soms niet voldoende om een breukpijler geheel te doen instorten. Door gewelfwerking bij bijvoorbeeld ondiepe hoekpunten kunnen plaatselijk delen van pijlers open zijn blijven staan.

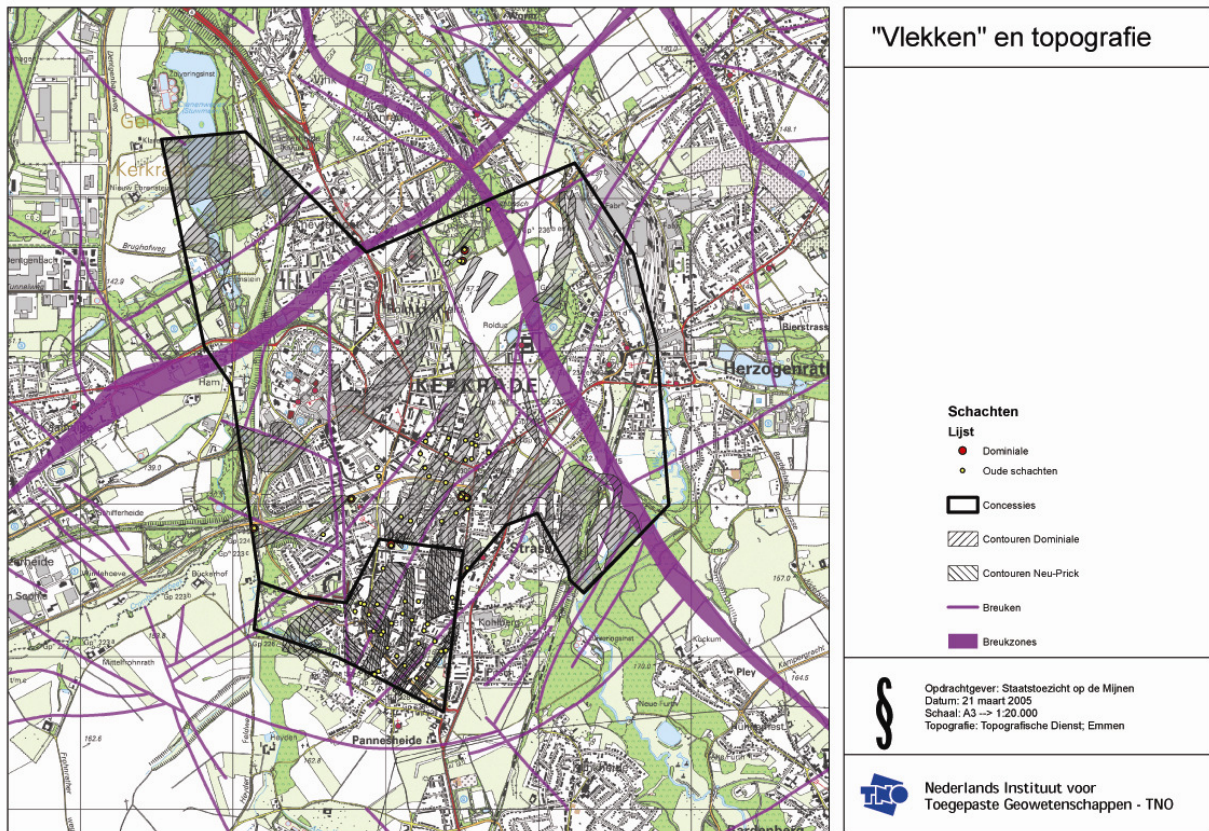
Bij beide typen ondiepe winningen kunnen de achtergebleven holtes ook lange tijd na beëindiging van de winning aanleiding zijn voor verzakkingen. Bij opengebleven hoekpunten van moderne winningen kan, door geleidelijke instroom van water met bodemmateriaal uit hoger gelegen lagen (*suffosion*) aan het maaiveld een zettingskom of *sinkhole* ontstaan. Ondiepe partiële ontginningen kunnen in de loop van de tijd instabiel worden: het dak van de winning kan verzwakken en vervolgens bezwijken (*caving*). Ook kan een pilaar, of zelfs een serie van pilaren, bezwijken. Dit kan tot zakkingen leiden, waarbij de grootte van het beïnvloede gebied aan het maaiveld afhangt van de omvang van de instorting ondergronds.

Waar vindt het plaats?

Ondiepe winningen en ontwateringsgalerijen komen voornamelijk voor in Kerkrade, waar het carboon niet ver onder het maaiveld begint. In grote delen van Kerkrade is er steenkool aanwezig op minder dan 100 meter onder maaiveld. Bovendien wordt in dit deel van Zuid-Limburg het carboongesteente niet afgedekt door een laag kalksteen. Het is dus alleen het carboondak dat de dikte van het vast gesteente boven de winning bepaalt.

Figuur 6 laat zien waar binnen de concessies Domaniale en Neuprick steenkool voorkomt binnen 20 meter onder top carboon. Of daadwerkelijk steenkool is gewonnen in deze zones staat niet vast: in delen van Kerkrade werd al in de veertiende eeuw ondergronds steenkool gedolven, maar dergelijke historische winning is nauwelijks gedocumenteerd. Voor de inventarisatie in Figuur 6 is daarom uitgegaan van de geologie.

De verzakking bij winkelcentrum 't Loon in Heerlen, zie Figuur 7, heeft duidelijk gemaakt dat ondiepe moderne winningen ook tot verzakkingen kunnen leiden. Bij 't Loon was sprake van een combinatie van omstandigheden: winning tot zeer dicht (minder dan 10 meter) onder de top van het carboon, op minder dan 100 meter onder maaiveld, op een locatie met een grote toestroom van grondwater, met een sterk waterhoudende laag en zonder impermeabele afdichting tussen carboon en dekterrein. Ook ondiepe winningen dicht bij geologische breukzones lijken een potentieel risico te vormen voor geleidelijke instroom en daarmee voor een mogelijk verzakkingsproces zoals zich dat bij 't Loon heeft afgespeeld. Risicolocaties dienen nader in kaart gebracht te worden.



Figuur 6: In grijs gearceerd de gebieden in de concessies Domaniale en Neuprick in Kerkrade waar mogelijk ondiep, in dit geval op minder dan 20 meter onder top carboon, steenkool is gewonnen [TNO 2005].



Figuur 7: Sinkhole in de parkeergarage van winkelcentrum 't Loon te Heerlen (2011). Foto rechts ten tijde van de sloop van een deel van het gebouw.

Wat zijn de risico's?

Net als bij het uitspoelen van schachtvullingen is het instorten of volstromen van door ondiepe winningen achtergebleven holtes vooral een kwestie van tijd. Door de erosie-achtige aard van de processen is er geen tijdslimiet aan het risico te stellen, en kan het risico over een zeer lange periode blijven bestaan of zelfs toenemen.

De gevolgen die aan het maaiveld kunnen optreden, hangen sterk af van de grootte van de holte. Bij partiële winningen kan het om grote volumes gaan. Bovendien kan door *progressive collapse* het bezwijken van één pilaar leiden tot verzakking van een groot gebied. Hierbij is kans op grote schade en ook kans op letsel van personen niet uit te sluiten.

Bij de kleinere holtes die bij ondiepe conventionele winning kunnen zijn achtergebleven, is de uiteindelijke verzakking aan het maaiveld niet het gevolg van instorting, maar van instroom van bodemmateriaal. Dit is een meer geleidelijk proces, waarbij de uiteindelijke *sinkhole* zich eerst lijkt aan te kondigen met een schotelvormige verzakking in een groter gebied. Een dergelijke aankondiging geeft de mogelijkheid in te grijpen, waardoor de kans op schade en letsel beperkt kan worden. Voorwaarde is wel dat signalen op tijd worden onderkend.

Wat zijn de knelpunten?

De problematiek van verzakkingen boven ondiepe winningen kent een aantal knelpunten. Allereerst is niet duidelijk in welke gebieden de grootste potentiële risico's liggen. Voor historische partiële ontginningen komt dat door een gebrek aan documentatie, waardoor zonder nader onderzoek meestal geen uitsluitel gegeven kan worden of er op een bepaalde locatie al dan niet gewonnen is. Lokaal is ook in de afgelopen eeuw nog partiële ontginning bedreven. Soms is onduidelijk wat de toestand daarvan is: Is deze nagevuld? In welke mate? Ook dit bemoeilijkt een risico-inschatting. Voor moderne winning tot dicht onder de top van het carboon zijn op dit moment nog onvoldoende gevallen van verzakkingen bekend om aan te kunnen geven wat de doorslaggevende risicofactoren zijn.

Onduidelijk is verder in hoeverre een verzakking boven een ondiepe winning zich aankondigt. Voor partiële ontginningen die instorten kan een plotseling effect niet uitgesloten worden. Voor het mechanisme van instroom in een ondiepe pijler lijkt het echter aannemelijk dat dit een langdurige proces is dat zich eerst in een geleidelijk optredende schotelvormige zettingskom manifesteert, maar dat uiteindelijk kan cumuleren in een plotseling optredende *sinkhole*. Als dat zo is, dan zou een dergelijke geleidelijke zakking als signaal gebruikt kunnen (moeten) worden om voortgaande schade en letsel te voorkomen.

Tenslotte speelt bij ondiepe winningen, anders dan bij schachten, het probleem dat er geen kant-en-klare oplossing is om een verzakking te voorkomen of tot stilstand te brengen. Bij het opvullen van oude winningen met bijvoorbeeld een betonmengsel bestaat de kans dat de ingestorte mijnpijlers dermate permeabel zijn dat er grote hoeveelheden vulmateriaal in zullen wegstromen. Voor een 'overbrugging' in de ondiepe ondergrond zal terdege onderzocht moeten worden of deze inderdaad voldoende veiligheid biedt. Wat zeker voorkomen dient te worden, is dat een overbrugging de verzakking aan het zicht onttrekt, of dat ondergrondse waterstromen zodanig veranderd worden dat de cavernevorming en verzakking zich naar elders verplaatst.

4.4 Vervuiling van grondwater

Wat is het probleem?

Een effect dat nog niet geconstateerd is, maar waarmee wel rekening gehouden moet worden, is dat het stijgend mijnwater kan leiden tot veranderingen in de kwaliteit van het ondiepere grondwater. Kort gezegd: het grondwater kan vervuild raken.

De term mijnwater wordt gebruikt voor grondwater dat voorkomt op de diepte van de mijn. Doordat het langere tijd in contact staat met diepere gesteentelagen, heeft mijnwater een andere samenstelling dan het ondiepe grondwater: het is sterker gemineraliseerd. Wanneer dit mijnwater zich zou vermengen met ondiep water, dan kan dat de samenstelling en dus de kwaliteit van het ondiepe grondwater nadelig beïnvloeden.

Waar vindt het plaats?

Mijnwaterstijging is een proces dat in de gehele mijnstreek optreedt. Beïnvloeding van het grondwater kan dus ook in de hele regio voorkomen. Er zijn echter twee kanttekeningen te plaatsen waardoor het onzeker is op welke schaal mijnwaterstijging ook tot vermenging van mijnwater en ondiep grondwater zal leiden. Allereerst is er door het verschil in samenstelling ook een verschil in soortelijk gewicht tussen grondwater en mijnwater. Op basis hiervan is aan te nemen dat beide typen niet mengen, maar dat het ondiepe grondwater op het mijnwater zal blijven drijven.

Anderzijds is onduidelijk in hoeverre stijgend mijnwater ook daadwerkelijk in het dekterrein terecht zal komen. Op veel plaatsen wordt het carboonoppervlak afgedekt door slecht doorlatende lagen, wat het doordringen van grote hoeveelheden mijnwater in het dekterrein belemmert [Provincie Limburg 1998]. Desalniettemin zijn er ook aanwijzingen dat lokaal wel degelijk hydrologische verbindingen bestaan tussen carboon en dekterrein. Dit kan opgevoerd worden uit meldingen van instroom van water en drijfzand in de mijnen ten tijde van de winning.

Wat zijn de risico's?

Grondwater wordt gebruikt voor drinkwater. Ernstige vervuiling van het ondiepe grondwater kan tot letsel leiden. Ook bedrijven maken gebruik van grondwater. Afhankelijk van waarvoor ze dit water gebruiken, kan een veranderde samenstelling nadelig zijn. Schade zou kunnen bestaan uit hogere kosten voor waterzuivering.

Wat zijn de knelpunten?

SodM heeft geen zicht op metingen van grondwaterstand en -kwaliteit, noch op welke partijen grondwater winnen – en daardoor eventueel nadelige gevolgen zouden kunnen ondervinden. Voor een betere risico-inschatting zou dit nader in beeld gebracht moeten worden.

Veranderingen in samenstelling van ondiep grondwater die zouden kunnen duiden op een nadelige beïnvloeding door stijgend mijnwater zijn tot nu toe niet bekend. Drinkwater wordt streng gemonitord. De kans dat er onopgemerkt veranderingen in de drinkwaterkwaliteit plaatsvinden waardoor letsel zou kunnen ontstaan, lijkt daarom zeer klein.

4.5 Stijging van grondwater

Wat is het probleem?

Wanneer het mijnwater verder stijgt en doordringt in het dekterrein, of de grondwatervoorkomens daarin doet opdrijven, dan kan dit ook de stand van het ondiepe grondwater beïnvloeden: het grondwaterniveau kan dichterbij het maaiveld komen te liggen. Hierdoor zou plaatselijk vernatting kunnen optreden.

Door het wegpompen van mijnwater is de grondwaterhuishouding zowel in de diepe als in de ondiepe ondergrond verstoord geraakt. Niet alleen in de mijn werd de waterstand verlaagd, ook daarboven zakte de grondwaterspiegel. Immers, door het drukverschil kon ondiep grondwater sneller de diepere ondergrond instromen.

Met het stijgen van het mijnwater zal zich een nieuw evenwicht instellen. Naar verwachting komt het grondwater dan weer terug op het niveau van voor de grootschalige steenkolenwinningen. Door de mijnbouw is de bodem echter gedaald: lokaal zijn zakkingen opgetreden tot wel 10 meter. Als het grondwater zich herstelt op zijn oude niveau, dan kan het zijn dat dit (veel) dichterbij maaiveld is dan voor aanvang van de steenkolenwinning. Er kan dan vernatting optreden, wat kan leiden tot bijvoorbeeld wateroverlast in kelders of ondergelopen weilanden.

Waar vindt het plaats?

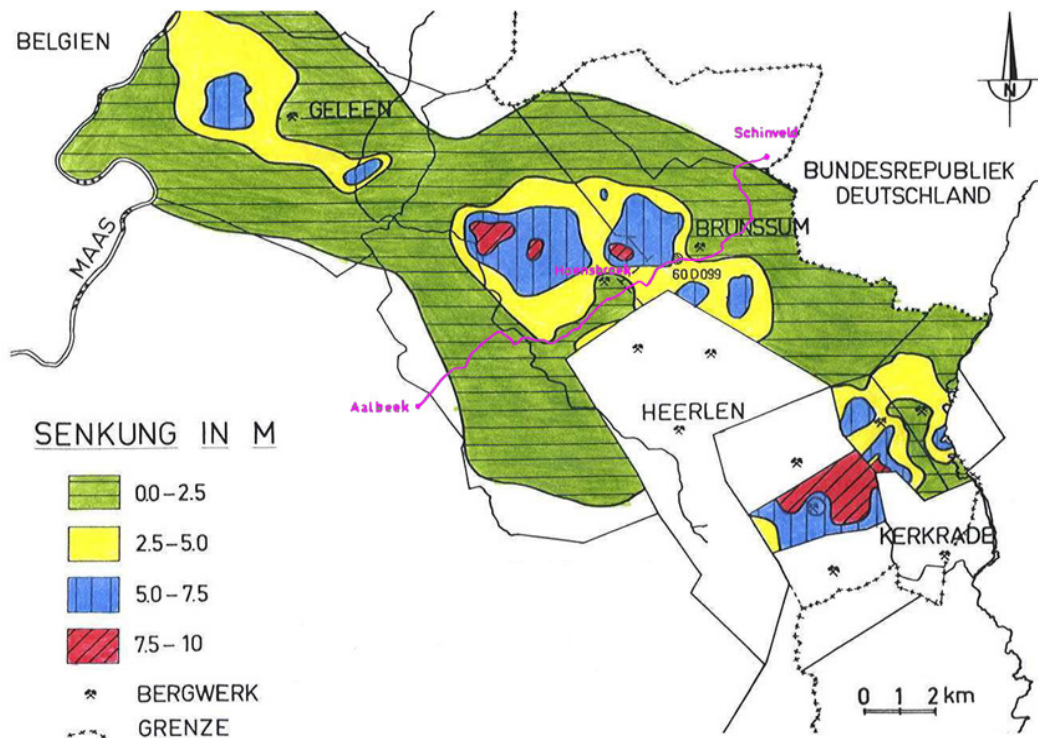
De kans op vernatting is het grootst in die gebieden waar tijdens de steenkolenwinning de grootste bodemdaling is opgetreden. Waar de bodemdaling het grootst was, zal de stijging van het grondwater immers relatief ook het grootst zijn. Voor de gebieden van de Staatsmijnen is in kaart gebracht hoe groot de bodemdaling ten gevolge van de winning was, zie Figuur 8. Voor de overige concessies bestaat er geen kaart met bodemdalingen.

Wat zijn de risico's?

Het lijkt raadzaam er rekening mee te houden dat door de voortgaande mijnwaterstijging op termijn ook de ondiepe grondwaterspiegel zal stijgen. Of hierdoor schade door vernatting zal ontstaan, is sterk afhankelijk van het grondgebruik: betreft het een natuurgebied, een weiland of een woonwijk? Op basis van de huidige gegevens lijkt er een grote kans te zijn op beperkte schade.

Wat zijn de knelpunten?

Het grootste knelpunt bij het inschatten van de omvang van vernatting is dat de door de mijnbouw opgetreden bodemdaling deels onbekend is. Dit blijkt ook uit de witte vlekken in Figuur 8.



Figuur 8: Bodemdaling door steenkolenwinning in de concessies van de Staatsmijnen [Pöttgens 1985].

4.6 Vrijkomen van mijngas

Wat is het probleem?

In steenkoollagen is gas ingesloten. Bij de winning van steenkool komt dit mijngas, voornamelijk methaan, vrij. Het vermengt zich met de lucht in openstaande gangen. Dit proces gaat ook na beëindiging van de afbouw door. Daarbij is het stijgend mijnwater de lucht in de nog openstaande mijnwerken aan het verdringen. Lucht en mijngas worden naar boven geduwd. Onder toenemende druk kunnen ze vrijkomen aan het maaiveld.

Mijngas is niet giftig, maar wel brandbaar. In bepaalde mengverhoudingen met zuurstof is het zelfs explosief. Gevaarlijk is mijngas dan ook met name als het zich ergens kan ophopen.

Ook mijnlucht zonder methaan kan gevaar opleveren. Door reacties met gesteenten en mijnwater kan gewone lucht in het ondergrondse mijngedouw op termijn zo van samenstelling veranderen dat vrijwel alleen het inerte stikstofgas overblijft. Dit is niet explosief of brandbaar, maar kan wel zuurstof verdringen. Als het plotseling vrijkomt of zich kan ophopen, is er gevaar voor verlies van bewustzijn en voor verstikking.

Waar vindt het plaats?

Mijnogas kan aan het maaiveld vrijkomen op plekken waar een verbinding bestaat tussen ondergrondse werken en bovengrond. Het meest aannemelijk is dit bij schachten. Het gaat hierbij zowel om historische als om moderne schachten. Gezien het grote aantal historische schachten, zie de in Paragraaf 4.2 gepresenteerde Figuur 5, speelt dit risico met name in Kerkrade.

Mogelijk kan gas ook vrijkomen bij breukzones. Hierover is nog weinig bekend.

Wat zijn de risico's?

Vrijkomend mijnogas vormt pas een gevaar als het zich kan ophopen. Dit gevaar bestaat met name als er over een schachtmond heen gebouwd is, zonder dat voorzien is in maatregelen als een mijngasdrainage of voldoende ventilatie. Vooral de historische schachten zijn een probleem: in gecontroleerde drainage is niet voorzien, hun locaties zijn onvoldoende bekend en ze kunnen zich bevinden in dichtbebouwd gebied. Zoals in Paragraaf 4.2 is aangegeven, heeft SodM daarom steeds geadviseerd om zowel bij historische als bij moderne schachten een veiligheidszone met een straal van 25 meter aan te houden. Binnen deze zone zou bebouwing niet zonder meer toegestaan moeten worden, maar dient, afhankelijk van aanleg en staat van de schacht, rekening gehouden te worden met zowel de kans op verzakkingen als het risico van vrijkomend mijnogas.

Het daadwerkelijke risico in Zuid-Limburg hangt daarnaast af van het potentieel aan mijnogas. Vermoedelijk is dit potentieel relatief laag. Op basis daarvan lijkt de kans op een explosie vrij klein. De gevolgen van een explosie kunnen echter groot zijn: naast schade is letsel van personen niet uit te sluiten. Voor een betere inschatting van het risico is nader onderzoek daarom noodzakelijk.

Wat zijn de knelpunten?

Uit het voorgaande blijkt al dat er twee knelpunten zijn die het beoordelen van de potentiële omvang van dit probleem bemoeilijken. Enerzijds is onduidelijk waar mijnogas kan uittreden: alleen bij schachten, of ook bij geologische of mijnbouwkundige breukzones? Anderzijds is op basis van het tot nu toe bekeken archiefmateriaal onvoldoende bekend om hoeveel mijnogas het zou kunnen gaan.

Daarnaast geldt ook hier, net als bij verzakkingen bij schachten (Paragraaf 4.2), dat onzekerheid over de exacte locaties van oude schachten zowel risico-inschatting als -beheersing zullen bemoeilijken.

4.7 Lichte aardbevingen

Wat is het probleem?

Rond 2000-2001 is in de omgeving van Voerendaal en Kunrade een zwerm aan lichte aardschokken gemeten, zie Figuur 9 [KNMI 2010]. Van de bevingen hadden er 22 een magnitude groter dan 1,5 op de schaal van Richter. De grootste gemeten magnitude was 3,9; deze veroorzaakte lichte schade. De haarddiepte van deze aardbevingen is door het KNMI bepaald op circa 5 km. De zwaardere bevingen ($M_L > 3$) zijn tot over 10 km afstand gevoeld.

Hoewel het KNMI een relatie met de voormalige steenkolenwinning onwaarschijnlijk noemt, vindt SodM het toch van belang lichte aardbevingen als een mogelijk na-ijlend gevolg op te nemen in deze inventarisatie. Ervaringen in het buitenland, zowel met stijgend water bij de aanleg van stuwdammen, als met waterinjectie bij geothermie en bij schaliegaswinning, laten namelijk zien dat drukverhoging en massaverandering in de buurt van breuken wel degelijk kleine bevingen kunnen triggeren. Stijgend mijnwater zou dit effect ook kunnen hebben.

Waar vindt het plaats?

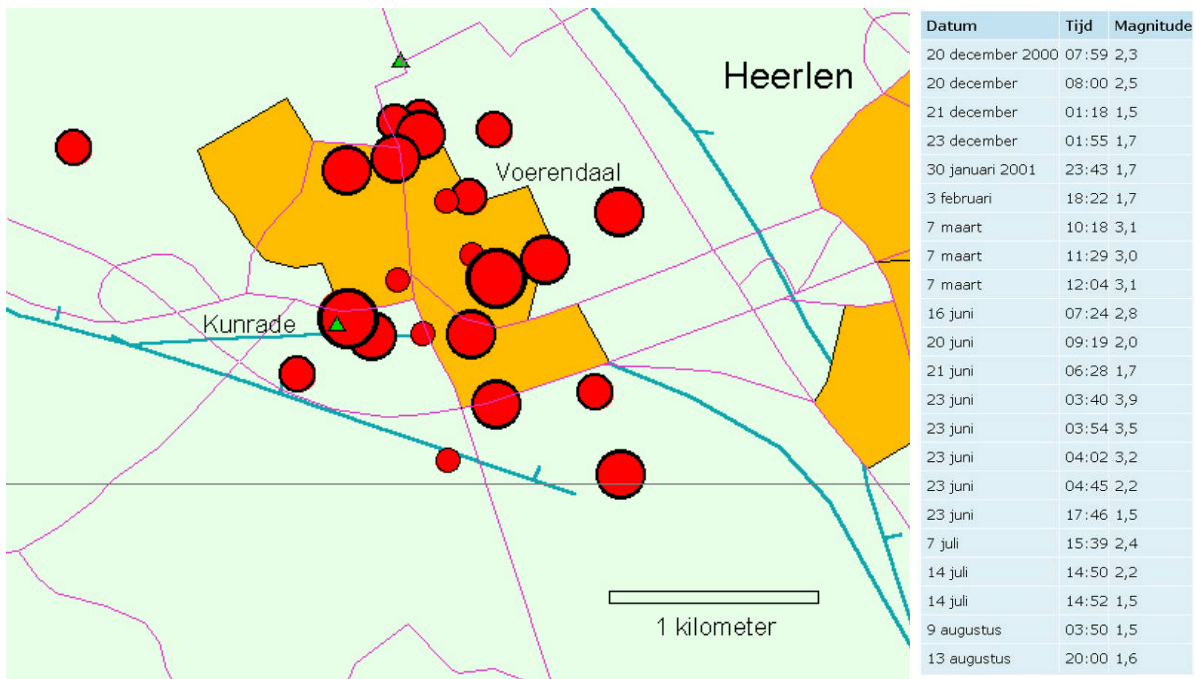
Aardschokken kunnen getriggerd worden bij natuurlijke, met name geologisch actieve breuken. In Zuid-Limburg komen zeer veel grote breuken voor. Met name de noordwest-zuidoost lopende Feldbiss, Heerlerheide- en Benzenradebreuk zijn bekend. Bij Voerendaal hebben zich al eerder, bijvoorbeeld in 1985 en 1930, lichte aardbevingen voorgedaan. Stijgend mijnwater zou meer van deze bevingen kunnen triggeren.

Wat zijn de risico's?

Het KNMI [2010] schat de intensiteit van de zwerm aardbevingen van 2000-2001 in het epicentrum op IV-V op de schaal van Mercalli. Dat betekent dat er lichte schade aan gebouwen kan optreden. De kans op letsel door bijvoorbeeld losgeraakte dakpannen of omvallende schoorstenen is aanwezig maar klein. Het risico van aardbevingen lijkt, op basis van de huidige informatie, klein.

Wat zijn de knelpunten?

Belangrijkste knelpunt is dat de mogelijke relatie tussen de gerapporteerde zwerm aardbevingen en het stijgend mijnwater nooit is onderzocht. Een studie is nodig om aan te geven in hoeverre stijgend mijnwater lichte aardbevingen kan triggeren, en wat daarvan de risico's zijn.



Figuur 9: Aardbevingen bij Voerendaal en Kunrade (2001) [KNMI 2010].

5 Niet-technische aspecten van de problematiek

Naast bovengenoemde technische aspecten zijn er enkele omstandigheden die de aanpak van de na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning kunnen bemoeilijken. Deze omstandigheden komen voor een groot deel voort uit het feit dat de actieve steenkolenwinning in Nederland inmiddels al bijna 40 jaar achter ons ligt. Dit heeft zowel praktische als juridische kanten. Ook kent deze zaak internationale aspecten.

5.1 Rol van Staatstoezicht op de Mijnen

Nazorg steenkolenwinning is niet geregeld in de Mijnbouwwet. Weliswaar is in het Mijnbouwbesluit vastgelegd dat mijnondernemingen verplicht zijn ook na beëindiging van delfstofwinning metingen te blijven doen, maar deze nazorgplicht eindigt na 30 jaar. Met het verstrijken van deze termijn vervalt voor SodM ook de mogelijkheid van toezicht. In Zuid-Limburg werd de laatste steenkool in 1974 gedolven. Dat betekent dat SodM op dit moment geen formele rol en ook geen bevoegdheden in de nazorg steenkolenwinning heeft.

5.2 Overige gesignaleerde problemen

Verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid overheden

De verantwoordelijkheden van de rijks- en lokale overheden inzake na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning zijn niet duidelijk. Dit geldt met name rond de thema's aansprakelijkheid, nalatigheid, preventie en risicomanagement. Een juridische analyse zou hier duidelijkheid in kunnen brengen.

Verjaring

Schade die een gevolg is van beweging van de bodem door mijnbouwactiviteiten verjaart in beginsel door verloop van 30 jaar na de gebeurtenis waardoor de schade is veroorzaakt. De interpretatie van het begrip 'verjaring' draait echter om de vraag wat als de schadeveroorzakende gebeurtenis beschouwd moet worden – deze bepaalt immers de ingang van de verjaringstermijn. Ook hier is een juridische analyse gewenst.

Gebrek aan vakennis en data

Doordat in Nederland al bijna 40 jaar geen actieve steenkolenwinning meer plaatsvindt, is ook de kennis ervan langzamerhand aan het uitsterven. Dit geldt zowel voor de overheid als voor commerciële partijen. Bij ingenieursbureaus in Nederland lijkt de specialistische kennis te ontbreken die nodig is om de mechanismen en risico's die samenhangen met de na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning op waarde te kunnen schatten.

Naast dit gebrek aan kennis is er ook een gebrek aan data. Er is veel archiefmateriaal beschikbaar, waaronder mijnkaarten, maar dit materiaal is niet optimaal ontsloten – tenminste niet met het oog op nazorg. Metingen zijn niet altijd voortgezet, en het is de vraag of met nieuwe metingen op de oude aangesloten kan worden. Voor een diepere analyse van de problematiek zal hier tijd in geïnvesteerd moeten worden.

5.3 Internationale aspecten

De Zuid-Limburgse mijnstreek loopt over in mijngebieden in België en Duitsland, waar de steenkolenwinning en de mijnwaterpompen in de jaren 1990 beëindigd zijn. Het stijgende mijnwater trekt zich niets aan van landsgrenzen. Ook de na-ijlende gevolgen van steenkolenwinning stoppen niet bij de grens. Zo laten satellietbeelden van de bodembeweging parallelen zien in het verloop van bodemstijging tussen het Zuid-Limburgse, het Belgisch-Kempense en het Duits-Akense mijngebied. Daarom is afstemming met de beide buurlanden nodig.

6 Conclusies en aanbevelingen

De voormalige steenkolenwinning in Zuid-Limburg heeft na-ijlende gevolgen. Naast materiële schade zijn veiligheidsrisico's niet uit te sluiten. Volgens SodM vraagt dit om een systematische aanpak van de nazorg steenkolenwinning. SodM acht daarvoor drie basisdocumenten essentieel:

- Een risico- of hazardkaart, die voor elk van de na-ijlende gevolgen toont waar deze in het onderzoeksgebied gedurende de komende 40 jaar een risico vormt;
- Een plan voor monitoring waarmee het optreden van na-ijlende gevolgen bijgehouden kan worden; en
- Een menukaart van concrete, preventieve en mitigerende maatregelen, inclusief overzicht van baten en lasten.

Om deze documenten op te kunnen stellen is nader onderzoek nodig. Vervolgstappen dienen zowel gericht te zijn op het verminderen van de risico's die de voormalige steenkolenwinning en het stijgend mijnwater met zich mee kunnen brengen, als op mogelijkheden om deze risico's beheersbaar te houden. Gezien de nog verwachte mijnwaterstijging is het raadzaam dit nader onderzoek te richten op mogelijke risico's in de komende 40 jaar. Daarnaast lijkt het verstandig om de praktische, juridische en bestuurlijke randvoorwaarden van de nazorg steenkolenwinning vast te stellen.

Om maximale veiligheid tegen minimale kosten mogelijk te maken, adviseert SodM de nazorg van steenkolenwinning op te zetten in een samenwerkingsverband van lokale overheden, SodM en EZ. Onder lokale overheden wordt daarbij in ieder geval verstaan de provincie Limburg, de gemeenten in de Limburgse mijnstreek (Beek, Brunssum, Heerlen, Kerkrade, Landgraaf, Nuth, Onderbanken, Schinnen, Simpelveld, Sittard-Geleen, Stein, Voerendaal), het waterschap Roer en Overmaas en de veiligheidsregio Zuid-Limburg.

Bronvermelding

- BAGLIKOW, V. (2010). Schadensrelevante Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Erkelenzer Steinkohlenrevier. Dissertatie, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- CARO CUENCA, M. (2013). Bodembeweging in Zuid-Limburg, gemeten met PS-InSAR voor de perioden augustus 1992 tot december 2000 en januari 2004 tot oktober 2009. Afbeeldingen in opdracht van Staatstoezicht op de Mijnen.
- CARO CUENCA, M., HOOPER, A.J. & HANSSEN, R.F. (2013). Surface deformation induced by water influx in the abandoned coal mines in Limburg, the Netherlands, observed by satellite radar interferometry. In: Journal of Applied Geophysics 88, p.1-11.
- GEMEENTE KERKRADE (2008). Schachten Kerkrade. Tekening A1 formaat, 01-04-2008.
- INGENIEURBÜRO HEITFELD-SCHETELIG GMBH (2007). Bericht zu den möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Südlimburger Steinkohlenrevier – Vorstudie im Auftrag des Ministerie van Economische Zaken Nederlande (Auftragsnummer 1-4663). Aachen.
- KNMI (2010). Nader verklaard: Aardbevingen bij Voerendaal en Kunrade (2001). http://www.knmi.nl/cms/content/32658/aardbevingen_bij_voerendaal_en_kunrade_2001.
- NEUMANN, H.R., HOGREBE, P., HOPPE, U. & ROTTER, J. (2011). Umsetzung des Risikomanagements für tagesbruchgefährdende Hinterlassenschaften des Bergbaus bei der Bergbehörde in NRW. In: 11. Altbergbau-Kolloquium, 3-5 November 2011, Wrocław, p. 140-154.
- OBERSTE-BRINK, K. (1940). Die Frage der Hebungen bei Bodenbewegungen infolge Bergbaues. In: Glück-auf 76(18), p. 249-256.
- PÖTTGENS, J.J.E. (1985). Bodenhebung durch ansteigendes Grubenwasser. In: The developing science and art of minerals surveying, proceedings VIth International Congress for Mine Surveying, Harrogate, p. 928-938.
- PROVINCIE LIMBURG (1998). Het mijnwater, stand van zaken voorjaar 1998. Samenstelling: Van Rooijen Adviezen, Staatstoezicht op de Mijnen, Provincie Limburg, Maastricht.
- ROSNER, P. (2011). Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier – eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge. Dissertatie, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- TNO NEDERLANDS INSTITUUT VOOR TOEGEPASTE GEOWETENSCHAPPEN (2005). “Vlekken” en topografie. Tekening A3 formaat. In opdracht van Staatstoezicht op de Mijnen, 21 maart 2005.
- WINGS, R.W.M.G., MISERÉ, W.M.H. & PÖTTGENS, J.J.E. (2004). Bodensenkung – Bodenhebung – Bergschäden? In: 44e Wissenschaftliche Fachtagung des Deutschen Markscheider-Verein e.V., 15-18 September 2004, Bochum.

Afkortingen

DE	Duitsland
EZ	ministerie van Economische Zaken
IHS	Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
M _L	magnitude van een aardbeving uitgedrukt op de schaal van Richter
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NHN	<i>Normalhöhennull</i> , de referentiehoogte waaraan hoogtemetingen in Duitsland worden gerelateerd
NRW	Nordrhein-Westfalen
PS-InSAR	<i>Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar</i> , satelliet radar interferometrie
RHCL	Regionaal Historisch Centrum Limburg
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
Tcbb	Technische commissie bodembeweging

Contactgegevens

Staatstoezicht op de Mijnen

Henri Faasdreef 312

Postbus 24037, 2490 AA Den Haag

Tel. 070-3798400

Fax 070-3798455

Email: sodm@minez.nl

Website: www.sodm.nl

Bij spoedgevallen 24 uur per dag bereikbaar via:

SodM/Eerste geconsigneerde (31(0)6-533 88 722)



‘het zeker stellen
dat de mijnbouw
en het transport van gas
op een maatschappelijk
verantwoorde wijze
worden uitgevoerd’