

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)



in opdracht van

Ministerie van Economische Zaken - Nederland

Aachen (D) / Deventer (NL), 14. December 2016

Samenvatting

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, langzaam 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 aangevolen 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 daarboven 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 stijggende 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 daarbovenliggende 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 grondwaerkwaliteit 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 onderscheiden 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 aangevonden 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 ontmijnde 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. Darvan 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 locaties te saneren. Het wordt wel aanbevolen om nader onderzoek te doen naar de werkelijke risico's in deze locaties, o.a. door middel van een pilotonderzoek.

Aanbevolen wordt om op deze locaties 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.

1 Doel van het onderzoek

Het ministerie van Economische Zaken (EZ) van Nederland is in 2014 gestart met een onderzoek naar de „Na-ijlende gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg”. De hoofdvraag die beantwoord diende te worden was als volgt: *„Hoe kunnen risico’s van de mogelijke na-ijlende gevolgen van de voormalige steenkolenwinning in Zuid-Limburg gedurende de komende 40 jaar zo optimaal mogelijk voorkomen, verminderd of beheersbaar gehouden worden?”*

Door middel van een Europese aanbesteding is de opdracht voor het onderzoek aan een Duits-Nederlandse consortium van onderzoeksinstituten, ingenieursbureaus en specialisten gegund (projectgroep “na-ijlende gevolgen van de steenkolenwinning in Zuid-Limburg - „projectgroep GS-ZL“).

Het voorliggende uittreksel bevat een overzicht van de projectresultaten. Het vat daarnaast aanbevelingen samen, die het consortium heeft gedaan, om de toekomstige effecten van de voormalige steenkolenwinning en het stijgend mijnwater in Zuid-Limburg te beheersen.

2 Projectstructuur en procedure

Het onderzoek heeft zich gericht op risico’s die samenhangen met:

- Bodembeweging
- Grondwaterkwantiteit en – kwaliteit
- Oude mijnschachten
- Ondiepe mijnbouwwinning
- Kleine aardbevingen
- Mijngas

verschillende risico's en mogelijke gevolgen van voormalige steenkoolwinning, die mogelijk in de toekomst kunnen optreden of al opgetreden zijn. De rapporten zijn samengevat in een 'samenvattingsrapport' (zie 'documentatie'). In dit rapport is op basis van een integrale risicoanalyse een maatregelen- en monitoringsplan opgesteld.

3 Introductie

In Zuid-Limburg is steenkool gewonnen in een gebied van ca. 230 km², gelegen tussen het Duitse steenkolengebied bij Kerkrade/Herzogenrath in het zuidoosten en de Belgische grens langs de Maas bij Geleen in het noordwesten (figuur 2).

De eerste steenkolenwinning vond in Nederland plaats in de 12^e eeuw toen vlakbij het Worm al bij Kerkrade waar steenkool aan de oppervlakte voorkwam. Tijdens de industrialisatie in de 19^e eeuw breidde de steenkoolwinning zich in noordwestelijke richting uit, tot aan de Maas, waar de steenkolenhoudende lagen op grotere diepte onder een dikke deklaag liggen. Tussen 1967 en 1974 werden de mijnen in Zuid-Limburg gesloten. Dit markeerde het einde van een productieve en winstgevende periode van 150 jaar voor de mijnindustrie. Met het achtereenvolgens sluiten van de mijnen werd het wegpompen van het mijnwater ook 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 tot 1994 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.

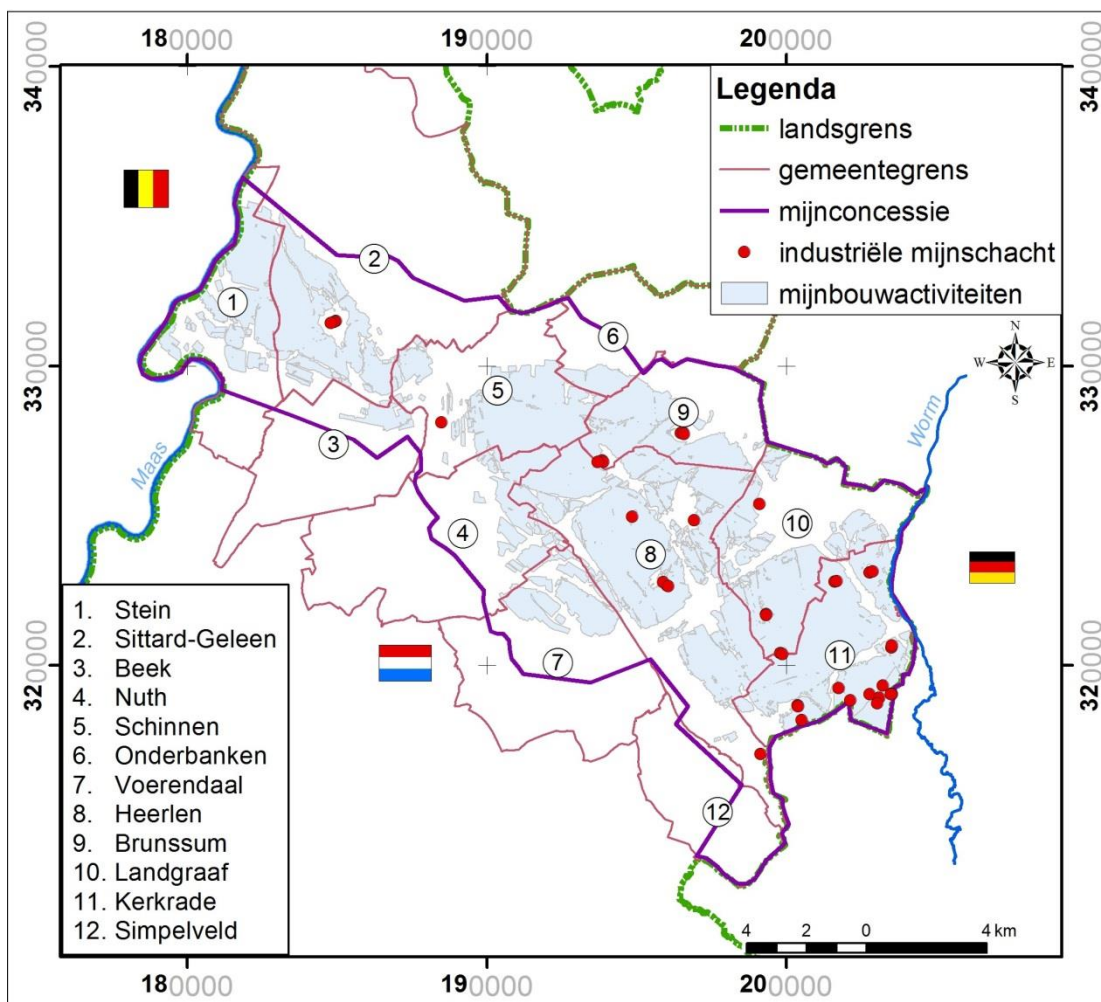


Fig. 2: Kaart van het Zuid-Limburgse mijngebied met gemeentegrenzen

Op dit moment zijn de steenkolenmijnen in het noordwesten en in het centrale deel van Zuid-Limburg volledig volgelopen (figuur 3). In deze gebieden heeft het mijnwater het niveau van de deklaag bereikt. In delen van het zuidwestelijke mijngebied liggen de mijnen nog steeds boven het mijnwaterniveau.

In de toekomst is een verdere stijging van het mijnwater van ongeveer 40 m te verwachten. Hierdoor wordt ter plaatse van het mijngebied Domaniale een eindniveau van ongeveer NAP +80,0 m van het mijnwater verwacht. Dit betekent

dat het mijnwater niet aan de oppervlakte zal komen, aangezien de rivier de Worm, die daar laag in het landschap ligt, zich op een niveau van ca (NAP +110,0 m) bevindt. Naar schatting duurt het minimaal 20 jaar voordat een evenwichtssituatie is bereikt. Het bereiken van dit niveau houdt in dat in enkele gebieden ten zuidoosten van Kerkrade de hoogst gelegen historische mijnen niet zullen overstroomen (figuur 3).

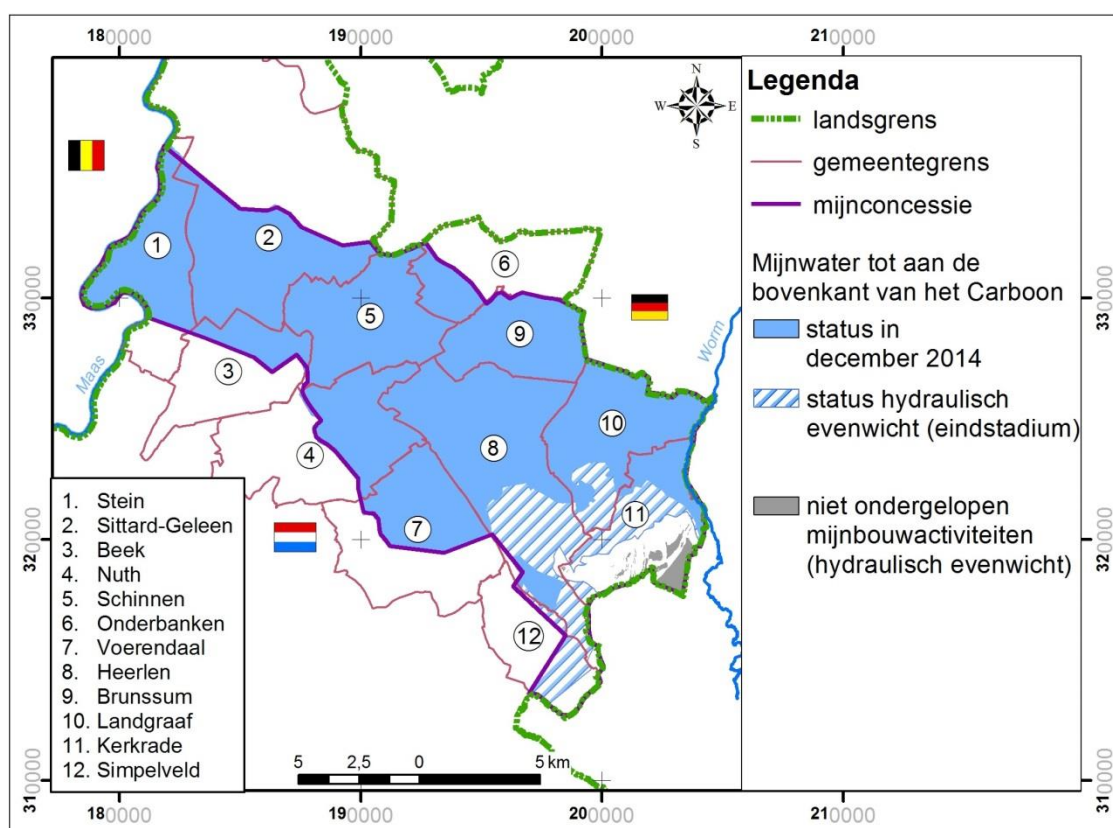


Fig. 3: Ondergelopen gebieden in de Nederlandse mijnen (2014) en prognose voor het hydraulisch evenwicht

4 Uitgangspunten van de risicobeoordeling

De mijnactiviteiten zijn jaren geleden gestopt en in het algemeen niet meer openlijk in het landschap waarneembaar. Desondanks kunnen gevolgen van de mijnbouw en de stijging van het mijnwater een risico vormen voor mensen,

gebouwen en natuurlijk beschermde objecten zoals grondwatervoorraden of natuurreservaten, vandaag en in de toekomst.

Enkele gevolgen zijn onafhankelijk van de tijd of van de invloed van het stijgend mijnwater. Dit betreft bijvoorbeeld verdwijngaten ('sinkholes'), verzakkingen boven oude mijnschachten of oppervlakkige mijnbouwactiviteiten. Andere gevolgen zoals bodemstijgingen en het veranderen van de kwaliteit van het grondwater worden direct door het stijgen van het mijnwater veroorzaakt. Sommige van deze risico's worden kleiner of verdwijnen zodra het mijnwater het hydraulisch evenwicht heeft bereikt.

Hoe ernstig risico's worden beoordeeld, hangt af van de kans dat een ongewenste gebeurtenis optreedt en de mogelijke gevolgen. Deels is deze af te leiden uit een studie van reeds opgetreden schade en deels op basis van monitoring, veld- of empirisch onderzoek en theoretisch onderzoek. In overeenstemming met de in Duitse mijngebieden toegepaste methodiek is een classificatie met 3 categorieën gebruikt om de kans dat een ongewenste gebeurtenis zich optreedt (bv schade of overlast) te beschrijven.

Gevolgen categorie	Kans voor het optreden van een ongewenste gebeurtenis
EK 1 - „rode zone“	hoog
EK 2 - „gele zone“	gemiddeld
EK 3 - „blauwe zone“	laag

Voor oude mijnschachten en oppervlakkige mijnbouwactiviteiten is een vierde categorie gedefinieerd voor de reeds gesaneerde locaties (gevolgen categorie EK 4 – “groene zone”).

5 Na-ijl effecten als gevolg van de stijging van het mijnwater

5.1 Bodemstijging

Na het verlaten van de steenkolenmijnen in Zuid-Limburg zijn als gevolg van het stijgend mijnwater significante bodemstijgingen waargenomen. Een overzicht van de gemeten bodembeweging in het Zuid-Limburgse mijnengebied sinds 1974 is in figuur 4 opgenomen.

De mate van bodemstijging hangt af van de dikte van de steenkoolwinning en de stijging van het mijnwater. De centra van bodemstijging liggen in de gebieden waar op grote schaal mijnbouw heeft plaatsgevonden in de concessies Maurits, Emma, Hendrik en Oranje Nassau III, IV, steenkolenmijnen in Sittard-Geleen, Stein en Brunssum. In deze gebieden zijn tot nu toe bodemstijgingen van maximaal 300 tot 350 mm opgetreden (bodemstijgingsgebieden 1 en 2 in figuur 4). In de Julia-concessie in de omgeving van Eyselshoven zijn ook aanzienlijke bodemstijgingen van 150 tot 200 mm gemeten (gebied 3 in figuur 4). In de zuidoostelijke steenkolenmijnen van Zuid-Limburg - Wilhelmina, Willem Sophia en Domaniale – in de omgeving van Kerkrade – zijn kleinere bodemstijgingen van 100 tot 150 mm opgetreden.

Aangezien de stijging van het mijnwater nog verder gaat zijn nog verdere bodemstijgingen te verwachten. Daarom dient de volgende vraag beantwoord te worden: Welke effecten kunnen als gevolg van bodemstijging en de invloed hiervan op het maaiveld in de toekomst verwacht worden?

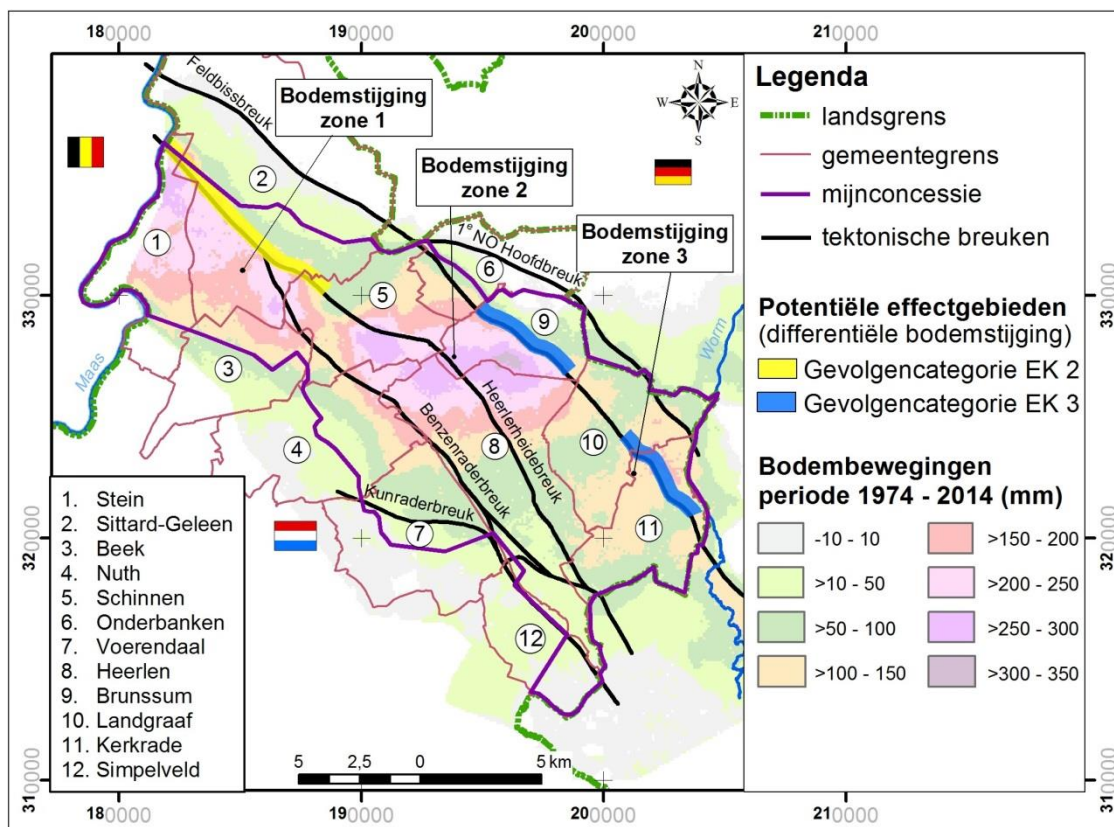


Fig. 4: Bodemhoogteveranderingen in het Zuid-Limburgse mijnengebied voor de periode 1974 – 2014 en mogelijke invloed gebieden als gevolg van verschillen in bodemstijging

In het algemeen leidt een gelijkmatige bodemstijging over een groot gebied niet tot schade. Het zijn de gebieden waar bodemstijging ongelijkmatig, met grote hoogteverschillen en plotseling, stapsgewijs optreedt (discontinuïteiten). Uit vergelijkbare onderzoeken naar bodemstijging als gevolg van stijgend mijnwater is gebleken dat dergelijke zones alleen optreden langs de grenzen van ontmijnde gebieden bij tektonische (hoofd)breukzones.

In het onderzoeksgebied zijn drie potentiële invloed gebieden gedefinieerd, namelijk langs de Heerlerheidebreuk bij Geleen (gevolgencategorie EK 2 – gele zone) en langs de Feldbissbreuk in de omgeving van Brunssum en Eyselshoven (gevolgencategorie EK 3 – blauwe zone). Deze gebieden zijn aangemerkt als

gebieden waar de ontwikkeling van significante ongelijkmatige bodemstijging als gevolg van het stijgend mijnwater in de toekomst niet kan worden uitgesloten (figuur 4).

Belangrijkste resultaten: mogelijke gevolgen op het maaiveld als gevolg van differentiële bodemstijging door stijgend mijnwater zijn begrensd tot drie potentiële invloed gebieden langs de Heerlerheidebreuk in Geleen en de Feldbissbreuk in Brunssum en Eygelshoven. Het risico op schade als gevolg van de resterende stijging van het mijnwater is relatief laag, zelfs in deze gebieden. Kleine gevallen van schade aan standaard gebouwen of infrastructuur kunnen momenteel echter niet uitgesloten worden. Grote schadegevallen zoals constructieve totaalschades van gebouwen worden niet verwacht. Het risico voor bijzondere gebouwen of gevoelige infrastructuur met speciale eisen aan stabiliteit is door de werkgroepen niet onderzocht.

Afgezien van deze drie gebieden zijn in de toekomst geen schadegevallen als gevolg van bodemstijging van het maaiveld te verwachten.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: In de drie mogelijke invloedgebieden dient rekening gehouden te worden met mogelijke gevolgen op maaiveldniveau indien er sprake is van planvorming voor nieuwe bebouwing.

Geadviseerd wordt gevoelige infrastructuur te inventariseren. Ook wordt geadviseerd om regionale bodemstijging door middel van satellietdata (INSAR) te monitoren. Daarnaast zouden in de drie invloed gebieden impactgebieden een monitoring moeten worden uitgevoerd. Om het mogelijke risico beter te onderzoeken is bij de Heerlerheidebreuk in Geleen een pilotproject voorzien.

5.2 Mogelijke gevolgen voor grondwater

Het ontwateren van actieve mijnen heeft geleid tot een verlaging van het grondwaterniveau in de watervoerende lagen in het dekterrein. Door het stijgen van het mijnwater wordt dit effect gedeeltelijk teniet gedaan. Mijnwater kan lokaal in de grondwaterlichamen van het dekterrein infiltreren.

Effecten die –in theorie kunnen optreden zijn- het ontstaan van natschade aan het maaiveld en verandering van de grondwaterkwaliteit als gevolg van een opwaartse stroom van mijnwater. Dit kan gevolgen hebben voor de daar aanwezige grondwateronttrekkingen.

Voor het bepalen van de risico's was belangrijk te weten hoe hoog het mijnwater zal stijgen (hydrologisch evenwicht), of het stijgend mijnwater in het dekterrein zal infiltreren en in welke mate dit de grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit in het dekterrein zal beïnvloeden. Om deze vragen te beantwoorden is de toekomstige situatie van het grondwater en het mijnwater berekend met behulp van computermodellen. Op basis van deze berekeningen is een gebied gedefinieerd waar op termijn mogelijk opwaartse stroming van mijnwater kan plaatsvinden (figuur 5). Dit potentiële invloed gebied is gelegen in de omgeving van Nuth, Schinnen, Onderbanken, Brunssum en Heerlen (figuur 6). Voor dit gebied is de potentiële verandering van de kwaliteit van het grondwater berekend met behulp van Hydro chemische computer modellen. De berekeningen laten zien dat vooral in het gebied tussen de Benzenradebreuk en de Heerlerheidebreuk een toename van het chloride- en sulfaatgehalte kan worden verwacht. Grondwateronttrekkingen uit de kalksteenafzettingen worden mogelijk beïnvloed. De berekende toename van chloride- en sulfaatgehalten is echter relatief laag en het duurt tientallen jaren voordat het effect optreedt.

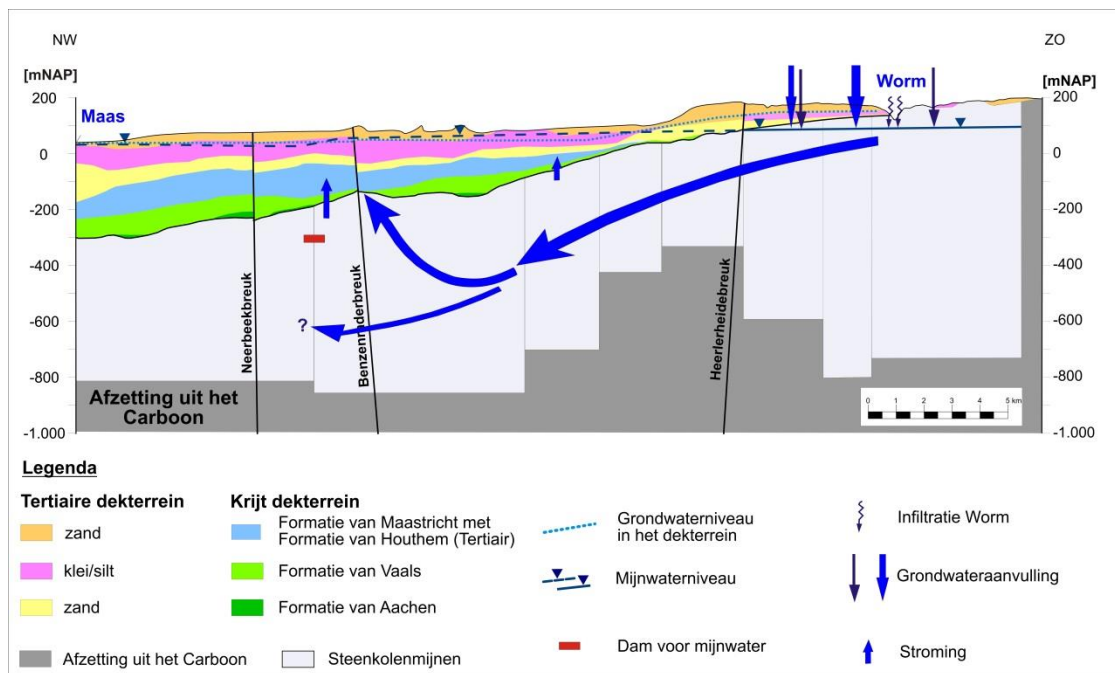


Fig. 5: Schematische weergave van de eindsituatie van het grond- en mijnwatersysteem (gemiddeld scenario)

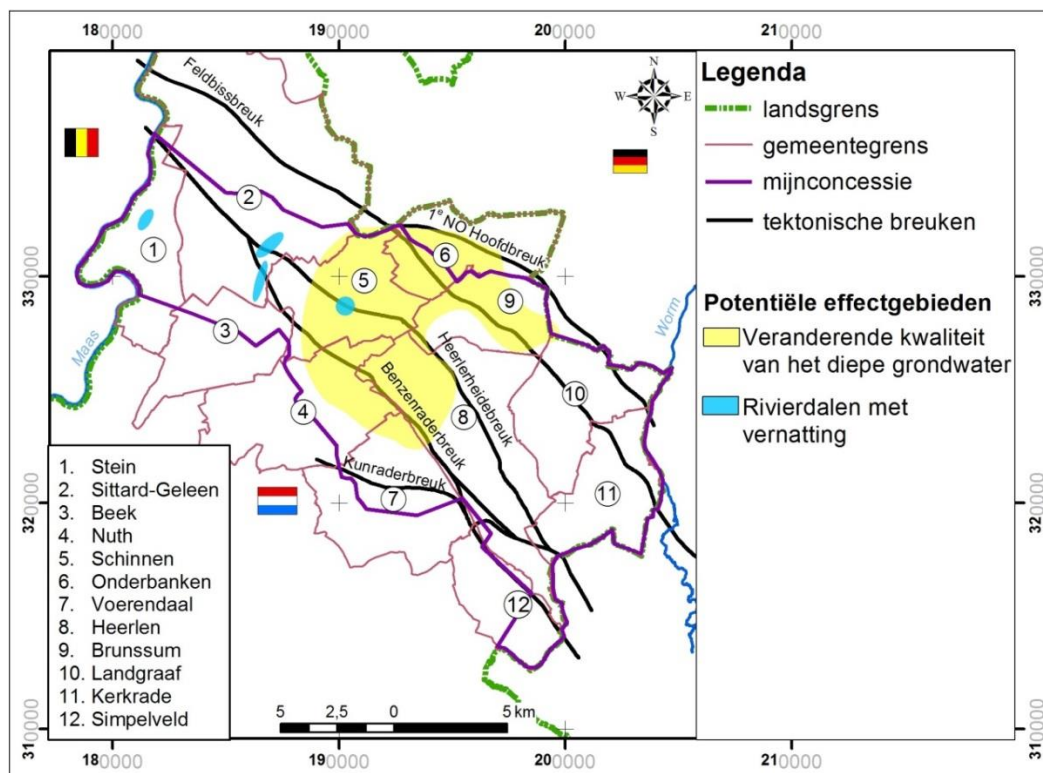


Fig. 6: Potentiële impactgebieden met verandering van grondwaterkwaliteit of vernatting als gevolg van het stijgend mijnwater (gemiddeld scenario)

Gebieden met hoge grondwaterstanden van minder dan 3,5 m beneden maaiveld zijn voor wat betreft potentiële vernatting het meest kwetsbaar. Dergelijke gebieden zijn met name in rivierdalen gelegen, zowel kleine rivierdalen zoals het Geleenbeekdal als grote dalen zoals het Maasdal. In deze gebieden kan een stijging van de grondwaterstanden het vernatten van kelders, veranderingen voor de landbouw (zowel positief als negatief) of schade aan natuur veroorzaken. Vaak zijn natuurgebieden in rivierdalen gelegen; veranderingen in de grondwatersituatie kan de bestaande vegetatie beïnvloeden.

De hydrologische berekeningen laten zien dat in het meest waarschijnlijke scenario zeer lokaal vernatting in het Geleenbeekdal bij Geleen en Schinnen en lokaal bij de Maas kan optreden. Het risico op schade als gevolg van deze vernatting wordt als laag beschouwd.

Belangrijkste resultaten: De verandering van grondwaterkwaliteit als gevolg van het stijgend mijnwater zou grondwateronttrekkingen uit het kalksteengebied tussen de Benzenradebreuk en de Heerlerheidebreuk kunnen beïnvloeden. Het mogelijk effect is echter beperkt en het duurt decennia voordat het kan optreden. Vernatting aan maaiveld kan niet worden uitgesloten, vooral bij de Geleenbeek in Geleen en Schinnen. Schade aan bebouwing, natuur of landbouw wordt niet verwacht. Een basaal belangrijke zaak van de prognose is het gebrek aan uitgangsddata; dit leidt tot grote onzekerheden.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: De voorspellingen dienen te worden geïnterpreteerd met behulp van voldoende gegevens zowel over het mijnwater en grondwaterstanden als de waterkwaliteit. Dit is een belangrijk punt voor het beheersen van de bedreigingen welke worden veroorzaakt door het stijgend mijnwater. Daarom wordt geadviseerd een adequaat grondwatermonitoringssysteem te installeren voor het monitoren van zowel de grondwaterstanden als de grondwaterkwaliteit in de verschillende

grondwaterlagen. Nieuwe peilbuizen dienen te worden geplaatst. Met een betrouwbaar grondwatermodel kunnen veranderingen in het hydrologisch systeem op tijd genoeg worden geïdentificeerd en kunnen maatregelen zoals het aanpassen van grondwateronttrekkingen op tijd genomen worden.

5.3 Risico's door mijngas

Steenkoollagen bevatten meerdere gasbestanddelen die door mijnbouwactiviteiten vrij kunnen komen. Vluchtig methaan (mijngas) zoekt zijn weg door de schachten en kan de lucht in de mijn veranderen in een lucht-mijngas-mengsel. Na het sluiten van de mijnen zijn resten van het mijngas in het mijngebouw achtergebleven. Als methaan oxideert ontstaat koolstofdioxide (CO_2) en daardoor kan de zuurstofconcentratie in de lucht lager worden.

Het vrijkomen van mijngas treedt alleen op in delen van de mijn die nog niet zijn ondergelopen met mijnwater. Door de vergevorderde staat van het stijgend mijnwater zijn in grote delen van Zuid-Limburg de mijnen al onderlopen met water. Hierdoor komt het mijngas in deze gebieden niet meer vrij. Momenteel bestaat het risico op ontgassen alleen in het zuidoostelijk deel van het mijngebied waar het huidige niveau van het mijnwater nog niet het dekterrein heeft bereikt. Hier bevinden zich nog steeds steenkoollagen en mijngangen boven het mijnwaterniveau (figuur 3).

Met de toenemende stijging van het mijnwater neemt het gebied waar ontgassing plaatsvindt af. Ontgassing wordt echter voor onbepaalde tijd mogelijk geacht in het hele historisch mijngebied in Kerkrade aangezien het mijnwater conform de berekeningen met het grondwatermodel het niveau van deze historische mijnactiviteiten niet zal bereiken (zie figuur 3).

Ontgassen vormt alleen een probleem aan maaiveld als er verbindingen zijn tussen de vroegere mijnbouwactiviteiten en het maaiveld. In deze optiek zijn verlaten mijnschachten belangrijk aangezien zij een preferente stroombaan voor de verspreiding van mijngas vormen. Andere preferente stroombanen kunnen worden gevormd door het ontstaan van nieuwe verdwijngaten, drempels of door boringen.

Het risico van de ontgassing hangt van de samenstelling van het mijngas af. Vooral kritische methaanconcentraties kunnen tot explosies leiden. Voor het zuidoostelijk deel van Zuid-Limburg (Kerkrade) is echter aangetoond dat alleen onschadelijke methaanconcentraties in mijngas voorkomen. Toch zijn verhoogde concentraties van koolstofdioxide (CO_2), vergezeld met lagere zuurstofconcentraties aangetroffen welke in sommige gevallen schadelijk kunnen zijn voor de mens (gevaar voor verstikking).

Het grootste risico is als mijngas in (kelders van) gebouwen komt. Mijngas kan zich door scheuren en spleten in de muren van een gebouw voortbewegen. Vooral de omgevingen van oude schachten worden als zones voor ontgassing beschouwd ('beschermingszone voor uittredend mijngas').

Belangrijkste resultaten: ontgassing zal in de toekomst alleen optreden in een beperkt gebied in het zuidoostelijk deel van Zuid-Limburg (hoofdzakelijk Kerkrade) waar de mijnen nog niet volledig ondergelopen zijn en waar dit ook in de toekomst niet zal gebeuren. In dit gebied worden geen explosieve methaanconcentraties verwacht maar kunnen hogere concentraties van koolstofdioxide (CO_2) en lagere zuurstofconcentraties (O_2) optreden. Indien het mijngas in een gebouw wordt opgesloten bestaat het risico voor stikken voor de mens.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: Er wordt aanbevolen een lijst op te stellen van bestaande gebouwen binnen de beschermingszones voor uittredend mijngas van oude schachten. Deze lijst dient als basis voor de installatie van een regulier gasmonitoringsprogramma. Bestaande riolen binnen dit beperkt gebied moeten worden gemonitord door middel van draagbare meetinstrumenten en kunnen worden geïntegreerd in een monitoringssysteem indien alarmerende concentraties worden aangetroffen.

Voor nieuwbouwprojecten binnen de beschermingszones voor uittredend mijngas nabij relevante schachten moeten veiligheidsmaatregelen worden toegepast. Bij het zetten van boringen in de diepe ondergrond dient ook rekening gehouden te worden met het aantreffen van mijngas.

5.4 Kleine aardbevingen

Het Zuid-Limburgse mijnengebied wordt gekenmerkt door natuurlijke seismische activiteit.

Twee clusters van aardbevingen zijn na het sluiten van de mijnen in de omgeving van Voerendaal opgetreden, een kleiner cluster rond 1985-1986 en een groter cluster rond 2000-2002, ook bekend als het Voerendaal-cluster. Deze clusters lijken gekoppeld te zijn aan een grote tektonische breuk aan de zuidwestelijke grens van het mijngebied (Kunraderbreuk). De grootste aardbeving van het tweede cluster (M_L 3,9 op 23-06-2001) heeft geleid tot schade aan huizen en gebouw maar er zijn geen slachtoffers gevallen.

De uitkomst van het onderzoek is er twee mechanismen zijn (beweging van breuken en een toename van massa als gevolg van het stijgend mijnwater) die theoretisch het optreden van twee clusters van aardbevingen in de omgeving van

Voerendaal kunnen verklaren. De plotselinge verandering in de ondergrond door de in twee fases snel stijgend mijnwater in de jaren '70 en de jaren '90 wordt als een potentiële veroorzaker beschouwd. Desondanks zijn er geen duidelijke indicaties voor een significant verband tussen het stijgend mijnwater en het optreden van de aardbeving clusters in Voerendaal.

Omdat resterende mijnwaterstijging relatief gering is ten opzichte van de reeds opgetreden stijging is het risico voor het optreden van –door mijnwaterstijging-opgewerkte kleine aardbevingen gering.

Belangrijkste resultaten:

Afgeleide seismische activiteit als gevolg van het stijgend mijnwater is in de toekomst niet te verwachten en zelfs als het optreedt, zal het de bestaande seismische activiteit niet beïnvloeden.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: Aangezien het niet mogelijk is natuurlijke aardbevingen te voorkomen kunnen er geen maatregelen genomen worden. Mogelijke beheersmaatregelen komen samen met het omgaan met reeds bestaande seismische risico in Zuid-Limburg. Het natuurlijke bestaande seismische risico dient te worden meegenomen in de constructie van gebouwen en infrastructuur (Eurocode 8).

6 Na-ijl effecten onafhankelijk van het stijgend mijnwater

6.1 Historische schachten

De historische schachten stammen uit de pre-industriële, soms middeleeuwse tijd. De documentatie over deze schachten is slecht en de locaties zijn alleen met

grote onzekerheden bekend. In het kader van dit project zijn 59 historische schachten geïdentificeerd in de omgeving van Kerkrade (figuur 7).

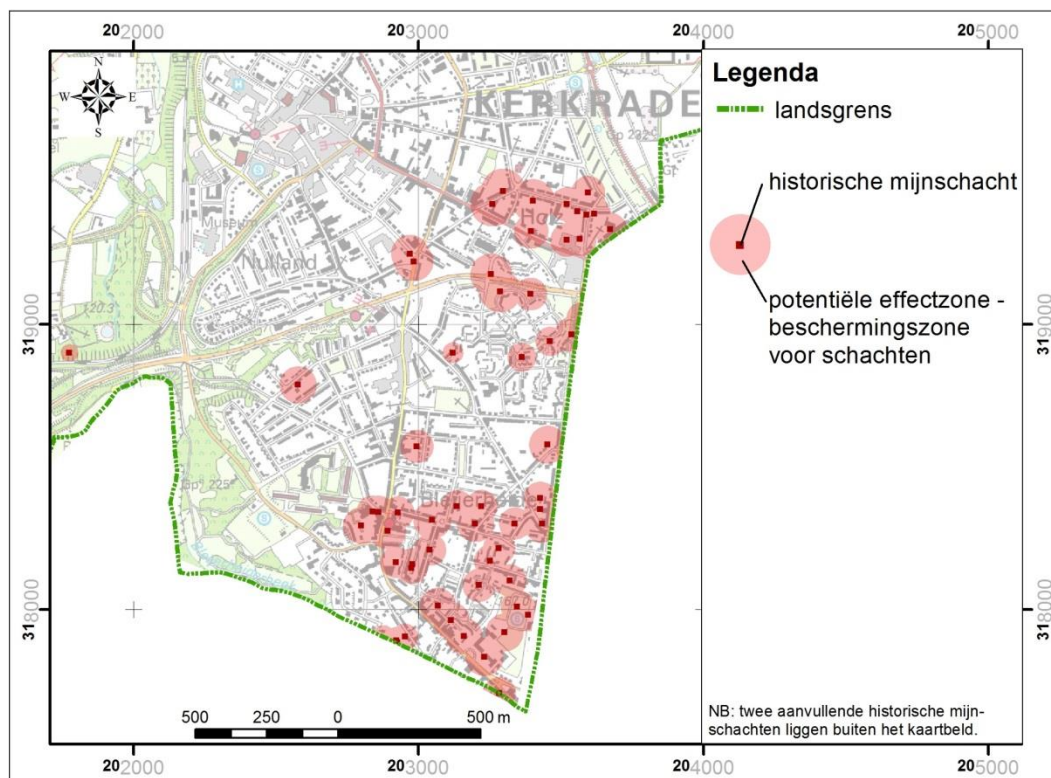


Fig. 7: “Historische mijnschachten” in de omgeving van Kerkrade

Als basis voor de risicobeoordeling zijn beschermingszones voor schachten toegekend, in overeenstemming met de procedure zoals deze voor de Noordrhein-Westfaalse mijngebieden is gehanteerd. Deze beschermingszones omvatten het gebied rondom een schacht waar mogelijke schade kan ontstaan door het instorten van een schacht. Bij het bepalen van de beschermingszone zijn de dimensies van de schacht, een veiligheidsmarge, de grootte van de verwachte instortingstrechter in het dekterrein en de nauwkeurigheid van de locatie meegenomen.

De beschermingszones van de in Kerkrade geïdentificeerde historische schachten hebben een diameter tussen 60 en 80 m, hierbij rekening houdend met een locatieon nauwkeurigheid van 10 tot 30 m.

Ter plaatse van deze historische schachten kunnen te allen tijde verdwijngaten ontstaan. Het risico hierop neemt met de tijd toe als gevolg van verval en erosieprocessen in de schacht zelf.

De mogelijke effecten variëren voor de verschillende schachten en zijn afhankelijk van het huidige landgebruik. In het kader van de risicobeoordeling zijn de historische schachten geclassificeerd in drie categorieën met afnemende kwetsbaarheid op het gebied van ‘zaken die bescherming verdienen of moeten hebben’:

- Categorie 1: Schachten in gebieden met ‘zaken die veel bescherming verdienen of moeten hebben’ – onder bebouwing of heel dichtbij bebouwing (32 schachten).
- Categorie 2: Schachten in gebieden met ‘zaken die medium bescherming verdienen of moeten hebben’ – nabij gebouwen, in tuinen of op straat, etc. (24 schachten).
- Categorie 3: Schachten in gebieden met ‘zaken die weinig bescherming verdienen of nodig hebben’ – bossen, graslanden, etc. (3 schachten).

Deze classificatie is de basis voor de prioritering van aanvullende maatregelen.

Belangrijkste resultaten: In de omgeving van Kerkrade zijn 59 historische schachten geïdentificeerd. Op de lange termijn neemt de kans op een effect op maaiveld (verzakking, verdwijngat) significant toe ter plaatse van deze schachten. Het potentiële risico moet als hoog worden beoordeeld vanwege mogelijke ernstige gevolgen voor gebouwen, infrastructuur en mensen.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: voor de historische schachten is een proactief saneringsprogramma voorgesteld, 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 is het aanbevolen de historische schachten te saneren. In de tussentijd moeten lokale onderzoeken worden uitgevoerd om voortekenen van schade op te sporen.

Een belangrijk punt is het vermijden van aanvullende risico's in de toekomst. Toekomstige constructies en ontwikkelingen moeten rekening houden met de risico's van historische schachten.

6.2 Industriële schachten

De industriële schachten zijn onderdeel van de diepe industriële mijnactiviteiten. Ze zijn in de 19e en 20e eeuw geconstrueerd. De documentatie over deze constructie en de saneringsmaatregelen na het ontmantelen is redelijk uitputtend. 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 (Hendrikmijn, schacht IV).

Aan deze industriële schachten zijn beschermingszones toegekend en de staat van de schachten is gecontroleerd. De saneringsmaatregelen welke in de jaren 1960-1970 werden uitgevoerd zijn conform de huidige technische regels in Noordrijn-Westfalen ("state of the art"). Dit heeft geresulteerd in een classificatie van de schachten in de gevolgcategoriën EK 1 tot EK 4.

Belangrijkste resultaten: drie schachten worden als ‘permanent veilig’ beoordeeld of hebben een hoog veiligheidsniveau (gevolgencategorie EK 4, groen). 30 andere schachten hebben gevolgencategorie EK 3, blauw, toegekend gekregen. Een heel laag veiligheidsniveau (gevolgencategorie EK 2, geel) is slechts aan 6 schachten toegekend. Eén van deze schachten is tot op heden niet gesaneerd.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: voor 30 schachten in gevolgencategorie EK 3 kan worden volstaan met een regulier monitoringsprogramma. Bij 6 schachten welke aan categorie EK 2 zijn toekend is lokaal onderzoek nodig en zijn mogelijk aanvullende saneringsmaatregelen noodzakelijk.

6.3 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 aardoppervlak kan in dit gebied gedurende onbepaalde tijd leiden tot verdwijngaten (sinkholes) of verzakking aan de oppervlakte. Vergelijkbaar met het instorten van mijnschachten kan dit leiden tot ernstige incidenten welke schade aan nabijgelegen gebouwen kan veroorzaken en indien personen aanwezig zijn kunnen verwondingen niet worden uitgesloten.

De benadering van de risicobeoordeling voor dit type van mijnactiviteiten volgt de procedure die in het naastgelegen gebied van historische mijnactiviteit in Herzogenrath/Duitsland is gekozen. Of een verdwijngat zich boven historische mijnactiviteiten kan ontwikkelen is afhankelijk van verschillende factoren zoals de dikte van de steenkoollaag en het verhang ervan in de ondergrond. Het gebied

rondom de ontsluiting van elke steenkoollaag waar verdwijngaten of verzakkingen mogelijk kunnen optreden is als potentieel invloed gebied aangemerkt. Bij het toekennen van deze potentiële getroffen gebieden dient rekening gehouden te worden met de onnauwkeurigheid van de exacte positie van de steenkoollagen en de dikte van de bovenliggende afzettingen. De waarschijnlijkheid voor het ontstaan van verzakkingen of verdwijngaten in deze potentiële getroffen gebieden is geclassificeerd conform de gevolgcategorieën EK 1 tot EK 3.

Belangrijkste resultaten: Voor het gebied in Kerkrade waar historische mijnactiviteiten hebben plaatsgevonden zijn in totaal 16,6 km aan ontsluitingen van steenkoollagen (die in totaal een gebied van 1,44 km² omvatten) als potentieel invloeds gebied aangemerkt. De gevolgcategorieën EK 2 en EK 3 komen het vaakst voor.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: Proactieve saneringsmaatregelen worden als niet proportioneel beschouwd. Bij toekomstige bouwprojecten en ontwikkelingen dient rekening gehouden te worden met de mogelijke gevolgen van historische mijnactiviteiten om aanvullende risico's te vermijden.

6.4 Industriële oppervlakkige mijnbouwactiviteiten

In het gebied van de diepe industriële mijnbouwactiviteiten liggen de steenkoollagen onder een dikke deklaag (bestaande uit kalksteen, zand, klei). Om veiligheidsredenen diende het bovenste deel van de afzettingen van het Carboon ongemoeid te blijven om een toename van het instromend grondwater of zelfs drijfzand vanuit de deklaag te voorkomen.

Op sommige locaties is deze veiligheidszone boven een ontmijnde kolenlaag echter niet gehanteerd en zijn de mijnactiviteiten tot enkele meters onder de bovenkant van het Carboon doorgezet. In deze gebieden kan een instorting van voormalige mijngangen zich tot in het dekterrein voortzetten en een instroom van sedimenten veroorzaken. Dit gewichtsverlies in het dekterrein kan zich doorzetten tot aan het maaiveld en een verdwijngat of bodemdaling veroorzaken. Dit was het geval in het Winkelcentrum 't Loon in Heerlen waar als gevolg van een verdwijngat een gebouw diende te worden gesloopt. Deze gebeurtenis bij Winkelcentrum 't Loon is een indicatie voor het potentieel effect van deze specifieke mijngebieden.

In het kader van de risicobeoordeling worden alle mijnbouwactiviteiten binnen 20 m onder de bovenkant van het Carboon als potentiële effectlocaties beschouwd. Het potentiële effect van deze mijnbouwactiviteiten is in de gevolgcategoriën EK 1 tot EK 3 geclassificeerd waarbij de lokale mijnbouwsituatie en de geologie van de ondergrond zijn meegenomen.

Belangrijkste resultaten: in het volledige Zuid-Limburgse mijnengebied zijn 26 potentiële effectgebieden als gevolg van industriële oppervlakkige mijnbouwactiviteiten vergelijkbaar met de situatie bij Winkelcentrum 't Loon in Heerlen geïdentificeerd en gekenmerkt met gevolgcategorie EK 1. Andere mijnbouwactiviteiten op een niveau lager dan 20 m onder de bovenkant van het Carboon zijn geclassificeerd als gevolgcategorie EK 3.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: Proactieve saneringsmaatregelen worden als niet proportioneel beschouwd. Nader onderzoek dient te worden uitgevoerd om de risicobeoordeling voor deze specifieke mijnbouwactiviteiten te verifiëren – hiervoor wordt een pilotproject aanbevolen. De risicobeoordeling moet naar aanleiding van de resultaten van het pilotproject worden aangepast.

In de tussentijd zijn specifieke onderzoeken en mogelijke saneringsmaatregelen aanbevolen indien er nieuwe gebouwen worden geconstrueerd of het landgebruik wijzigt in effectgebieden met kenmerk EK 1 en EK 2. Voor de effectgebieden EK 3 kan met behulp van een beoordeling door een expert worden bepaald of er maatregelen noodzakelijk zijn.

6.5 Kleinere gevolgen van de mijnbouwactiviteiten

Gedurende het project zijn aanvullende 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.

“Drempels, Scheuren en Verzakkingen” - drempels en scheuren zijn discontinuïteiten, scheuren en spleten, terwijl verzakkingen van het maaiveld en verdwijngaten worden veroorzaakt door actieve mijnbouw en zijn gedocumenteerd in de mijnkaarten (N.B. de documentatie is waarschijnlijk niet compleet, er is bijvoorbeeld geen documentatie voor de mijn Willem Sophia). Beide gevolgen van mijnbouwactiviteiten veroorzaken geen ramp op zichzelf maar zijn duidelijke indicatoren voor een verzwakte ondergrond en dus een indicatie voor ‘geotechnisch zwakke zones’.

“Neerwaartse boringen” – Boringen vanaf maaiveld tot in de afzettingen van het Carboon voor de exploratie van steenkool. Deze boorgaten maken een verbinding tussen sedimentaire afzettingen in de ondergrond tot aan het niveau van de mijnactiviteiten. Boorgaten kunnen een preferente stroombaan voor stijgend mijnwater vormen. Indien ze niet goed zijn opgevuld kunnen rondom deze gaten verzakkingen of verdwijngaten ontstaan welke problemen voor gebouwen en

infrastructuur kunnen opleveren. Door de kleine diameter van boorgaten is het te verwachten effect klein.

“Opwaartse boringen” – Boringen met een kleine diameter uitgevoerd vanuit de hoogst gelegen mijngangen richting het dekterrein om te bepalen waar de top van het Carboon zich bevindt. Deze boorgaten vormen een verbinding tussen de mijnbouwactiviteiten en het bovenliggende dekterrein. De gaten kunnen een preferente stroombaan vormen voor sedimenten zoals drijfzand en bevorderen van het oplossen van bodemmateriaal.

Belangrijkste resultaten: kleinere gevolgen van de mijnbouwactiviteiten veroorzaken geen significante effecten maar dienen in het achterhoofd gehouden te worden bij onverwachte veranderingen in de ondergrond.

Belangrijkste maatregelen en monitoring: kleinere gevolgen van de mijnbouwactiviteiten moeten worden beschouwd als ‘geotechnisch zwakke zones’ bij het bouwen van nieuwe gebouwen of als er schade optreedt.

7 Uitgangspunten voor het maatregelenplan en de monitoring

Met behulp van de integrale risicoanalyse is de effectiviteit van de verschillende maatregelen en de monitoring welke zijn voorgesteld voor de verschillende kwesties geëvalueerd. Er is een kosten-batenanalyse uitgevoerd en de relevantie in relatie tot het risiconiveau is bepaald. Sommige maatregelen en/of monitoring zijn van wezenlijk belang voor meerdere kwesties – zoals het monitoren van het mijnwaterniveau; andere maatregelen/monitoring zijn ‘good to have’ voor enkele kwesties maar zijn disproportioneel voor wat betreft kosten en risiconiveau.

De effectiviteit van de maatregelen en monitoring is met behulp van de factoren bruikbaarheid en kosten beoordeeld. Er is een classificatiematrix opgesteld met

daarin zes categorieën van cat. 0 – “no regret” via cat. 3 – “good to have” naar cat. 5 – “momenteel niet relevant”. Voor de aanbevolen maatregelen en monitoring (cat. 0 t/m cat. 2) is een gedetailleerd plan opgeleverd. Voor enkele monitoringsapparatuur zoals punten met een referentiehoogte en peilbuizen is een voorstel voor een globale locatie gegeven.

De eerste acties zouden de informatieverstrekking aan de personen en lokale autoriteiten die te maken krijgen met constructies en veiligheidsaspecten moeten bevatten. Private partijen, architecten en boorbedrijven zijn belangrijke derden welke ook dienen te worden geïnformeerd. De resultaten van dit project moeten aan de bewoners en autoriteiten worden gecommuniceerd en ingebouwd worden in hun planvorming. Met deze informatie kunnen regelingen voor constructies, lokale onderzoeken en boringen op korte termijn door de lokale autoriteiten worden opgesteld.

Verder dienen voorbereidende maatregelen getroffen te worden om een toegepast monitoringssysteem (zoals het plaatsen van peilbuizen, het aanleggen van punten met referentiehoogte, voorzieningen voor instrumenten ten behoeve van gasmetingen) op te zetten. In een vervolgstap moeten de voorstelde maatregelen gestart en regelmatig uitgevoerd worden. De resultaten van de monitoring kunnen in jaarlijkse rapportages met een bijwerkte risicobeoordeling worden samengevat, samen met voorstellen voor verdere monitoring en maatregelen.

Voor de sanering van industriële en historische schachten dient een actieplan met prioriteiten en een planning te worden opgesteld zodra de benodigde financiële middelen ter beschikking zijn gesteld. De sanering van de historische schachten is een lange termijnproject onafhankelijk van de toekomstige stijging van het mijnwater.

Documentatie

Final report on the results of the working group 5.2.1 - ground movements (31.08.2016, Rev. a: 02.12.2016).- 220 p., 5 app., 4 plans; Delft, Maastricht, Aachen.

Final report on the results of the working groups 5.2.2 - risks from mine shafts 5.2.3 - risks from near surface mining (31.08.2016, Rev. a: 02.12.2016).- 106 p., 5 app.; 6 plans; Aachen, Essen.

Final report on the results of the working groups 5.2.4 - groundwater quality 5.2.5 - groundwater quantity (31.08.2016, Rev. a: 02.12.2016).- 131 S., 5 app., 1 plan; Aachen, Deventer.

Final report on the results of the working group 5.2.6 - risk from mine gas (31.08.2016, Rev. a: 02.12.2016).- 49 p., 1 app., 1 plan; Essen.

Final report on the results of the working group 5.2.7 - small earthquakes (31.08.2016, Rev. a: 02.12.2016).- 85 p., 4 app.; Deventer.

Summary report with integrated Bow-Tie-Analysis (30.09.2016).- 123 p., 3 app., 9 plans; Aachen, Deventer.

Contact:

Hr Dr.-Ing. Michael Heitfeld
c/o Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH
Jean-Bremen-Straße 1-3
D - 52080 Aachen
telefoon: 00 49/2 41/7 05 16-0
telefax: 00 49/2 41/7 05 16-20
email: info@ihs-online.de