

Aanvullingen Hotspotkaarten bodemdaling

Stand van kennis over bodemdaling i.r.t. delfstofwinning, grondwaterwinning en opbarsting



Aanvullingen Hotspotkaarten bodemdaling

Stand van kennis over bodemdaling i.r.t. delfstofwinning, grondwaterwinning en opbarsting

Auteur(s)

Otto Levelt

Aanvullingen Hotspotkaarten bodemdaling

Stand van kennis over bodemdaling i.r.t. delfstofwinning, grondwaterwinning en opbarsting

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Meinte de Hoogh
Trefwoorden	Bodemdaling; diepe bodemdaling; steenkoolwinning; grondwaterwinning; opbarsting

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	25-02-2026
Projectnummer	11211556-000
Document ID	11211556-000-BGS-0001
Pagina's	32
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)

	Otto Levelt	

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Opbouw rapport	6
2	Diepe bodemdaling	7
2.1	Algemeen	7
2.2	Gas en oliewinning	9
2.3	Zoutwinning	10
2.4	Aardwarmte	10
2.5	Conclusies diepe bodemdaling	11
3	Steenkoolwinning	12
3.1	Algemeen	12
3.2	Bodemstijging en vernatting	12
3.3	Verzakkingen	12
3.4	Effecten op waterkwaliteit	13
3.5	Overige risico's	13
3.6	Conclusies steenkoolwinning	13
4	Grondwaterwinning	15
4.1	Algemeen	15
4.2	Vergunningen	15
4.3	Winningen in Nederland	16
4.4	Conclusies	17
5	Opbarsting	18
5.1	Algemeen	18
5.2	Wat is opbarsting	18
5.3	Voorbeeld Middelburg- en Tempelpolder	19
5.4	Conclusie bodemdaling en opbarsting	22
6	Grootschalige effecten bodemdaling (regionale schaal)	24
6.1	Algemeen	24
6.2	Friesland als voorbeeld	24
6.3	Conclusies grootschalige effecten bodemdaling	27
7	Conclusies	28

7.1	Diepe bodemdaling en steenkoolwinning	28
7.2	Grondwaterwinning	28
7.3	Opbarsting	28
7.4	Grootschalige effecten	29
	Bronnen	30

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Deltares heeft begin 2025 een studie opgeleverd waarin gebieden in Nederland zijn geïdentificeerd die kwetsbaar zijn voor bodemdaling [1]. De kwetsbare gebieden, of hotspots, brengen in beeld waar, gezien vanuit verschillende functies, prioriteit kan of zou moeten worden gegeven aan het tegengaan van, beperken van of op een goede manier omgaan met bodemdaling. De studie was niet compleet in de zin dat het alle aspecten die relevant (kunnen) zijn voor beleid rond bodemdaling omvat. Zo is de kwetsbaarheid alleen beschouwd voor *ondiepe* bodemdaling die samenhangt met peilbeheer en ontwatering van de bodem. Ook zijn er aanvullende effecten van en kwetsbaarheden voor ondiepe bodemdaling die in de eerdere studie niet zijn geadresseerd. In het voorliggende rapport wordt daarom aanvullende informatie verschaft over:

- De effecten van diepe bodemdaling (als gevolg van menselijke activiteiten in diepe delen van de ondergrond waaronder, met uitzondering van steenkoolwinning, wat apart behandeld wordt)
- De effecten van steenkoolwinning
- Mogelijke bodemdaling als gevolg van grondwateronttrekkingen
- De relatie tussen bodemdaling en opbarsting van de bodem en de gevolgen daarvan
- De uitstralingseffecten van bodemdaling (ofwel effecten op regionale schaal)

Doel van het rapport is niet zozeer om aanvullende of aangepaste 'hotspotkaarten' te presenteren. Daarvoor ontbreekt het voor deze aspecten vaak aan kennis en informatie. Wel is ernaar gestreefd een beeld te verschaffen van de bodemdalinggerelateerde problematiek rond deze onderwerpen aan de hand van generieke kennis en beschikbare voorbeelden. En om te identificeren waar nader onderzoek gewenst is.

1.2 Opbouw rapport

Voor elk van de beschreven aspecten zal allereerst, voor zover bekend, beschreven worden wat de effecten kunnen zijn. Vervolgens wordt in het geval van opbarsting en grootschalige effecten aan de hand van één of meer beschikbare studies ingegaan op een voorbeeldgebied. Voor deze voorbeeldgebieden wordt de bodemdalinggerelateerde problematiek beschreven. Ten slotte wordt kort ingegaan wat dit op landelijke schaal kan betekenen en waar nader onderzoek naar gewenst is.

2 Diepe bodemdaling

In dit hoofdstuk wordt een aantal bijdragen aan bodemdaling besproken als gevolg van menselijke activiteiten (gas- en oliewinning, zoutwinning en aardwarmtewinning) die plaatsvinden in diepe delen van de ondergrond, grofweg tussen 0,5 en 4 km diepte. Deze bijdragen worden hier aangeduid met de term 'diepe bodemdaling'. Steenkoolwinning in Limburg vond ook plaats in dit dieptebereik en leidt ook tot verzakkingseffecten. Deze effecten worden echter niet onder diepe bodemdaling geschaard, maar apart besproken in hoofdstuk 3. Naast menselijke activiteiten zijn er ook geologische processen (isostasie en tektoniek) die bijdragen aan bodemdaling en die ontstaan door vervormingen van de ondergrond op grote diepte (tot meer dan 100 km) [2]. In vergelijking met de door de mens veroorzaakte diepe bodemdaling zijn de geologische bijdragen over het algemeen gering (minder dan 1 mm/jaar). Deze geologische bijdragen aan diepe bodemdaling worden hier buiten beschouwing gelaten.

2.1 Algemeen

Door diepe bodemdaling zakt niet alleen het maaiveld in een gebied, maar ook de gebouwen en infrastructuur. De schade die diepe bodemdaling tot gevolg kan hebben voor landgebruik en funderingen verloopt hoofdzakelijk via veranderingen in de waterhuishouding. Dit effect is echter niet eenduidig.

Drie mogelijke veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem dragen hier aan bij, te weten [3]:

- Veranderingen in het boezempeil ten opzichte van maaiveld
- Polderpeilveranderingen ten opzichte van maaiveld (veranderingen in drooglegging)
- Veranderingen in de regionale grondwaterstromen

In theorie kan elk van deze drie zowel stijging als daling van de grondwaterstanden tot gevolg hebben.

In gebieden waar de bodem daalt en de peilen (t.o.v. NAP) gehandhaafd worden, zullen de oppervlaktewaterstanden stijgen ten opzichte van maaiveld. Dit kan leiden tot vernatting en daarmee leiden tot lagere opbrengsten voor de landbouw. Het kan ook gevolgen hebben voor de bebouwing. Hier kan vochtschade gaan optreden of verergeren, maar kan ook de draagkracht van funderingen aangetast worden. Ook vermindert in dit geval door de diepe bodemdaling de doorvaarthoogte van bruggen en komen oeverconstructies en kades lager te liggen (deze zakken als gevolg van de diepe bodemdaling immers wel) [4]

De diepe bodemdaling kan er echter ook voor zorgen dat de peilen meer dalen dan het maaiveld. In dat geval kan de drooglegging groter worden en ondiepe bodemdaling vergroten maar ook de kans op schade aan houten paalfunderingen doen toenemen. Dit effect kan zich voordoen tot buiten de grenzen waar de diepe bodemdaling optreedt. Funderingsschade door bodemdaling (niet alleen door diepe bodemdaling) is een belangrijk maatschappelijk vraagstuk dat onder andere door het verschijnen van het BKZ rapport "De olifant onder de kamer" in de belangstelling staat [5].

Net als in het geval van ondiepe bodemdaling kunnen veranderingen in de grondwaterhuishouding die het gevolg zijn van de diepe bodemdaling naast schades aan funderingen ook leiden tot [3]:

- Schades aan kabels en leidingen (waarin lekkages kunnen optreden, die op zichzelf ook weer veranderingen in de grondwaterhuishouding kunnen veroorzaken).
- Verandering in de beworteling van bomen en planten, wat schade kan opleveren aan de bomen en planten maar ook aan leidingen.
- Pyrietoxidatie van FeS-rijke kleien, wat kan leiden tot verzuring en aantasting van (metalen) leidingen.

- Grondwatervervuiling als er sprake is van schade aan gierkelders die lek raken. Dit kan echter ook nutriënten en warmte leveren die (theoretisch) bij kunnen dragen aan aantasting van houten funderingen.

Naast de effectpaden die lopen via verandering in de grondwaterstand bij funderingen kan een grote toename van het verschil tussen oppervlaktewaterpeil en de naastgelegen grondwaterstand bij watergangen leiden tot een aantal secundaire effecten als kadeinstabiliteit, opbarsten van een slecht doorlatende ondiepe bodemlaag en piping (progressieve zanduitspoeling). Deze verschijnselen kunnen leiden tot wateroverlast en in bijzondere situaties ook schade aan funderingen/gebouwen veroorzaken [3].

Doordat door diepe bodemdaling een bodemalingskom ontstaat, kunnen ook de regionale grondwaterstromen veranderen. Dit kan leiden tot veranderingen in de kwel- of infiltratiesituatie in een gebied. Met name bij omslag van infiltratie naar kwel, kan lokaal brak grondwater terecht komen in de watergangen en zorgen voor verzilting van het oppervlaktewater. Peilverlaging in verband met bodemdaling door gaswinning kan potentieel bijdragen aan het omslaan van een infiltratieflux in een kwelflux of het versterken van een kwelflux [6].

Om met deze ongewenste gevolgen van de bodemdaling om te gaan voeren waterbeheerders veelal wijzigingen door in het watersysteem. Door peilen aan te passen kan een deel van deze gevolgen tegengegaan worden. Evengoed wordt het watersysteem er in belangrijke mate door beïnvloed. Wetterskip Fryslân maakt voor hun beheergebied onderscheid in de effecten voor verschillende typen gebieden [7].

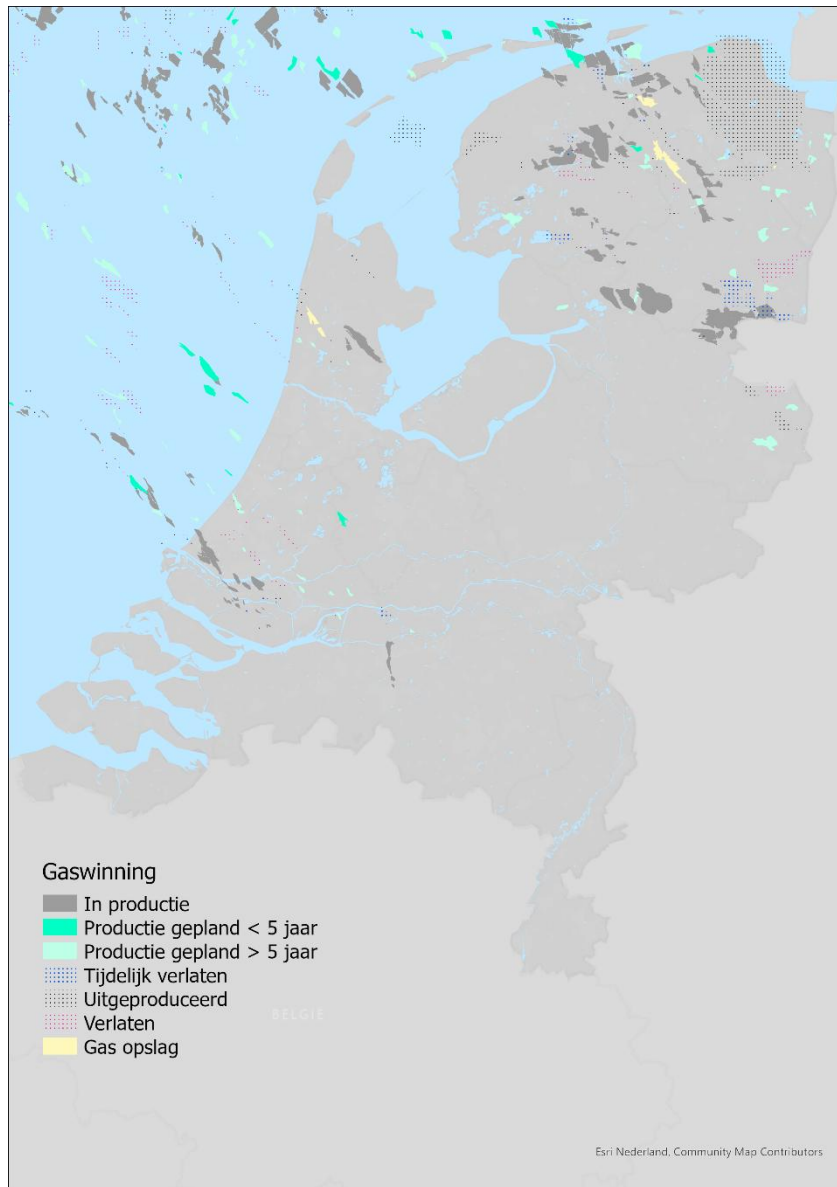
- In de **kleigebieden** leidt bodemdaling in combinatie met zeespiegelstijging tot een toename van de verzilting. Dit heeft nadelige effecten op de productiviteit van de akkerbouw in dit gebied. Peilverlaging als compensatie van de bodemdaling leidt vervolgens tot meer verzilting.
- De **veengebieden** liggen al laag. Als gevolg van diepe bodemdaling daalt het maaiveld nog meer. Relatief stijgen de peilen in het gebied.
- Op de (hogere) **zandgronden** heeft het waterschap zich ten doel gesteld meer water vast te houden voor tijden van droogte. De wegzijging van water uit het gebied zal versterken als gevolg van het feit dat de bodemdalingskommen, waar het grondwater naar toe stroomt, dieper worden. Bodemdaling door gaswinning betekent daardoor dus dat op de hogere zandgronden de kans op verdroging toeneemt.

Diepe bodemdaling heeft dus op verschillende schalen in het watersysteem een veelal nadelig effect en daardoor heeft het ook effect op het landgebruik en bebouwing in het gebied dat daalt. Daarnaast zorgt diepe bodemdaling, wanneer dit (na)bij de kust plaatsvindt, er ook voor dat de hoogtes van zeedijken, zeesluizen en buitendijks gelegen terreinen ten opzichte van de zeespiegel verminderen. Verder heeft de bodemdaling ook negatieve effecten op de stevigheid van de dijken en waterkerende kunstwerken. De waterveiligheid neemt dus af. Door de klimaatverandering hebben de waterschappen en Rijkswaterstaat een belangrijke opgave om keringen stevig en veilig te houden.

In onderstaande wordt nog kort ingegaan op de verschillende typen delfstofwinning die leiden tot diepe bodemdaling.

2.2 Gas en oliewinning

Bij gaswinning verloopt de bodemdaling langzaam en gelijkmatig. Het aardgas bevindt zich in Nederland meestal in een zandsteenlaag op 2 tot 4 kilometer diepte. Door het winnen van het gas neemt de druk in deze zandsteenlaag af. Daardoor wordt deze zandsteenlaag ineengedrukt door het gewicht van de bovenliggende lagen. Doordat de bovenliggende lagen meebewegen daalt de bodem aan de oppervlakte. De bodemdaling heeft de vorm van een platte schotel met een oppervlak, dat afhankelijk is van de omvang van het onderliggende gasveld. De “schotel” sterkt zich uit buiten de omtrek van het gasveld. Hoeveel de bodem daalt,



Figuur 2-1: Ligging olie- en gasvelden en de ontginningsstatus [9].

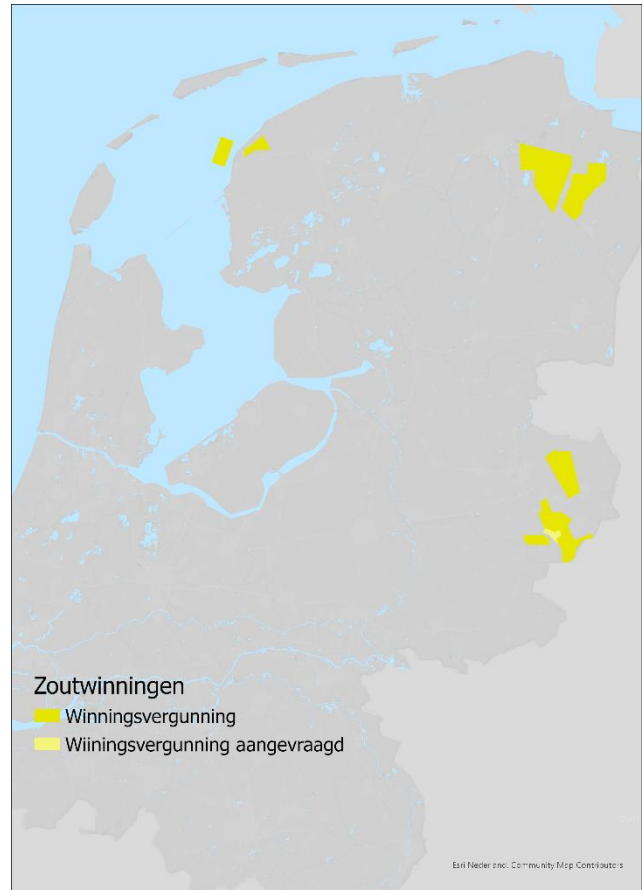
is afhankelijk van de hardheid en dikte van de zandsteenlaag, en de hoeveelheid drukkudaling door de gaswinning.

Bij de winning uit het Groningen-gasveld is de bodemdaling op het diepste punt 40 centimeter. Deze bodemdaling is een belangrijke reden voor aanpassingen van de oppervlaktewaterpeilen [1]. Bij de overige gasvelden is de bodemdaling meestal kleiner – vaak minder dan 10 centimeter en stelt het Staatstoezicht op de Mijnen dat dit hier nauwelijks of geen rol speelt bij grondwaterpeilaanpassingen [8]. Oliewinning heeft eenzelfde effect als gaswinning en zorgt daardoor lokaal ook voor bodemdaling.

Op Figuur 2-1 is een overzicht gegeven van alle gas- en oliewinningen die in Nederland actief zijn, geweest zijn of in aanvraag zijn. Te zien is dat nog niet alle vergunde winningen in productie zijn, maar dat een deel (vooral kleinere velden) naar verwachting nog in productie genomen zal gaan worden. Er zijn op dit moment geen (openbare) voorspellingen van de nog te verwachten bodemaling beschikbaar.

2.3 Zoutwinning

Bij zoutwinning verloopt de bodemdaling meestal sneller dan bij gaswinning. Door zoutwinning ontstaan holtes in de diepe ondergrond met daarin zout water. Doordat het zout zich onder hoge druk gedraagt als een dikke vloeistof, stroomt dit langzaam in de richting van deze holtes. Deze 'zoutkruip' kan aan de oppervlakte leiden tot bodemdaling. Lokaal kan de bodemdaling vele decimeters bedragen (bij winning Veendam tot meer dan 60 cm). De bodemdaling kom die daarbij ontstaat is vergelijkbaar met die bij gaswinning, maar vaak minder breed (enkele kilometers) en met steilere flanken. Dit komt doordat zout plaatselijk wordt gewonnen: niet uit een veld van vaak kilometers groot, maar door toestroom van zout uit een veel kleiner gebied rond de caverne. Na afloop van de winning worden de cavernes uiteindelijk langzaam dichtgedrukt. In dat geval treedt er aan de oppervlakte verdere bodemdaling op. Doordat de bodemdaling kom steil is, kan het voor het waterschap lastiger zijn om het oppervlaktewaterpeil aan te passen en zo het daaraan gekoppelde grondwaterpeil te beïnvloeden en het zo aan te passen aan de lokale omstandigheden [10].



Figuur 2-2: Overzicht van alle zoutwinningen in Nederland [9].

Op Figuur 2-2 is een overzicht gegeven van alle gebieden waar vergunningen en aangevraagde vergunningen voor het winnen van zout liggen. Er zijn op dit moment geen (openbare) voorspellingen van de nog te verwachten bodemaling beschikbaar.

2.4 Aardwarmte

Naast winning van gas, olie, steenkool en zout wordt er op dit moment op verschillende locaties ook aardwarmte gewonnen (ook wel geothermie genoemd) uit de ondergrond. In veel gebieden wordt ook nog gezocht naar de mogelijkheid om aardwarmte te winnen. Naar verwachting zal de winning hiervan in de toekomst dus nog toenemen.

Bij het winnen van aardwarmte komt nauwelijks bodemdaling voor. Er wordt netto namelijk geen materiaal uit de ondergrond weggehaald, zoals dat bij de winning van de hierboven genoemde beschreven grondstoffen wel het geval is. Het water dat opgepompt wordt, gaat ook weer terug de bodem in. Dit gebeurt wel op locaties die op enige afstand van elkaar liggen. Staatstoezicht op de Mijnen stelt [11] dat er over een periode van tientallen jaren maximaal enkele millimeters bodemdaling op zou kunnen treden. Wel is er in gebieden met bijvoorbeeld bestaande breuken in de ondergrond meer kans op het optreden van aardbevingen als gevolg van de winning. In Nederland is dat met name in Limburg en Groningen het geval.

2.5 Conclusies diepe bodemdaling

Gas-, olie- en zoutwinning leiden tot bodemdaling. Na afloop van de winning kan nog lang daling optreden. Dit is lastig tegen te gaan. In de gebieden waar in het heden of verleden gas, olie of zout gewonnen is of wordt moet dan ook nog gedurende een lange tijd rekening gehouden worden met bodemdaling.

Die bodemdaling kan leiden tot effecten op de waterhuishouding, maar ook op de hoogte van waterkeringen ten opzichte van de zeespiegel. Net als bij ondiepe bodemdaling kunnen de veranderingen in de waterhuishouding bijdragen aan funderingsschade. Ook kan het van invloed zijn op de mogelijkheden voor bepaalde typen landgebruik.

De mogelijke maatregelen die de effecten van de bodemdaling tegen gaan kunnen op zich ook nadelige gevolgen hebben (verlagen van peilen in kleigebieden waardoor de kans op opbarsting toeneemt).

Het is dus zaak de gebieden waar diepe bodemdaling speelt of kan gaan spelen goed te identificeren en ervoor te zorgen dat op een goede manier omgegaan wordt met de effecten van bodemdaling.

Van geothermie tenslotte wordt vooralsnog verwacht dat het niet zal leiden tot relevante bodemdaling.

3 Steenkoolwinning

3.1 Algemeen

Steenkoolwinning heeft een aantal andere effecten tot gevolg dan gas, olie en zoutwinning. Deze effecten worden in dit hoofdstuk behandeld.

Staatstoezicht op de mijnen heeft een aantal mogelijk na-ijlgevolgen van de steenkool- en bruinkoolwinning bestudeerd [12]. Grofweg betreft dit:

- Bodemstijging en vernatting
- Verzakkingen
- Veranderingen van de waterkwaliteit
- Overige risico's

Hieronder worden deze aspecten kort toegelicht.

3.2 Bodemstijging en vernatting

Bodemstijging door voormalige steenkoolwinning is het gevolg van het stijgen van het mijnwater. Mijnwater is het water dat in de mijnen staat en daardoor langere tijd in contact staat met de gesteentes die in de mijnen blootliggen. Staatstoezicht op de Mijne stelt [12] dat de stijging van het maaiveld in dit verband op twee manieren verklaard kan worden: “enerzijds laat het terugkerende mijnwater de bodem opzwellen; anderzijds zorgt het stijgende water voor een drukopbouw, die hoger gelegen grondlagen doet opdrijven.” Veelal doet dit verschijnsel zich egaal en gelijkmatig voor. Lokaal kan het echter leiden tot verschillen in bewegingen op korte afstand. In dit laatste geval kan het tot bovengrondse schades leiden. Schadegevallen lijken zich het meest voor te doen in waar gebieden met intensieve mijnbouw grenzen aan gebieden waar geen mijnbouw heeft plaatsgevonden.

Stijging van grondwater door het stijgen van het mijnwater zou plaatselijk ook tot vernatting kunnen leiden (en daardoor tot wateroverlast in kelders of ondergelopen weilanden). Tot op heden heeft dit verschijnsel zich nog niet voorgedaan. De gebieden die hier waarschijnlijk het gevoeligst voor zijn liggen bij een aantal beekdalen in en rond Geleen.

3.3 Verzakkingen

Mijnschachten kunnen verzakken. Dit doet zich voor in gebieden waar oude mijnschachten (verticale holtes) liggen. Het vulmateriaal dat gebruikt is voor schachten die vóór grofweg 1960 zijn opgevuld, loopt een kans na te zakken, waardoor aan maaiveld verzakking ontstaat. Dit verschijnsel doet zich vooral in de omgeving Kerkrade. Er zijn technieken om de risico's weg te nemen. Knelpunt daarbij is echter dat veelal onbekend is waar de schachten exact liggen en dat dit ook lastig te achterhalen is.

Ook kunnen verzakkingen optreden boven ondiepe winningen. Deze vinden plaats in gebieden waar op een diepte van minder dan 100 m onder maaiveld steenkool gedolven is en er boven deze winning relatief weinig vast gesteente aanwezig is. De mijngangen kunnen volstromen met erboven gelegen bodemmateriaal of ze kunnen instorten. In beide gevallen veroorzaakt dit verzakkingen aan maaiveld. Staatstoezicht op de Mijnen [12] dat “het instorten of volstromen van door ondiepe winningen achtergebleven holtes vooral een kwestie van tijd” is. Net als voor de schachten komt dit verschijnsel voornamelijk in de omgeving Kerkrade voor. Waar de grootste risico's exact optreden is net als voor de schachten onbekend. Er is echter in tegenstelling tot de schachten geen goede oplossing beschikbaar om de inzakkingen te voorkomen.

3.4 Effecten op waterkwaliteit

Een proces dat als risico wordt benoemd, maar dat nog niet is geconstateerd, is dat stijgend mijnwater vervuild raakt door langdurig contact met het gesteente rond de mijngangen en dat de vervuilende stoffen vervolgens ook het ondiepere grondwater bereiken [12]. Het is nog onbekend op welke schaal het zou kunnen optreden en in hoeverre het stijgende mijnwater ook daadwerkelijk in aanraking gaat komen met het ondiepe grondwater. Toch is de aanbeveling op termijn rekening te houden met het optreden van vervuilingen van het grondwater door mijnwater.

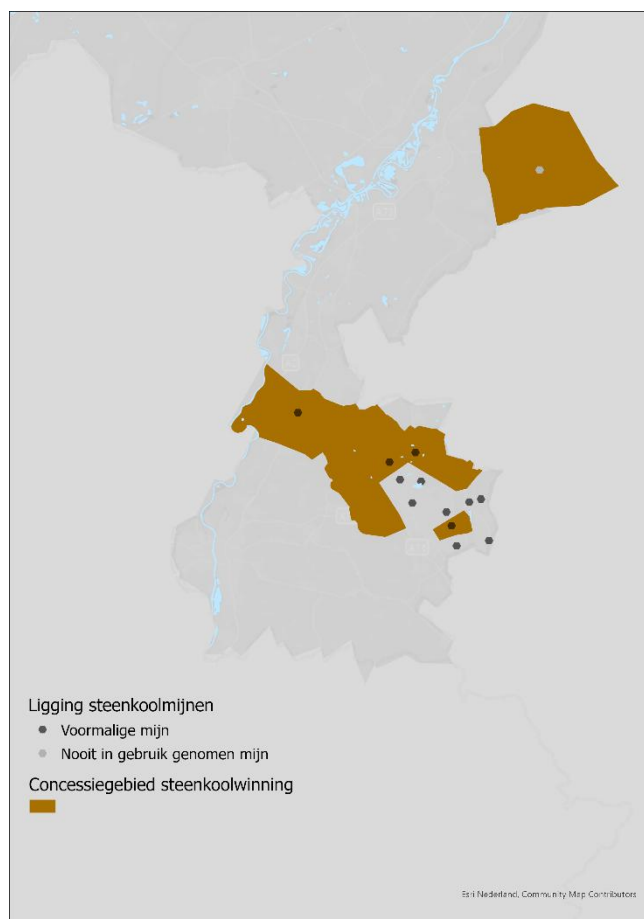
3.5 Overige risico's

Naast bovengenoemde gevolgen van steenkoolwinningen kan ook mijngas vrijkomen aan maaiveld. Tijdens en na het winnen van steenkool komt mijngas (methaan) vrij dat terecht komt in de lucht van de mijngangen. Door het stijgen van het mijnwater wordt het naar boven gedrukt. Bij voldoende druk kan het aan maaiveld vrijkomen. Vrijkomend mijngas vormt pas een gevaar als het zich kan ophopen. Dit gevaar bestaat vooral als er over een schachtmond heen gebouwd is, zonder dat voorzien is in maatregelen als een mijngasdrainage of voldoende ventilatie. De schachtlocaties zijn soms onvoldoende bekend en kunnen zich bevinden in dichtbebouwd gebied.

Tenslotte is in 2016 is geconcludeerd dat het optreden van lichte aardbevingen als gevolg van de steenkoolwinningen weliswaar niet uit te sluiten is, maar dat de kans zeer gering is. De kracht van de eventueel optredende aardbevingen zal echter gering zijn en de aardbevingsdreiging in het gebied niet vergroten. In het gebied kunnen van nature immers al aardbevingen (met grotere kracht) optreden.

3.6 Conclusies steenkoolwinning

Het gebied waar zich mogelijke gevolgen van het stopzetten van de steenkoolwinning kunnen voordoen is beperkt tot delen van Limburg (Figuur 3-1). Daarbinnen is voorlopig nog geen nauwkeurig beeld van de locaties met de grootste risico's. Wel is er een monitoringprogramma opgezet om dit in beeld te brengen. Staatstoezicht op de Mijnen verwacht dat de na-ijleffecten en benodigde nazorgactiviteiten nog decennia voort zullen duren. Een stabiele eindfase is nog niet bereikt [13] (Staatstoezicht op de Mijnen, Staat van de Sector Voormalige steenkoolwinning, Met constatering en aanbevelingen voor nazorgbeleid delfstofwinning, 2021).



Figuur 3-1: Overzicht van de ligging van mijnen en concessiegebieden voor het winnen van steenkool in Nederland
Bron: (TNO Geologische dienst & Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2025).

Net als voor de effecten van diepe bodemdaling stelt Staatstoezicht op de Mijnen dat het zaak is goed in beeld te hebben waar zich mogelijke gevolgen van steenkoolwinning kunnen voordoen en hoe die effecten er uit zien. Vervolgens is het zaak er voor te zorgen dat in deze gebieden de juiste maatregelen getroffen worden om op een goede manier om te gaan met de lange-termijn gevolgen van de steenkoolwinning. Daarbij wordt gesteld dat zowel de risico's goed in beeld gebracht en gemonitord moet worden als ook de informatie gedeeld moet worden met de verschillende overheidslagen en bewoners van het gebied. Ook wordt geadviseerd te zorgen voor een centrale plek voor het afhandelen van schades. Recent heeft het Ministerie van Klimaat en Groene Groei een voorziening opgericht voor particuliere woningeigenaren met schade aan hun woning als gevolg van bodembeweging door steenkoolwinning [14].

4 Grondwaterwinning

4.1 Algemeen

Grondwater wordt op verschillende dieptes gewonnen en voor verschillende doeleinden. Grote grondwateronttrekkingen worden voornamelijk gedaan voor de industrie en drinkwater. Veelal vinden deze niet direct onder het oppervlak plaats maar wordt water gewonnen uit dieper gelegen watervoerende pakketten (tussen de 30 tot 150 meter onder maaiveld). Water wordt meestal gewonnen uit lagen die aan de bovenzijde afgeschermd zijn door een slecht doorlatende kleilaag. Daardoor kan in de laag waaruit water onttrokken wordt en in de erboven gelegen kleilaag de stijghoogte (maat voor de waterdruk) flink dalen. Compactie van deze lagen veroorzaakt vervolgens de bodemdaling [15].

Vooraf in het buitenland doen zich hier ernstige voorbeelden van voor [16]. Hoewel men in de bouw- en waterwereld het probleem van slappe lagen en bodemdaling al heel lang kent is er in Nederland echter ofwel nauwelijks sprake van bodemdaling als gevolg van onttrekkingen of wordt deze niet onderkend [15]. De bijdrage van grondwateronttrekkingen aan de totale bodemdaling in Nederland is dan ook nog onvoldoende in beeld [17].

Stopzetting van een (grootschalige) onttrekking kan het tegengestelde gevolg hebben. Zo zou het stopzetten van de onttrekking van DSM bij Delft tot een stijging (theoretisch) van enkele centimeters kunnen leiden [18]. In de praktijk wordt de stijging hier voorkomen door de onttrekking dusdanig langzaam af te bouwen dat deze niet of nauwelijks tot een daadwerkelijke stijging ten opzichte van N.A.P. leidt.

Ook ondiepe winningen en bemalingen (tijdelijke onttrekkingen) kunnen tot bodemdaling leiden. Veelal zijn deze onttrekkingen kleiner in onttrokken volume. Ondiepe Holocene afzettingen zijn echter veelal gevoelig voor bodemdaling als gevolg van veranderingen in de vochtgehalten en grondwaterstanden in deze afzettingen. Lokaal zijn effecten dus waarschijnlijk. Zoals op Figuur 4-1 te zien is, is er in Nederland een aantal gebieden waar relatief veel onttrekkingen geconcentreerd zijn (o.a. Oost-Brabant, Zeeland, Westland, Gelderse Vallei). Cumulatief is niet uit te sluiten dat deze kunnen zorgen voor bodemdaling over een groter gebied.

4.2 Vergunningen

Voor vergunningsaanvragen voor WKO's en grootschalige grondwateronttrekkingen is vereist dat de gevolgen voor bodemdaling in beeld gebracht worden.

Voor drinkwaterwinningen geldt dat bij het opstellen van de MER de bodemdaling die het gevolg kan zijn van het in gebruik nemen van een nieuwe winning (als voorbeeld de winning in de Krimpener- of Alblasserwaard [19], of het uitbreiden van een bestaande (als de uitbreiding van de winning bij Vriezeveen [20]) in beeld gebracht moeten worden. Indien nodig moeten dan maatregelen getroffen worden om de effecten van de daling te mitigeren. In het ergste geval kan een vergunning niet verstrekt worden.

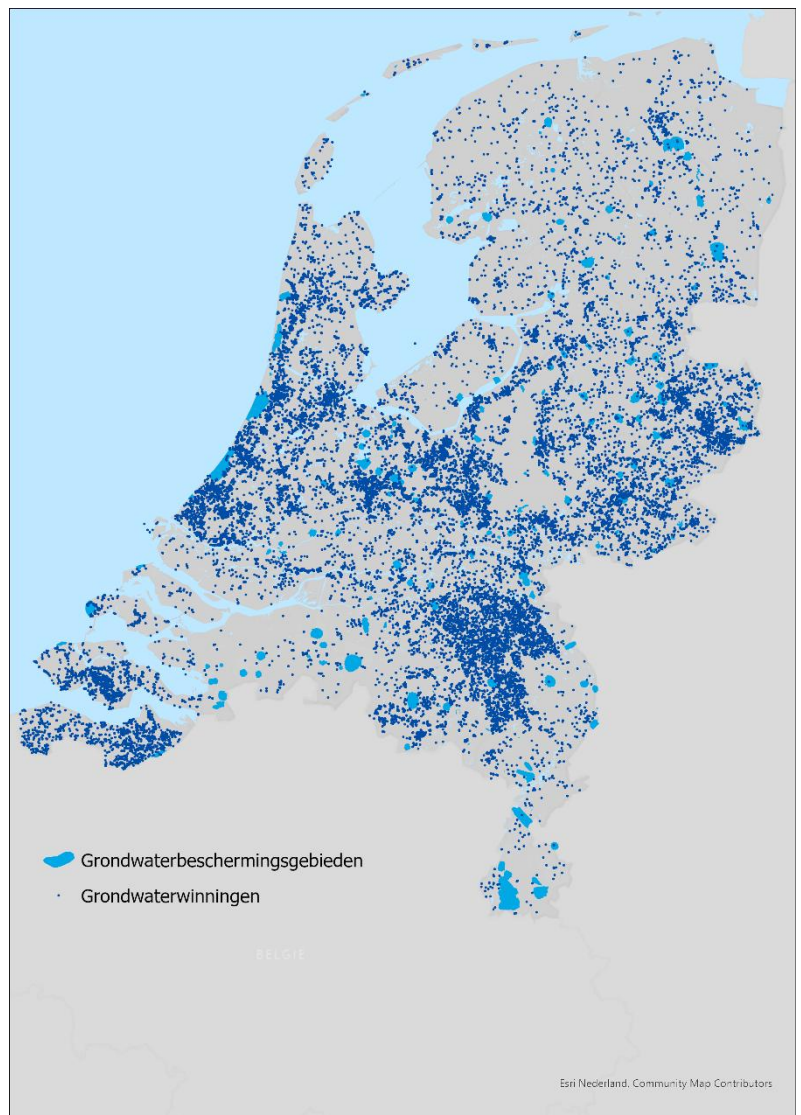
Voor overige grondwateronttrekkingen geldt dat er geen vergunning aangevraagd hoeft te worden wanneer: het een bronbemaling of proefbemaling betreft en het debiet van de onttrekking minder is dan $100 \text{ m}^3/\text{u}$ en de totale hoeveelheid maximaal 100.000 m^3 is of als het bedoeld is voor beregening, bevoeiing of als drinkwater voor vee en het debiet van de onttrekking minder is dan $60 \text{ m}^3/\text{u}$. Tenslotte hoeft ook geen vergunning aangevraagd te worden als het een debiet heeft van minder dan $10 \text{ m}^3/\text{u}$ en het om een ander geval gaat dan hiervoor genoemd [21]. Voor kleine winningen is dus veelal geen vergunning nodig. Toch kunnen veel kleine winningen tezamen lokaal ook een grote hoeveelheid water onttrekken en mogelijk ook een bodemdalingseffect sorteren.

Voor individuele locaties is veelal ook onvoldoende informatie beschikbaar om het effect ervan op bodemdaling in beeld te brengen. Zo concludeert Deltares in een studie uit 2018 dat niet uitgesloten kan worden dat de onttrekkingen uit het eerste watervoerende pakket in het Westland hier tot versnelde bodemdaling leidt. Dit kon echter niet bewezen worden [22].

4.3 Woningen in Nederland

Voor een deel van de winningen is door onvoldoende monitoring van de hoeveelheden die gewonnen zijn en worden, onvoldoende zicht op de mogelijke effecten. Als voorbeeld hiervan zijn de grondwateronttrekkingen in het Westland te noemen [22].

De nevenstaande kaart (Figuur 4-1) laat zien dat er overal in Nederland grondwater onttrokken wordt. Verreweg de meeste onttrekkingen betreffen kleinschalige maar wel vergunningsplichtige onttrekkingen. Op de kaart zijn ook de grondwaterbeschermingsgebieden voor drinkwaterwinning getoond. In deze gebieden wordt water onttrokken aan de diepere ondergrond. Voor het aanvragen van nieuwe drinkwaterwinningen wordt in een Milieueffectrapportage (MER) ingeschat hoeveel daling mogelijk tot gevolg kan hebben. Is dat te veel dan wordt de vergunning niet verleend (tenzij mitigerende maatregelen genomen worden). Monitoring van bodemdaling bij grondwaterwinning vindt niet of nauwelijks plaats. Wel



Figuur 4-1: Ligging grondwaterbeschermingszones voor drinkwaterwinning [23] en grondwateronttrekkingen [24]. Op deze locaties wordt op een of andere wijze grondwater onttrokken (Voor zover vergunningsplichtig en bekend bij BRO). Hoeveelheden onttrokken grondwater zijn veelal niet exact bekend.

worden de effecten van de winning op de grondwaterstanden in de gaten gehouden. Helaas zijn er (openbaar) geen gegevens landelijke beschikbaar over de omvang van de diverse onttrekkingen (zelfs niet of deze meer of minder dan 100.000 m³ onttrokken wordt). Ook ontbreken gegevens over de ouderdom van de winningen of de nog aanwezige vergunningsruimte voor de vergunningsplichtige winningen.

4.4 Conclusies

In voorgaande is beschreven dat het onttrekken van grondwater tot bodemdaling kan leiden. De mate waarin dit het geval is, is voor Nederland echter nog onvoldoende in beeld. Voordat er beleid op gemaakt kan worden is het dus zaak hier meer zicht op te krijgen.

5 Opbarsting

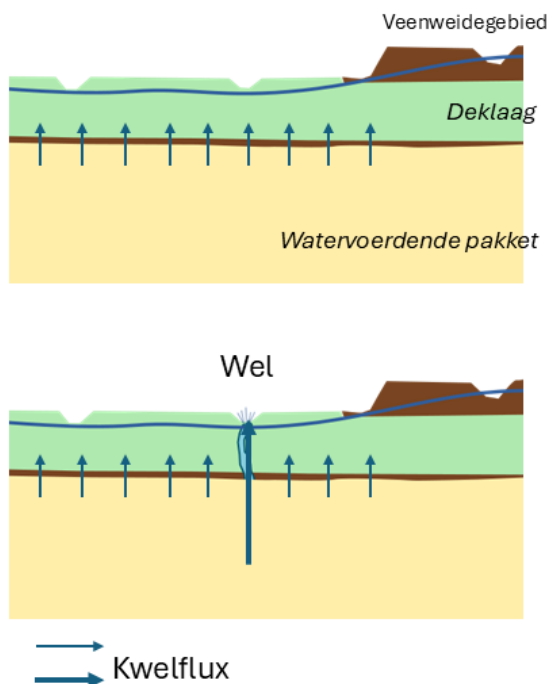
5.1 Algemeen

In haar advies [25] stelt de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (RLI) dat het gestaag voortgaande proces van bodemdaling steeds meer schade toebrengt aan de natuur- en waterkwaliteit, door verzilting en het ongecontroleerd naar boven komen van grondwater (opbarsting) in de zeer laag gelegen polders. Ook stelt het RLI dat polders waar sprake is van opbarsting hydrologisch gezien hoofdpijn dossiers kunnen worden. Het oppervlaktewaterbeheer wordt er gehinderd door dicht slibbende sloten en de zoutlast van het uitgeslagen water. Landbouwkundig gebruik van de grond wordt bemoeilijkt door de zoutlast in het grond- en oppervlaktewater en door de natte condities van de grond als gevolg van het omhoogkomende water (kwel). Op termijn kan het land lokaal onbruikbaar worden doordat (a) de bodem in het maaiveld instabiel wordt en de draagkracht van het land verslechtert en (b) veel landbouwgewassen niet tegen brak water kunnen.

5.2 Wat is opbarsting

Onderstaande uitleg over opbarsting is gebaseerd op de uitleg hierover die te vinden is in een tweetal rapportages van Deltares [26], [27].

Opbarsting treedt op als de bovenste relatief slecht doorlatende laag, deklaag genoemd, niet zwaar genoeg meer is om de druk van het grondwater onder die laag te weerstaan. Als gevolg hiervan barst de grond op, dat wil zeggen er ontstaan scheuren in de deklaag waarna zich preferente stroombanen naar het oppervlak vormen. Dit worden wellen genoemd. Via de wellen komt dieper en daardoor vaak zouter grondwater omhoog naar sloten of naar het maaiveld.



Figuur 5-1: Principe van opbarsting. Boven situatie voor opbarsting. Onder situatie na opbarsting.

In Figuur 5-1 is schematisch weergegeven hoe de situatie verandert door opbarsting.

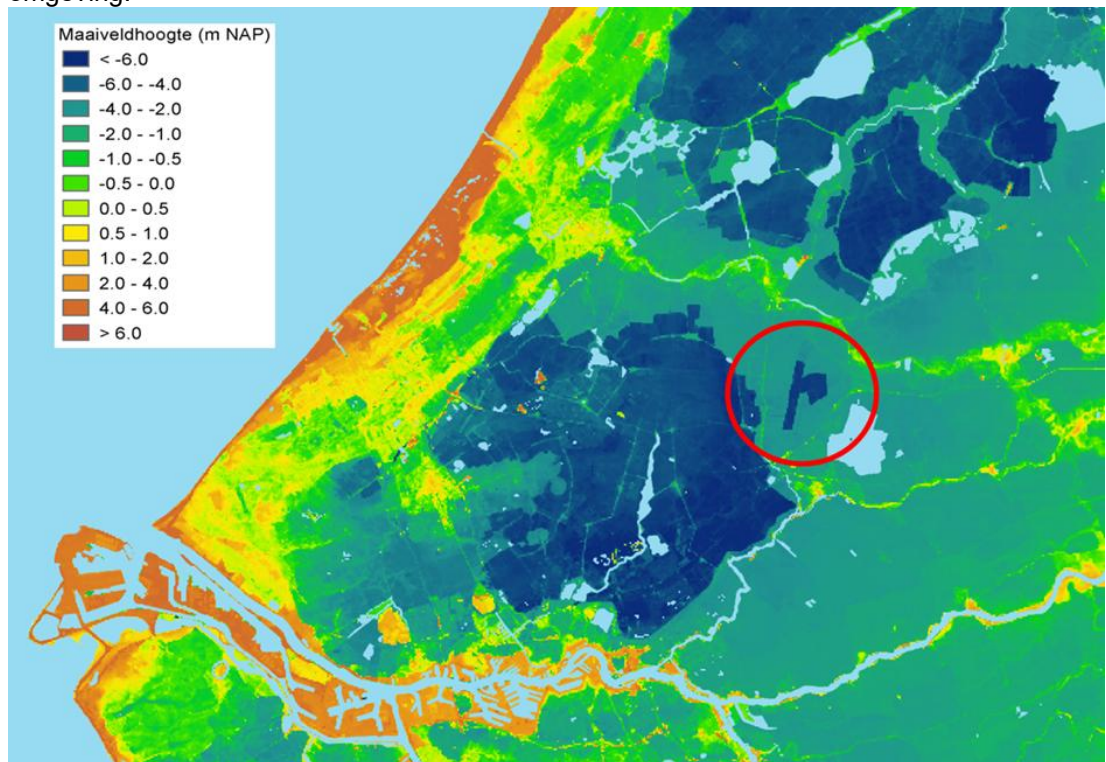
De wellen kunnen dan ook van aanzienlijke invloed zijn op de oppervlaktewaterkwaliteit door het zoutgehalte en de nutriënten die aanwezig kunnen zijn in het welwater. Voor landbouw veroorzaken de wellen problemen door de verminderde draagkracht van de natte bodem. Daarnaast dragen wellen bij aan het inzakken van slootkanten en het dichtslibben van sloten, waardoor de watervoerende capaciteit afneemt en de sloten steeds weer geschoond moeten worden of beschoeiing moet worden aangebracht. Uiteindelijk kan dit leiden tot verminderd functioneren van het oppervlaktewatersysteem en/of een toename van de kosten voor waterbeheer.

Het voorspellen van het toekomstig opbarstisico is lastig. Reden hiervoor is dat het al of niet optreden van opbarsting afhankelijk is van een samenspel van factoren en

afhankelijkheden. Deze zijn zowel geologisch als hydrologisch van aard. Voor het maken van voorspelling is het daardoor dus nodig om geologische en hydrologische modellen te koppelen. Een landelijk beeld van de opbarstrisico's is dan ook nog niet beschikbaar. Wel is er in een aantal gebieden een studie gedaan naar opbarstrisico en de mogelijke oorzaken en gevolgen ervan [26] en [27]. Aan de hand van het voorbeeld van de Middelburg- Tempelpolder wordt hieronder geschetst wat de mogelijke effecten van bodemdaling kunnen zijn op het opbarstrisico. In 2019 heeft Deltares een rapport over de huidige en toekomstige opbarstrisico's in deze polder opgesteld [26]. Voor dit hoofdstuk is hier uit geput.

5.3 Voorbeeld Middelburg- en Tempelpolder

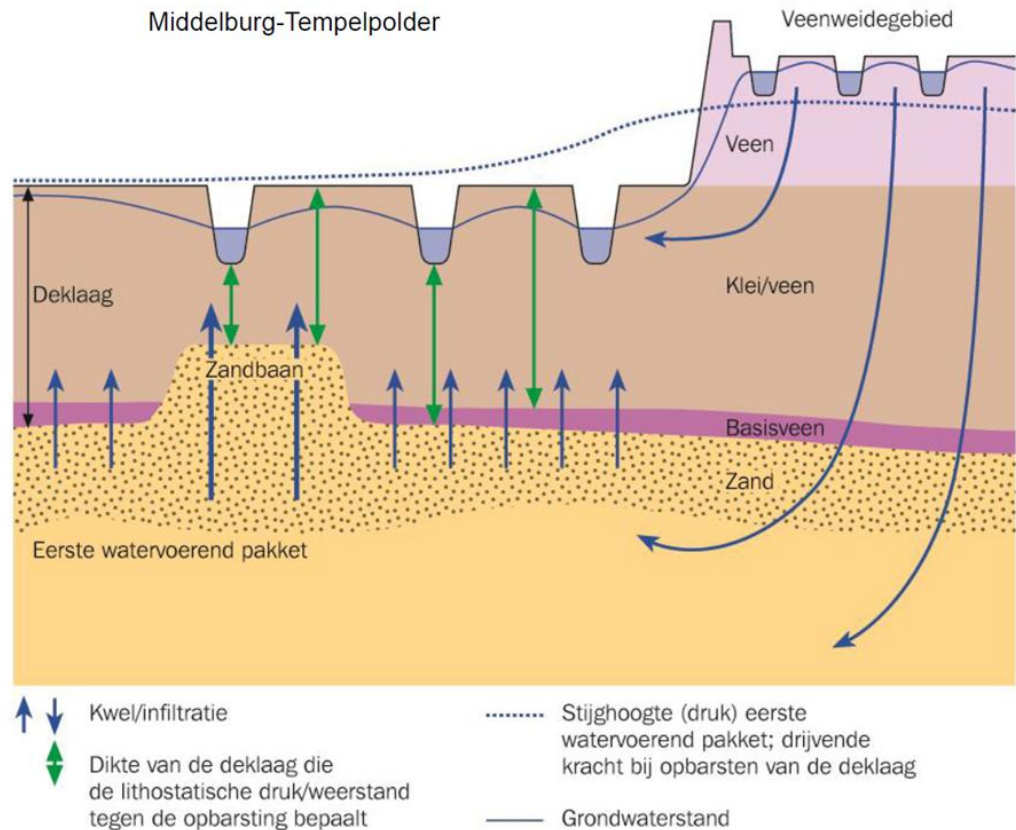
In onderstaande voorbeeld wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste bevindingen uit de studie die Deltares hier in 2019 aan gewijd heeft [26]. De Polder Middelburg en Tempelpolder (verder MT-polder genoemd) in de provincie Zuid-Holland is een laaggelegen droogmakerij midden in het veenweidegebied in het Groene Hart die ongeveer drie meter lager ligt dan de omgeving. In Figuur 5-2 is te zien waar de polder ligt ten opzichte van haar omgeving.



Figuur 5-2: De Polder Middelburg en Tempelpolder (in rode cirkel) in oostelijk Zuid-Holland. Op deze hoogtekartaart (data van AHN.nl [28]) is de polder duidelijk te herkennen als laagte tussen de omliggende relatief hoog gelegen veenweidegebieden. Oorspronkelijk bestaat de polder uit twee verveningen: de Polder Middelburg en de Tempelpolder, die in de loop van de tijd zijn samengevoegd tot één polder en peilgebied [26].

Door zijn lage landschappelijke ligging en topografie heeft de MT-polder te maken met opbarsting. Dit heeft hier dan ook geleid tot de vorming van wellen; in watergangen, in slootkanten en op het maaiveld. Door de continue kwelstroom via deze wellen is de totale afvoer van water uit de polder verhoogd. Daarbij wordt de mate van verhoging niet genoemd. Ook wordt door een aantal wellen brak grondwater aangetrokken, waardoor het oppervlaktewatersysteem deels verzilt is. Dit brakke kwelwater komt via het watersysteem ook in het boezemsysteem wat een negatieve invloed heeft op de waterkwaliteit in het omliggende gebied.

In onderstaande Figuur 5-3 is de situatie in de polder in dwarsdoorsnede geschetst.



Figuur 5-3: De waterstromen die het optreden van opbarsting bepalen in een polder. Als de gronddruk = lithostatische druk (afhankelijk van de dikte en samenstelling van de deklaag) lager wordt dan de grondwaterdruk in het eerste watervoerende pakket, kan de bodem opbarsten. De freatische grondwaterstand in het veenweidegebied buiten de diepe droogmakerij heeft een grote invloed op de grondwaterdruk (stijghoogte) in het eerste watervoerende pakket binnen de droogmakerij. Deze invloed is het grootst aan de randen van de droogmakerij en neemt af naar het midden van de droogmakerij. Figuur overgenomen uit [26].

In de MT-polder daalt de bodem omdat er veenafbraak optreedt. Mede door de bodemdaling kent de polder hoge grondwaterstanden (dicht onder het maaiveld) en veel natte plekken, niet alleen op plekken waar wellen voorkomen. Bij veenafbraak (veenoxidatie) wordt de organische stof omgezet in gassen en opgeloste stoffen waardoor de deklaagdikte en –massa afneemt. Hierdoor neemt in principe het opbarstrisico toe. Door de doorgaande bodemdaling neemt de drooglegging¹ af. Als de drooglegging gehandhaafd wordt door middel van peilindexatie kan de noodzakelijke peilverlaging het opbarstrisico verder verhogen (het grondgewicht neemt af door het lagere freatische peil en verdere veenafbraak).

Kortom, de MT-polder kent nu al een hoog opbarstrisico en veel wellen, en het huidige beleid met betrekking tot peilindexatie kan leiden tot een hoger opbarstrisico in grotere delen van de polder de komende decennia.

In een groot deel van de polder komen wellen voor – met name in de sloten. Wellen aan het maaiveld kunnen wel worden afgeleid (takkenbossen en drains), maar kunnen moeilijk worden gedicht. Als eenmaal een wel is ontstaan, dan is de kans groot dat deze wel lange tijd, zo niet

¹ Drooglegging is het hoogteverschil tussen maaiveld en slootpeil.

altijd, zal blijven bestaan. Ook als het opbarstrisico is geweken. Door de continue stroming van water blijft de wel open en blijft dus haar invloed hebben op de waterkwaliteit.

Uit het onderzoek blijkt dat de meeste wellen in de Polder Middelburg en Tempelpolder zijn ontstaan tijdens het droogmalen van de polder in de 19de eeuw. Een moment dat zeer waarschijnlijk heeft geleid tot het ontstaan van nieuwe wellen is daarnaast de peilverhoging van de nabij gelegen Surfplas in 1971-72. Hierdoor is er een significante stijging van de stijghoogte in de Tempelpolder opgetreden (25 cm op de rand van de polder). Een klein aantal wellen in de Polder Middelburg en Tempelpolder is meer recentelijk ontstaan.

Wellen verlagen de stijghoogte en daarmee het opbarstrisico. Zo zullen er in een gebied waar opbarsting plaatsvindt net zoveel wellen ontstaan totdat de stijghoogte zo is verlaagd dat er een nieuwe evenwichtssituatie is ontstaan. Hiermee hebben wellen een dempend effect: ze verlagen de grondwaterdruk, waardoor het opbarstrisico kleiner wordt. De Polder Middelburg en Tempelpolder bevindt zich nu in zo'n situatie, maar het evenwicht is precair. Alle handelingen in de polder of daarbuiten die leiden tot een verandering van de stijghoogte of de gronddruk (bijvoorbeeld vergravingen) kunnen leiden tot opbarsting en het ontstaan van nieuwe wellen.

Modelberekeningen laten zien dat de bodemdaling door veenoxidatie in de Polder Middelburg en Tempelpolder plaatsvindt met relatief lage snelheden van ca. 1,5 mm per jaar.

Voor het bepalen van het toekomstig opbarstrisico is in [26] gekeken naar de situatie op korte (5 a 10 jaar) tot op de lange (100 jaar) termijn, bij twee peilbeheerscenario's: peilindexatie en peilfixatie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de invloed van het peilbeheer in de Polder Middelburg en Tempelpolder zelf en in de omgeving van de polder.

Uit dit onderzoek [26] blijkt dat het peilbeheer buiten de polder een grotere invloed heeft op het toekomstige opbarstrisico dan het peilbeheer in de polder.

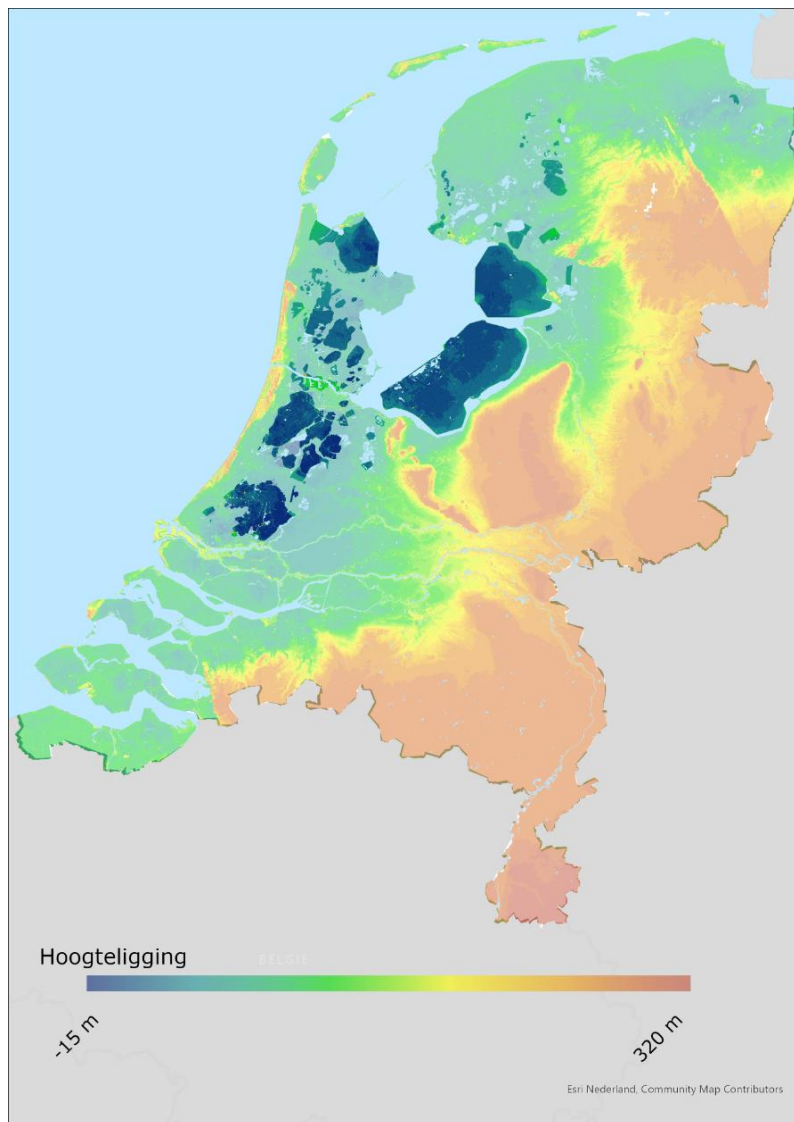
Indien in de omgeving een peilindexatiebeleid wordt gevoerd waarbij de oppervlaktewaterpeilen worden verlaagd op basis van de opgetreden bodemdaling, dan zal het opbarstrisico in de Polder Middelburg en Tempelpolder in de toekomst afnemen. Hoofdrede hiervoor is dat het verlagen van de oppervlaktewaterpeilen en de bijbehorende freatische peilverlaging zorgt voor een afname van de stijghoogte en daarmee de grondwaterdruk onder de deklaag in de polder. Door de peilverlagingen die gedurende de afgelopen decennia zijn doorgevoerd in de omgeving, heeft deze ontwikkeling zich in die periode al voorgedaan.

Als de oppervlaktewaterpeilen in de omgeving niet meer worden aangepast aan de opgetreden bodemdaling (peilfixatiebeleid), dan neemt het opbarstrisico in de Polder Middelburg en Tempelpolder toe. Dit zou een trendbreuk betekenen in de tendens dat het opbarstrisico in de polder geleidelijk afneemt, zoals de afgelopen decennia is gebeurd.

Om het opbarstrisico in de MT-polder zo veel mogelijk beperken, is het op langere termijn (>100 jaar) van het meest gunstig een peilbeleid te voeren waarin in de veenweidegebieden ten oosten, zuiden en noorden van de MT-polder een peilindexatiebeleid wordt gevoerd en in de MT-polder zelf een peilfixatiebeleid.

Mogelijkheden om in de MT-polder het opbarstrisico te verlagen zijn het verlagen van de stijghoogte doormiddel van onttrekkingen of het grootschalig ophogen van de polder. In dat laatste geval zal de polder grootschalig met enkele centimeters moeten worden opgehoogd om het opbarstrisico te verminderen.

Om te voorkomen dat het opbarstrisico in de polder groter wordt is, bij het vaststellen van een nieuw peilbesluit in 2022, besloten in het grootste deel van de polder het bestaande zomerpeil voort te zetten als jaarrond peil. Dit betekent dat de peilen in de winter zijn opgezet met 2 cm ten opzichte van de eerder gehanteerde peilen [29].



Figuur 5-4: Overzicht van de laag gelegen polders en droogmakerijen in Nederland (op basis AHN [28]). De donker uitgelichte gebieden liggen laag ten opzichte van hun omgeving.

5.4 Conclusie bodemdaling en opbarsting

Bovenstaande analyse voor de MT-polder laat zich niet één-op-één vertalen naar heel Nederland. Zoals hierboven ook beschreven is daarvoor voor alle daarvoor in aanmerking komende gebieden een analyse van zowel de geologische als de hydrologische situatie en de interactie daartussen nodig. Lokaal zijn dergelijke analyses elders in meer of mindere mate ook uitgevoerd (voor onder andere het Restveengebied [30] en het Groene hart op hoofdlijnen als geheel [27]).

Gebieden, die in aanmerking komen om nader op hun risico op opbarsting onderzocht te worden, zijn de veelal ten opzichte van hun omgeving diep gelegen droogmakerijen. Op Figuur 5-4 zijn deze afgebeeld voor heel Nederland. Zoals daarop te zien is bevinden deze zich voor het grootste deel in Noord- en Zuid-Holland en Flevoland. In de rest van Laag Nederland zijn het er ook nog enkele.

Een ander punt van aandacht dat in de conclusies voor de MT-polder naar voren kwam, is dat het risico op opbarsting verkleind kan worden door peilfixatie in de diepe polder en voortzetting van het beleid van peilindexatie in de omliggende hoger gelegen veenweidegebieden.

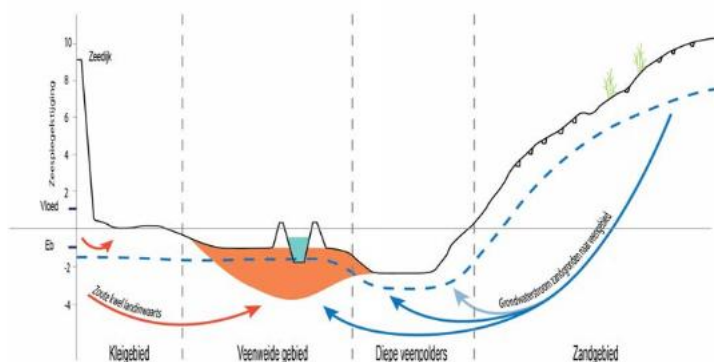
Inmiddels is het beleidsvoornemen of al in praktijk zijnde beleid van veel waterschappen ten aanzien van peilen juist dat gestreefd wordt naar het niet langer indexerend van peilen. Dit is in lijn met de kamerbrief bodem en water sturend [31]. Het effect van dit beleid op de opbarstrisico's vraagt ook om een nader onderzoek.

6 Grootschalige effecten bodemdaling (regionale schaal)

6.1 Algemeen

In de hotspotanalyse [1] is aandacht besteed aan de gevolgen van bodemdaling op de plek waar deze plaatsvindt. De gevolgen zijn echter niet intrinsiek beperkt tot de locatie van bodemdaling. De bodemdaling op plek A, kan een uitstralingseffect hebben op de omgeving. De bodemdaling op plek A heeft dan gevolgen op plek B. In de hotspotanalyse is daar, waar de uitstralingseffecten bekend zijn, bij stil gestaan, maar een ruimtelijke vertaling hiervan bleek veelal zeer lastig te maken. Bodemdaling kan invloed hebben op het gehele bodem- en (grond)watersysteem en op de mogelijkheden tot gebruik van dit systeem. De uitstralingseffecten zijn mogelijk dus van belang bij het maken van keuzes voor gebiedsinrichting op verschillende schalen.

Voor de provincie Friesland is door het Wetterskip Fryslân en Royal HaskoningDHV [32] een poging gedaan om de rol van bodemdaling op het gehele bodem- en (grond)watersysteem van de provincie expliciet te maken, zonder daarbij overigens op de consequenties voor landgebruik in te gaan. Aan de hand van dit voorbeeld wordt geschetst wat nodig om op landelijke schaal de consequenties van bodemdaling op het bodem- en (grond)watersysteem in beeld te brengen als basis voor een analyse voor de mogelijke effecten van bodemdaling en de daarop te maken keuzes voor de inrichting op verschillende schalen.



Figuur 6-1: De samenhang in het Friese bodem- en watersysteem in een dwarsdoorsnede van noordwest (Waddenkust) naar zuidoost (Hoge zandgronden) [32].

veroorzaken: ondiepe en diepe grondwaterstroming. Vanaf de kust stroomt ondiep zout water onder de zeedijk door richting de lage delen en sloten van het kleigebied (bovenste rode pijl in Figuur 6-1). De tweede stroming is een diepe zoute grondwaterstroming die langzaam steeds verder Fryslân in stroomt (onderste rode pijl in Figuur 6-1).

Dit proces is al eeuwen gaande, en wordt versterkt door de veranderingen in Fryslân. Het midden van Fryslân is in de loop der eeuwen gezakt, waardoor het diepe, zoute water sneller en verder Fryslân intrekt. Het veengebied en de bodemdaling die daar nog plaatsvindt, heeft dus grote invloed op het hele grondwatersysteem van Fryslân.”

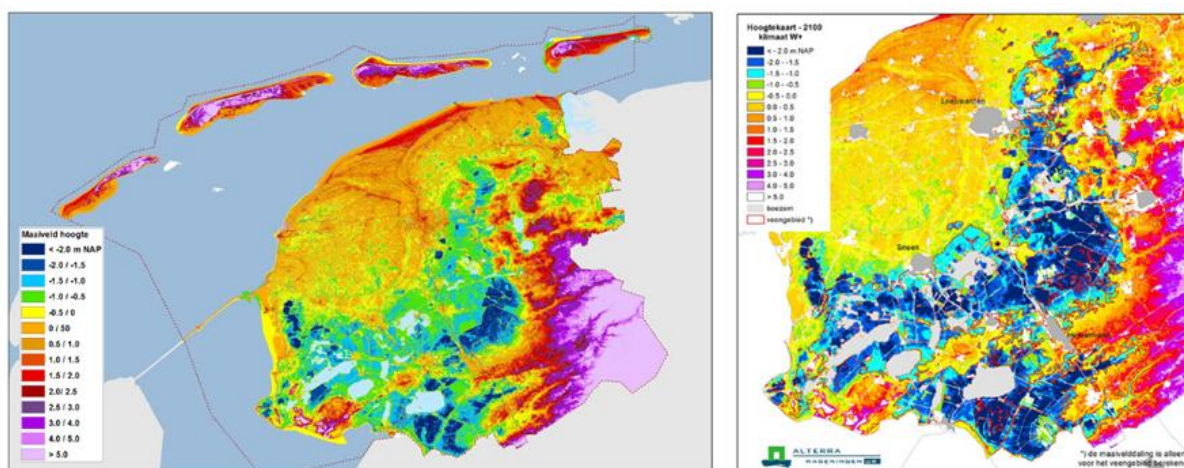
6.2 Friesland als voorbeeld

In de visie Fryslân klimaatbestendig² [32] staat het volgende: “In de huidige situatie stroomt zoet grondwater vanaf de zandgronden richting het lage midden van Fryslân: de diepe veenpolders en het veenweidegebied (blauwe pijlen in Figuur 6-1). Het lage midden trekt als het ware aan het grondwater van de zandgronden en heeft daardoor een verdrogende werking. Er zijn twee grondwaterstromingen die verzilting

² De in deze visie beschreven relaties en concepten worden op hoofdlijnen herkend en onderschreven door Deltares, maar dat impliceert niet dat de beschreven effecten ook door Deltares als even significant worden beoordeeld als die in de visie beoordeeld worden.

Verderop staat: “Als er geen keuzes worden gemaakt en het huidige beleid en beheer wordt voortgezet (zoals het huidige peilbeheer en maatregelen uit het huidige Veenweideprogramma), heeft dat voor de lange termijn (circa 2100- 2150) de volgende consequenties:

- Bijna al het veen is verdwenen. Er ontstaat een ‘golvend’ zandlandschap met een maaiveldhoogte die varieert van -1 tot -3,5 meter onder NAP (zie ook hoogtekartaat Figuur 6-2 links).
- Door het verdwijnen van de slecht doorlatende veenlaag neemt de kwel vanuit het zandgebied de ondergrond sterk toe³ (blauwe pijlen in Figuur 6-3). Op de zandgronden daalt daardoor de grondwaterstand. Dit effect wordt versterkt door de droge zomers.
- Vanuit het westen neemt de diepe zoute grondwaterstroom ook toe door het ontstane lage deel, versterkt door de zeespiegelstijging.
- Als het peil van de Friese boezem niet wordt aangepast aan het dalende maaiveld betekent dit dat de Friese boezem en de meren ver boven het toekomstige maaiveld komen te liggen en veel water verliezen naar de omgeving. Bredere waterkeringen en grotere poldergemalen zijn nodig, om polders te beschermen tegen overstroming en wateroverlast.
- De beekdalen waar nu ook nog veen aanwezig is, dalen en gaan diep insnijden⁴ in de zandgronden. De omliggende zandgronden verdrogen daardoor nog verder.
- De Noordoostpolder veroorzaakt grondwaterstroming vanuit de zuidelijk gelegen veenpolders en dient in de analyses betrokken te worden.”

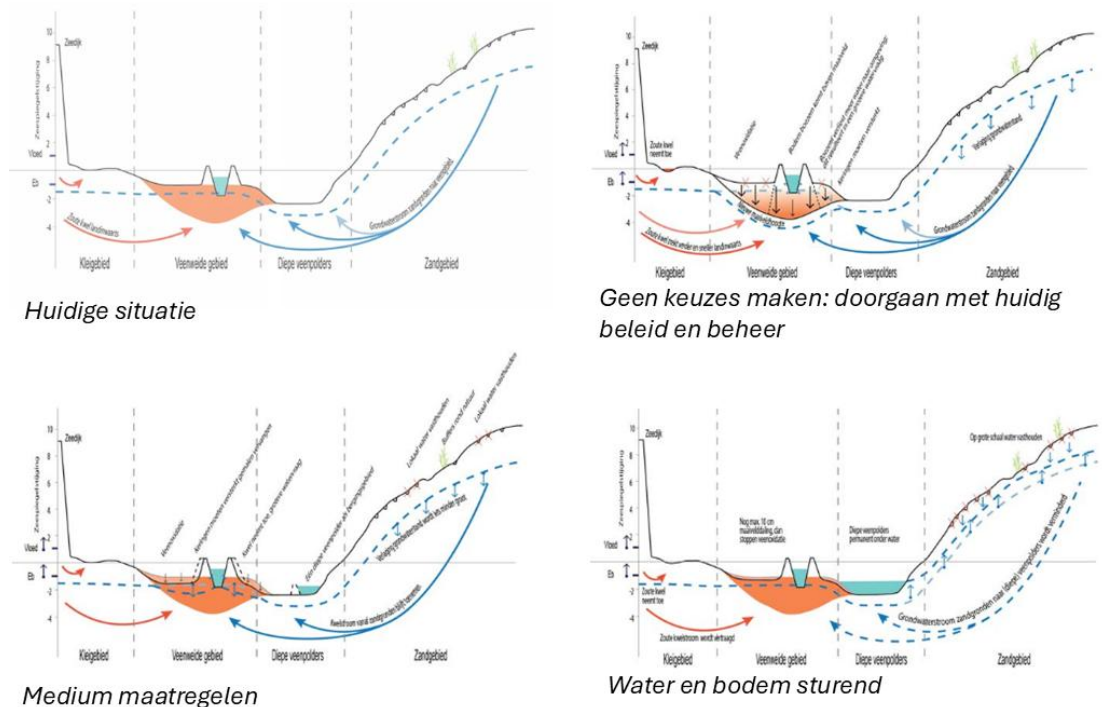


Figuur 6-2: Hoogtekartaat huidige situatie (rechts) en als alle veen verdwenen is (links) [32].

Om bovenstaande gevolgen te voorkomen of op de lange baan te schuiven wordt gesteld dat er maatregelen genomen kunnen worden. Deze behelzen vooral ingrepen in het peilbeheer. De peilen zullen niet langer geïndexeerd moeten worden, maar verhoogd. Daarbij hoort ook dat in het veenweidegebied maar mogelijk ook daarbuiten nattere omstandigheden geaccepteerd zullen moeten worden en waterbergingen ingericht zullen moeten worden. Dit geldt niet alleen voor de gebieden waar nu nog veenlagen van enige dikte (> 80 cm) aanwezig is, maar ook in de gebieden waar nu nog relatief weinig veen aanwezig is (40 – 80 cm). Juist in deze gebieden moet op korte termijn de keuze gemaakt worden of er actief ingegrepen wordt of dat de hydrologische functie van deze gebieden als “deksel op de pan” niet langer in stand gehouden wordt. In Figuur 6-3 zijn de gevolgen van de verschillende strategieën voor het gebied in beeld gebracht.

³ Deze relatie wordt door Deltares nadrukkelijk niet als zodanig herkend.

⁴ Deltares stelt dat nader onderzoek zou dit moeten uitwijzen.



Figuur 6-3: Gevolgen van verschillende strategieën bij het omgaan met het beheer van de bodem en het grondwater. Linksboven de huidige situatie. Rechtsboven de situatie Waarin het huidige beleid voortgezet wordt. De zoute kwel (rode lijnen) komt dan steeds verder landinwaarts. Het maaiveld daalt verder en de grondwaterstanden op de hogere zandgronden zakt ook als gevolg van grotere kwel naar veengebied. Linksonder de strategie Medium maatregelen. In feite treedt dan hetzelfde op als in de strategie Geen keuzes maken, maar dan langzamer. Rechtsonder tenslotte in de strategie water en bodem sturend, wordt de zoute kwel vertraagd (rode pijlen). Ook de grondwaterstroming van de hoge zandgronden naar de veengebieden wordt verminderd, waardoor de grondwaterstanden in dit gebied ook zullen stijgen [32].

Met bovenstaande geven de Friese overheden aan dat in Friesland het bodem- en watersysteem tegen haar grenzen aanloopt en dat het systeem met en zonder ingrijpen zal veranderen. Het al of niet behouden van het veen door bodemdaling tegen te gaan of zo veel mogelijk te beperken speelt hierin een cruciale rol. In alle gevallen hebben de veranderingen (op termijn) ook consequenties voor niet alleen het veengebied zelf maar ook voor de omliggende gebieden, waar bodemdaling niet of in veel mindere mate speelt. Opvallend is overigens dat in de studie voor Friesland de rol van diepe bodemdaling buiten beschouwing gelaten is. Zo is op Figuur 2-1 en Figuur 2-2 te zien dat er in Friesland nog zout- en gaswinning plaats vindt of gepland is. Het voortzetten van winning en in productie nemen van de geplande extra gasvelden kan ook consequenties hebben voor het bodem en watersysteem in de provincie.

Wat er ook gekozen wordt, de keuze heeft op termijn ook consequenties voor het type landgebruik dat mogelijk is in de gebieden. Keuzes ten aanzien van het (grond)waterbeheer in de gebieden zullen dus in samenhang met het landgebruik gemaakt moeten worden. De zorgen van de Friese overheden beperken zich niet alleen tot de ondiepe bodemdaling in de veenweidegebieden, maar beslaan ook de gevolgen van de actuele en nog komende bodemdaling door gaswinning in de provincie [33].

6.3 Conclusies grootschalige effecten bodemdaling

Voor Friesland is het uitstralingseffect van bodemdaling in het veenweidegebied op hoofdlijnen in beeld gebracht op het terrein van waterbeheer. In het vervolg gaat Friesland ook na wat hiervan dan weer de consequenties op andere beleidsterreinen en de daarbij spelende opgaves zijn.

Kijkend naar Nederland zal de situatie in Friesland niet uniek zijn en heeft bodemdaling in veenweidegebieden en in andere gebieden ook voor hun omgeving een uitstralend effect. Om dit goed in beeld te brengen is het nodig het gehele bodem- en (grond)watersysteem in een gebied grondig door te lichten. Op de schaal van Nederland is dit nog niet gedaan en vraagt dit waarschijnlijk ook een zeer grote inspanning. Het verdient echter aanbeveling ook voor de rest van Nederland een dergelijke analyse te maken. Dit is van belang om de keuzes in het bodem- en watersysteem te onderbouwen en toekomstbestendig te maken.

7 Conclusies

In de voorgaande hoofdstukken is aantal aspecten van bodemdaling, oorzaken van bodemaling en effecten van bodemdaling behandeld. Doel hiervan was om bodemdalingsgerelateerde problematiek rond deze aspecten aan de hand van generieke kennis en beschikbare voorbeelden in beeld te brengen en te identificeren waar nader onderzoek gewenst is.

7.1 Diepe bodemdaling en steenkoolwinning

Bodemdaling door delfstofwinning (gas, olie, zout en steenkool) heeft effecten op de waterhuishouding in de gebieden waar dit speelt en gespeeld heeft. Dit leidt afhankelijk van de lokale omstandigheden tot verhogingen of verlagingen van de grondwaterstanden. Dit kan bij zowel vernatting of verdroging tot schades aan funderingen en boven en ondergrondse infrastructuur leiden, en vooral bij vernatting tot landbouwschades.

In het waterbeheer en landgebruik wordt hier veelal al rekening mee gehouden. Met maatregelen kunnen slechts de effecten van de bodemdaling in meer of mindere mate tegengegaan worden. Omdat ook na het stopzetten van de winning de dalingen aanhouden is het volledig tegengaan van de (verdere) bodemdaling onmogelijk. Beleidskeuzes ten aanzien van dit type bodemdaling zijn vooral keuzes voor het type mitigerende maatregelen en het al dan niet in gebruik nemen van nieuwe of verlengen van bestaande, winningen.

Het ministerie van Klimaat en Groene Groei heeft recent een voorziening ingericht die zorg draagt voor het afhandelen van de schades. De gebieden waar voormalige steenkoolwinningen liggen zijn echter niet altijd even goed afgebakend. Ook daardoor is het onduidelijk waar zich schades kunnen voordoen. Nader onderzoek hiernaar is dus gewenst.

De gevolgen van gaswinning zijn niet voldoende bekend en nog onvoldoende gekwantificeerd (met name de indirecte gevolgen). Intituut Mijnbouwschade Groningen doet hier onderzoek naar en is ook verantwoordelijk gesteld voor het afhandelen van de schades die optreden als gevolg van gaswinning in Groningen.

Zoutwinning kan net als gaswinning leiden tot veranderingen in de waterhuishouding en daardoor schades tot gevolg hebben.

Geothermie levert naar de inschattingen nu geen bodemdaling op. Het is echter zaak dit in de gaten te houden.

7.2 Grondwaterwinning

Over de relatie tussen grondwaterwinning en bodemdaling is op dit moment te weinig kennis beschikbaar om hier generieke uitspraken over te doen. Voor grote winningen dient in een vergunningsaanvraag rekening gehouden te worden met bodemdaling, voor kleinere winningen is dat niet het geval.

Het verdient aanbeveling met name van het cumulatieve effect van de kleinere winningen, die geen MER hoeven opstellen maar alleen een vergunning aan hoeven te vragen, in beeld te brengen. Dit betekent dat duidelijk moet worden waar, bij welke mate van onttrekkingen uit welke watervoerende pakketten grondwaterwinning leidt tot bodemdaling. Dit geldt met name voor bodemdalingsgevoelige gebieden. Alleen als dit ook goed in beeld is, kan hier in het ruimtelijk beleid rekening mee gehouden worden of beleid op gemaakt worden.

7.3 Opbarsting

Bodemdaling kan in en rond het gebied waar dit optreedt leiden tot het vergroten van het opbarstrisico. Er is geen landelijk beeld beschikbaar met daarop de effecten van bodemdaling op het opbarstingsrisico. Slechts voor individuele polders of deelgebieden is het

opbarstingsrisico bekend, waarbij de risicotoename door bodemdaling nog niet altijd goed in beeld gebracht is. Toch zal het risico lokaal door bodemdaling licht toenemen. Nu peilen gefixeerd of zelfs verhoogd gaan worden om de bodemdaling in veengebieden te remmen, is het van belang de gevolgen daarvan op het opbarstingsrisico in omliggende diepe polders te kennen. Op die manier kan bij een beleidskeuzes die door Waterschap of Provincie in het bodem- en watersysteem gemaakt wordt, bewust rekening gehouden worden met opbarsting.

7.4 Grootschalige effecten

De studie in de provincie Friesland illustreert op welke wijze bodemdaling een uitstralend effect heeft. Bodemdaling in bijvoorbeeld een veenweidegebied kan tot in de wijde omtrek effect hebben op het (grond)watersysteem. Een dergelijke studie kan, wanneer de relaties goed onderbouwd zijn, vervolgens dienen als onderbouwing voor beleid en de keuzes die daarin gemaakt worden in het bodem- en (grond)watersysteem. Daarbij moet ook de rol die mijnbouw (delfstoffenwinning) niet vergeten worden. Het beleid en de keuzes die hieruit volgen zullen echter op haar beurt ook dwingen tot keuzes op andere beleidsterreinen (ruimtelijke inrichting, landgebruik). In de studie voor Friesland wordt geconcludeerd dat deze keuzes op termijn ingrijpende gevolgen zullen hebben (of je nou wel of geen wijzigingen in het beleid doorvoert). Het Friese voorbeeld is echter nog onvoldoende met feiten onderbouwd en het is dan ook nodig dat er een grondiger studie wordt gedaan om de conclusies hard te maken.

Ook voor andere gebieden en op andere schalen heeft bodemdaling een uitstralend effect. Zeker voor het maken van beleid, waarin het bodem- en (grond)watersysteem een centralere rol toebedeeld krijgt, is het verstandig om deze effecten te kennen. Hiervoor is nader onderzoek voor de rest van Nederland nodig. In eerste instantie zou dat net als voor Friesland op basis van expertkennis kunnen, waarbij de openstaande vragen naar voren kunnen komen. Vervolgens moeten deze en ook de algemene conclusies van een dergelijke studie met onder andere modelkennis kwantitatief onderbouwd worden. De eerste stap in een dergelijke analyse op de schaal van Nederland is al mogelijk op basis van de in de hotspotkaarten en de resultaten uit deze studie.

Bronnen

- [1] Levelt, O. (2025). *Hotspotkaarten bodemdaling. Deltaresrapport nr 11210358-000-BGS-0002*. Utrecht.
- [2] STOWA. (2020, Februari). *Deltafact Bodemdaling (versie 3.1)*. Opgehaald van STOWA: <https://www.stowa.nl/deltafacts/ruimtelijke-adaptatie/adaptief-deltamanagement/bodemdaling>
- [3] Kooi, H., Landwehr, J., Stuurman, R., van Meerten, J., Levelt, O., & Korff, M. (2021). *Indirecte schade-effecten van diepe bodemdalingen stijging bij het Groninger gasveld en gasopslag Norg*. Utrecht.
- [4] Commissie Bodemdaling door aardgaswinning. (2025, juni). *Gevolgen waterhuishouding*. Opgehaald van Commissie Bodemdaling door aardgaswinning: <https://commissiebodemdaling.nl/>
- [5] ABDTOPConsult. (2025). *De Olifant onder de Kamer*. Den Haag: Ministerie van BZK, Algemene Bestuursdienst
- [6] Kooi, H., van Asselen, S., Oude Essink, G., Erkens, G., Delsman, J., & Roholl, J. (2025). *Beantwoording adviesvragen t.b.v. belangenafweging bij aanvragen voor gaswinning in Friesland in verband met effecten bodemdaling*. Utrecht: Deltares.
- [7] Fryslân, W. (2025, juni). *Mijnbouw en effecten waterhuishouding Fryslân*. Opgehaald van Wetterskip Fryslân: <https://www.wetterskipfryslan.nl/kaarten/mijnbouw>
- [8] Ministerie van Klimaat en Groene groei. (2025, juni). *Staatstoezicht op de Mijnen - Bodemdaling*. Opgehaald van Staatstoezicht op de Mijnen: <https://www.sodm.nl/onderwerpen/bodemdaling>
- [9] TNO Geologische dienst, & Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025, juni). *NLOG - Bodemdaling*. Opgehaald van NLOG - Nederlands Olie- en Gasportaal: <https://www.nlog.nl/bodemdaling>
- [10] Staatstoezicht op de Mijnen. (2025, juni). *Zoutwinning*. Opgehaald van <https://www.sodm.nl/sectoren/zoutwinning>
- [11] Ministerie van Klimaat en Groene groei. (2025, juni). *Staatstoezicht op de Mijnen – veelgestelde vragen over geothermie*. Opgehaald van Staatstoezicht op de Mijnen-sectoren: <https://www.sodm.nl/sectoren/geothermie/veelgestelde-vragen-geothermie>
- [12] Staatstoezicht op de Mijnen. (2014). *Na-ijlenede gevolgen steenkolenwinning Zuid-Limburg (inventarisatie)*.
- [13] Staatstoezicht op de Mijnen. (2021). *Staat van de Sector Voormalige steenkoolwinning, Met constatering en aanbevelingen voor nazorgbeleid delfstofwinning*. Den Haag: Ministerie van Economische zaken en Klimaat.
- [14] Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025, oktober 16). *Besluit tegemoetkoming particuliere woningeigenaren mijnbouwschade steenkoolwinning Limburg. Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden*.
- [15] Kooi, H. (2022). *Meer systeemkennis nodig rond bodemdaling door onttrekkingen. Bodem nr. 4*
- [16] Deltares - Taskforce Subsidence. (2015). *Sinking Cities*. Delft/Utrecht.
- [17] STOWA. (2020, Februari). *Deltafact Bodemdaling (versie 3.1)*. Opgehaald van STOWA: <https://www.stowa.nl/deltafacts/ruimtelijke-adaptatie/adaptief-deltamanagement/bodemdaling>
- [18] Delft, G. (2025, juni). *Grondwater oppompen Delft-Noord*. Opgehaald van Gemeente Delft: <https://www.delft.nl/grondwater-oppompen-delft-noord>
- [19] Commissie voor de milieueffectrapportage. (2021). *Ontwikkeling oevergrondwaterwinning in de Krimpenerwaard of Alblasserwaard ,Advies over de reikwijdte en detailniveau van het milieueffectrapport*. Utrecht.

- [20] Vitens. (2025, juni). *Effecten drinkwaterwinning en schade, Vriezeveen, Daarlerveen en Daarle*.
- [21] Informatiepunt Leefomgeving. (2025, juni). *Vergunningplicht voor grondwater onttrekken en water infiltreren*. Opgehaald van Informatiepunt voor de Leefomgeving: <https://iplo.nl/thema/water/wateractiviteiten/wateronttrekingsactiviteiten/vergunningplicht-grondwater-onttrekken-water/>
- [22] Kooi, H. (2018). *Bodemdaling door grondwateronttrekking in het Westland en omgeving. Deltares rapport nr 11202399-005-BGS-0002*. Utrecht.
- [23] RIVM. (2025, juni). *Grondwaterbeschermingsgebieden rondom bronnen voor drinkwater*. Opgehaald van RIVMData: <https://data.rivm.nl/meta/srv/api/records/1ad6e0e0-8684-4a63-afe0-df1089072653>
- [24] Ministerie van VRO. (2025, juni). *Grondwatergebruik*. Opgehaald van BRO| Basisregistratie Ondergrond: <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/grondwatergebruik/>
- [25] Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. (2020). *Stop bodemaling in het veenweidegebied, Het Groene Hart als voorbeeld*. Den Haag.
- [26] Erkens, G., de Louw, P., Bootsma, H., & Kooi, H. (2019). *Huidig en toekomstig opbarstrisico in de polder Middelburg en Tempelpolder, Bodemdaling, opbarsting en wellen. Deltares rapport nr 11200839-000-BGS-0004*. Utrecht.
- [27] Erkens, G., de Louw, P., Bootsma, H., Stafleu, J., van den Akker, J., & Kooi, H. (2018). *Huidig en toekomstig opbarstrisico in de provincie Zuid-Holland*. Utrecht/Delft.
- [28] Actueel Hoogtebestand Nederland. (2025). *AHN-viewer*. Opgehaald van AHN: www.ahn.nl
- [29] Hoogheemraadschap van Rijnland. (2022). *Waterschapsblad 2022 nr 1949*.
- [30] Provincie Zuid-Holland. (20xx). *Publiekssamenvatting Onderzoek knikpunt Restveengebied Zuidplaspolder*.
- [31] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022, november 25). Water en Bodem sturend. *Kamerbrief over rol Water en Bodem bij ruimtelijke ordening*. Den Haag.
- [32] Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, & Royal HaskoningDHV. (2023). *Fryslân Klimaatbestendig 2050+, Water en bodem sturend in de ruimtelijke inrichting van Fryslân (versie 5)*
- [33] Kooi, H., & van Asselen, S. (2025). *Beantwoording adviesvragen t.b.v. belangenafweging bij aanvragen voor gaswinning in Friesland in verband met effecten bodemdaling. Deltares rapport nr. 11206960-024-BGS-0002*. Utrecht.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl