

Indirecte schade-effecten van diepe bodemdaling en -stijging bij het Groningen gasveld en gasopslag Norg



Indirecte schade-effecten van diepe bodemdaling en -stijging bij het Groningen gasveld en gasopslag Norg

Auteur(s)

dr. H. Kooi

ir. J.C. Landwehr

drs. R.J. Stuurman

ir. J.J. van Meerten

drs. O. Levelt

dr. ir. M. Korff

Samenvatting

Dit rapport doet verslag van een onderzoek naar indirecte effecten van diepe bodemdaling boven en in de nabijheid van het Groningenveld en gasopslag Norg die wordt veroorzaakt door de gasproductie- en -opslagactiviteiten. De effecten zijn gericht op gebouwschade.

Het onderzoek is uitgevoerd om een eerste advies over deze effecten te verstrekken aan het Instituut voor Mijnbouwschade Groningen (IMG). Het IMG is het onafhankelijk bestuursorgaan dat verantwoordelijk is voor de afhandeling van alle schade veroorzaakt door bevingen, bodemdaling en bodemstijging. Het gevraagde advies heeft betrekking op twee aandachtsgebieden waar wel diepe bodemdaling/-stijging is opgetreden, maar die buiten het gebied liggen waarin een minimale trillingssnelheid kan zijn opgetreden door bevingen in het gebied van het Groningenveld.

Op basis van beschikbare literatuur en aanwezige 'in-house' kennis binnen Deltares is eerst een algemeen overzicht gemaakt van mogelijke paden waarlangs diepe bodemdaling of -stijging *indirect* schade of gebreken aan panden kan veroorzaken, en van de factoren die bepalend zijn voor de kans op schade of gebreken. Vervolgens zijn conservatieve grenswaarden opgesteld waarvoor veilig kan worden gesteld dat wanneer de grenswaarden niet wordt bereikt er ook geen schade kan (zijn) ontstaan door de indirecte effecten. Er is geconcludeerd dat alle mogelijke indirecte effecten van diepe bodemdaling ontstaan via veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem. Die veranderingen zijn in eerste instantie autonoom, maar kunnen worden gevolgd door wijzigingen die door waterbeheerders worden doorgevoerd om ongewenste gevolgen van de autonome ontwikkeling te mitigeren. Er zijn drie effectpaden onderscheiden. Deze lopen via 1) veranderingen in relatieve boezempeilen (ten opzichte van polderpeilen en grondwaterniveaus in naastgelegen percelen); 2) veranderingen in polderpeilen in watergangen ten opzichte van het maaiveld (drooglegging); 3) verandering in regionale grondwaterstroming door het ontstaan van de bodemdalingskom. De opgestelde grenswaarden hebben betrekking op relatieve grondwaterstandsveranderingen die door deze effectpaden (individueel of cumulatief) kunnen ontstaan bij funderingen. Daarin is onderscheid gemaakt in een grenswaarde voor schade door samendrukking/zetting van bodemlagen onder funderingen en een grenswaarde voor andere schadeprocessen (zetting door oxidatie van veen onder funderingen; bodemvervorming door krimp-zwel van klei onder funderingen; aantasting van houten paalfunderingen).

Vervolgens is een analyse gemaakt van mogelijke relatieve grondwaterstandsveranderingen door diepe bodemdaling voor de twee aandachtsgebieden en voor de drie effectpaden. In de analyse zijn uitgangspunten gebruikt die moeten voorkomen dat de mogelijke grondwaterstandsveranderingen worden onderschat. De berekende relatieve grondwaterstandsveranderingen zijn vergeleken met de opgestelde grenswaarden. Daarmee is een tweedeling opgesteld in gebiedsdelen binnen de aandachtsgebieden waarin indirecte effecten kunnen worden uitgesloten, en waar indirecte effecten niet kunnen worden uitgesloten. Daarnaast is beschikbare gebiedsdekkende informatie verzameld en gevisualiseerd over de deformatiegevoeligheid van de ondergrond voor de verschillende schadeprocessen die kunnen optreden. Dat verschaft een indruk of er binnen de gebiedsdelen waar op grond van relatieve grondwaterstandsverandering sprake zou kunnen zijn van indirecte effecten, verwacht kan worden de betreffende processen (samendrukking/zetting; oxidatie, krimp-zwel, aantasting van houten funderingen) zouden kunnen optreden. Deze informatie is echter niet gebruikt om de gevonden deelgebieden waar indirecte effecten niet kunnen worden uitgesloten verder te verkleinen.

De conclusies zijn apart beschreven per aandachtsgebied (3.5, 4.5) en samengevat in een conclusie hoofdstuk (5). In het aandachtsgebied bij gasopslag Norg kunnen met de gebruikte systematiek indirecte effecten niet worden uitgesloten in twee deelgebieden (Figuur 3.16). In het aandachtsgebied bij het Groningenveld kunnen indirecte effecten niet worden uitgesloten in diverse deelgebieden van historische peilvakken en in een invloedsgebied rond boezemtrajecten van de Pekel Aa (Figuur 4.14).

Voor de gebieden waar op basis van de uitgevoerde analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten staat vanzelfsprekend niet vast dat er daadwerkelijk sprake is van schade-effecten. De kans daarop is alsnog klein en sterk afhankelijk van lokale factoren, waaronder de mate waarin de veilige grenswaarden voor grondwaterstandsverlaging kunnen zijn overschreden.

Een indirect schade-effect van diepe bodemdaling bewijzen is onmogelijk; verder uitsluiten is wel mogelijk. De volgende informatie en typen onderzoek kunnen daarbij worden gebruikt:

- Informatie over het waterafvoerpunt van historische peilvakken (gemaal/stuw) kan worden gebruikt om nauwkeurigere schattingen te maken van de verandering in de drooglegging, en daarmee van de grondwaterstandsverandering binnen het peilvak. Daarmee kunnen de aangewezen deelgebieden waar een indirect effect niet kan worden uitgesloten naar verwachting verder worden verkleind.
- Een studie van het grondwatersysteem rond de boezemtrajecten van de Pekel Aa kan worden gebruikt om het effect van de boezempeilverlaging op grondwaterstanden nauwkeuriger te bepalen. Zowel het invloedsgebied als de grootte van de verlaging zijn nu overschat.
- Op pandniveau kan met behulp van boringen informatie worden verkregen over de bodemopbouw, geotechnisch eigenschappen, en van de laagste grondwaterstand. Samen met informatie over het type fundering en een bovengrens voor de grondwaterstandsverandering die kan zijn veroorzaakt door diepe bodemdaling kan deze informatie worden gebruikt om te beoordelen of een schade-effect van de grondwaterstandsverandering mogelijk is. Over de werkwijze die een deskundige zou moeten volgen bij dit pandonderzoek wordt het IMG nog door Deltares gerapporteerd in een apart document.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Adviesvraag	8
1.2	Tussenwoord	9
1.3	Definitie van centrale begrippen	9
1.4	Aanpak en leeswijzer	10
2	Algemene beschouwing van indirecte effecten van diepe bodemdaling en -stijging	11
2.1	Voorgaande studies naar indirecte effecten	11
2.2	Ontstaan van schade aan gebouwen	11
2.3	Overzicht van indirecte effectpaden	13
2.4	Grondwaterstandsverandering ten opzichte van funderingen	15
2.4.1	Factoren die de grondwaterstand bepalen	15
2.4.2	Verandering via het boezempeil	16
2.4.2.1	Hoe het werkt	16
2.4.2.2	Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen	17
2.4.3	Verandering via het polderpeil	18
2.4.3.1	Hoe het werkt	18
2.4.3.2	Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen	20
2.4.4	Verandering via regionale grondwaterstroming	21
2.4.4.1	Hoe het werkt	21
2.4.4.2	Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen	22
2.5	Schademechanismen bij relatieve grondwaterstandsverandering	22
2.5.1	Beschrijving funderingen	23
2.5.2	Relatieve grondwaterstandstijging	24
2.5.3	Relatieve grondwaterstandsverlaging	25
2.6	Schadebepalende relatieve grondwaterstandsveranderingen	26
2.6.1	Grenswaarden vanuit literatuur	26
2.6.2	Opgestelde conservatieve grenswaarde voor gebruik in deze studie	28
2.7	Andere oorzaken van schade dan door bevingen en indirecte effecten van diepe bodemdaling	29
3	Analyse aandachtsgebied bij gasopslag Norg	30
3.1	Algemene karakteristieken	30
3.2	Opgetreden diepe bodemdaling en -stijging	33
3.3	Relatieve grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling	34
3.3.1	Via relatieve peilverandering van boezems	34
3.3.2	Via verandering in drooglegging in ontwateringseenheden	35
3.3.3	Via verandering in regionale grondwaterstroming	38
3.4	Deformatiegevoeligheid van de ondergrond in relatie tot grondwaterstandsverandering	39
3.4.1	Samendrukking-/zettingsgevoeligheid	40

3.4.2	Krimp-zwelgevoeligheid	41
3.4.3	Oxidatiegevoeligheid	41
3.4.4	Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen	42
3.5	Conclusies met betrekking tot indirecte schaderisico's door diepe bodemdaling	43
4	Analyse aandachtsgebied bij het Groningen gasveld	45
4.1	Algemene karakteristieken en gebiedsontwikkeling	45
4.2	Opgetreden diepe bodemdaling	48
4.3	Relatieve grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling	49
4.3.1	Via relatieve peilverandering van boezems	49
4.3.2	Via verandering in drooglegging in peilvakken	50
4.3.3	Via verandering in regionale grondwaterstroming	53
4.4	Deformatiegevoeligheid van de ondergrond in relatie tot grondwaterstandsverandering	54
4.4.1	Samendrukking-/zettingsgevoeligheid	55
4.4.2	Krimp-zwelgevoeligheid	56
4.4.3	Oxidatiegevoeligheid	57
4.4.4	Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen	58
4.5	Conclusies met betrekking tot indirecte schaderisico's door diepe bodemdaling	59
5	Conclusies	61
6	Overzicht van toegepaste veiligheidsmarges in de uitgangspunten	63
7	Referenties	65

1 Inleiding

1.1 Adviesvraag

Het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG) heeft aan Deltares gevraagd te adviseren over mogelijke indirecte (schade)effecten van diepe bodemdaling en -stijging boven en in de nabijheid van het Groningenveld en gasopslag Norg die wordt veroorzaakt door de mijnbouwactiviteiten. De adviesvraag van het IMG bestaat uit twee delen en luidt als volgt:

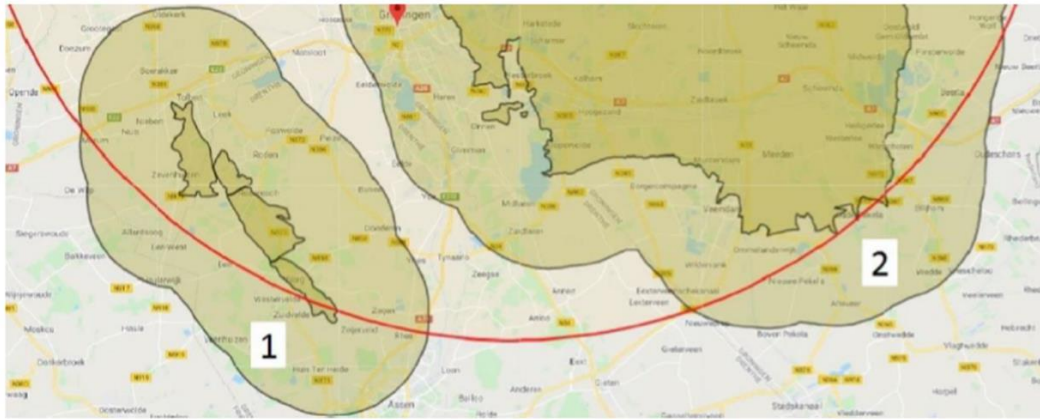
A. Het IMG zou van Deltares graag advies ontvangen welke indirecte effecten van bodemdaling en -stijging plaatsvinden boven en in de nabijheid van het Groningenveld en gasopslag Norg.

B. Als Deltares bij deel A aangeeft dat er indirecte effecten zijn, dan wil het Instituut ook geadviseerd worden over welke methode een deskundige zou moeten hanteren om in een individueel geval te beoordelen of een gebrek/schade in een gebouw is of kan zijn veroorzaakt of verergerd door deze vorm van bodemdaling.

In de eerste plaats is van belang dat het Instituut (IMG) vraagt om een algemeen advies, dat betekenis kan hebben voor een substantieel aantal individuele woningen. Het Instituut meent dat het om deze reden aangewezen is om in de beoordeling uit te gaan van worst-case scenario's. Dit moet ertoe dienen dat wordt voorkomen dat de indirecte invloed van bodemdaling- of stijging in een individueel geval (bijvoorbeeld een extra gevoelig gebouw of gevoelige materialen) wordt onderschat. Het advies moet daarom voldoende veiligheidsmarges bevatten in zijn uitgangspunten.

Dit rapport betreft het advies met betrekking tot deelvraag A.

De adviesvraag is gericht op twee aandachtsgebieden die zijn aangegeven in Figuur 1.1. De donkere polygonen corresponderen met het Groningengasveld en gasopslag Norg. De lichtere polygonen geven een 6 km brede zone rond de gasvelden weer. Samen geven deze groene polygonen het gebied aan dat IMG hanteert voor potentiële invloed door diepe bodemdaling en -stijging. De rode cirkelboog begrenst het door een panel van deskundigen gedefinieerde gebied waarbinnen een kans van ten minste 1% bestaat dat een trillingssnelheid van ten minste 2 mm/s is opgetreden ten gevolge van bevingen. Binnen dit gebied ten noorden van de rode cirkelboog is voor het IMG de kans op bevingsschade groot genoeg dat deze leidend is voor schade uitkering. De aandachtsgebieden voor de adviesvraag worden aan de noordzijde begrensd door de rode cirkelboog en aan de zuidzijde door de begrenzing van de 6 km brede randzone van de gasvelden. Deze aandachtsgebieden vallen dus buiten het gehanteerde gebied met potentiële trillingsschade, maar binnen het gehanteerde gebied met dat kan zijn beïnvloed door diepe bodemdaling.



Figuur 1.1 De twee aandachtsgebieden voor de adviesvraag bij gasopslag Norg (1) en het Groningenveld (2).

Recentelijk heeft TNO/TUD in een studie voor IMG geconcludeerd dat diepe bodemdaling in deze gebieden niet *direct* leidt of heeft geleid tot schade aan gebouwen [1]. Resteert voor IMG de vraag of de diepe bodemdaling op een *indirecte* manier kan hebben geleid tot schade.

1.2 Tussenwoord

De bevingsschade in de Provincie Groningen en omgeving en het langdurige proces van compensatie heeft veel ellende gebracht voor veel bewoners in het gebied. Rechtvaardige en snelle afhandeling van schade is van het allergrootste belang. Een rechtvaardig schadeuitkeringsproces vereist een beschouwing van alle mogelijke schadebijdragen die door de gaswinning en -opslag kan zijn ontstaan. Potentiële indirecte bijdragen door diepe bodemdaling en -stijging kunnen daarin niet ontbreken. Gezien de urgentie vond Deltares het daarom belangrijk om deze adviesvraag hoge prioriteit te geven en in zeer korte tijd een eerste advies te verstrekken.

1.3 Definitie van centrale begrippen

In dit rapport worden de onderstaande begrippen als volgt gebruikt:

Figuur 1.2 Definitie van centrale begrippen

Bodemdaling/-stijging	Verticale verplaatsing van het maaiveld of het funderingsniveau van panden over perioden van jaren tot decennia.
Diepe bodemdaling	De directe bijdrage aan bodemdaling/-stijging door gaswinning en -opslag. Deze bijdrage is 'diep' in de zin dat de oorzaak op het niveau van de reservoirs ligt; enkele kilometers onder maaiveld. Deze diepe bodemdaling kan in een ketenproces ondiepe(re) bodemdalingsprocessen en interacties met funderingen van panden versterken, verzwakken of in gang zetten, met name via veranderingen in het grondwaterstanden. Hoewel deze indirecte, ondiepe bodemdalingsbijdragen er niet zouden zijn zonder diepe bodemdaling, maken ze geen deel uit van diepe bodemdaling/-stijging zoals hier bedoeld; vandaar het adjectief 'directe' bij diepe bodemdaling. Andere diepe bodemdalingsbijdragen zoals door geologische processen of door andere mijnbouwactiviteiten dan gaswinning/-opslag worden niet beschouwd in dit rapport.

Directe effecten van diepe bodemdaling ¹	Schade-effecten die worden veroorzaakt door diepe bodemdaling zoals beschreven in het voorgaande item 'diepe bodemdaling', via rotaties en kromming van het maaiveld (of het niveau waarop het gebouw is gefundeerd).
Indirecte effecten van diepe bodemdaling	Schade-effecten die tot stand komen als gevolg van diepe bodemdaling, en via een ketenproces met andersoortige veranderingen tot stand komen.

1.4 Aanpak en leeswijzer

De gevolgde aanpak voor de beantwoording van de adviesvraag (A) is als volgt.

Eerst is een algemeen overzicht gemaakt van mogelijke paden waarlangs diepe bodemdaling of -stijging *indirect* schade of gebreken aan panden kan veroorzaken, en van de factoren die bepalend zijn voor de kans op schade of gebreken. Vervolgens zijn (conservatieve) grenswaarden opgesteld waarvoor veilig kan worden gesteld dat wanneer de grenswaarden niet worden bereikt er ook geen schade kan (zijn) ontstaan door de indirecte effecten. Dit is gedaan op basis van literatuuronderzoek en beschikbare expertise in het breed samengestelde projectteam. De resultaten zijn beschreven in *hoofdstuk 2 Algemene beschouwing van indirecte effecten van diepe bodemdaling en -stijging*. Naast indirecte effecten van diepe bodemdaling geeft dit hoofdstuk ook informatie over schadeoorzaken die geen relatie hebben met diepe bodemdaling.

Vervolgens is een analyse gemaakt voor de twee aandachtsgebieden. Daarin zijn de opgestelde grenswaarden gebruikt om een advies te geven over mogelijke indirecte schade-effecten in verschillende delen van de aandachtsgebieden. De analyse levert voor elk van de aandachtsgebieden een tweedeling op: (1) deelgebieden waar de veilige grenswaarden niet worden overschreden, en waar derhalve geen sprake zou kunnen zijn van een indirect effect van diepe bodemdaling, en (2) deelgebieden waar de veilige grenswaarden mogelijk wel worden overschreden, en waar derhalve een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten. In de analyse is gebruik gemaakt van diverse gespecificeerde datasets, waaronder data over diepe bodemdaling, historische en actuele informatie over het watersysteem en gevoeligheid van de ondergrond in relatie tot schademechanismen. De resultaten voor het aandachtsgebied bij gasopslag Norg en voor het aandachtsgebied bij het Groningenveld zijn respectievelijk beschreven in *hoofdstuk 3* en *hoofdstuk 4*.

Hoofdstuk 5 geeft een samenvatting van de conclusies voor de twee aandachtsgebieden. *Hoofdstuk 6* geeft een overzicht van de toegepaste veiligheidsmarges in de gehanteerde uitgangspunten.

¹ Over deze effecten is het IMG recent geadviseerd door TNO en de TUD (ref [1])

2 Algemene beschouwing van indirecte effecten van diepe bodemdaling en -stijging

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van mogelijke paden waarlangs diepe bodemdaling of – stijging indirect schade of gebreken aan panden kan veroorzaken, en van de factoren die bepalend zijn voor de kans op schade of gebreken. Het gaat nadrukkelijk niet om schade-effecten waarvan bekend is dat ze zijn opgetreden, maar om wijzen waarop schade-effecten zouden kunnen zijn ontstaan of nog kunnen ontstaan. Er worden conservatieve grenswaarden opgesteld waarvoor kan worden gesteld dat wanneer de grenswaarden niet wordt bereikt er ook geen schade kan (zijn) ontstaan door de indirecte effecten. Hoewel indirecte schade door diepe bodemdaling centraal staat in dit hoofdstuk is het belangrijk om bewust te zijn van het feit dat gebouwschade ook door andere oorzaken dan gaswinning of -opslag ontstaat en dat deze factoren ook meespelen in Groningen. Deze bredere context wordt kort weergegeven in paragraaf 2.2 en verder besproken in paragraaf 2.7. In Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 worden de conservatieve grenswaarden gebruikt in de analyse voor beide aandachtsgebieden.

2.1 Voorgaande studies naar indirecte effecten

In een brede studie naar mogelijke oorzaken van schade aan gebouwen in Grou, Friesland uit 2003 [2] is aangegeven dat indirecte schade-effecten van diepe bodemdaling (zie definitie in paragraaf 1.3) in theorie zowel door grondwaterstandstijging als grondwaterstanddaling kunnen worden veroorzaakt. Grondwaterstandstijging (ten opzichte van maaiveld) kan ontstaan waar oppervlaktewaterpeilen niet of minder dalen dan de bodem daalt. En actieve peilverlaging kan vervolgens zorgen voor grondwaterstandsverlaging. Wanneer deze grondwaterstandsverlaging door actieve peilverlaging groter is dan de voorgaande 'autonome' grondwaterstandstijging is er ook een netto grondwaterstands daling ten opzichte van de situatie vóór gaswinning.

Vervolgstudies naar indirecte schade-effecten door bodemdaling door gaswinning hebben zich voor zover bekend vooral gericht op actieve peilverlagingen van boezemwateren [3,4]. Voorbeelden zijn de studies naar een geplande peilverlaging van 0,15 m in het Pekeler Hoofddiep bij Oude Pekela [5] en de in 2008 gerealiseerde peilverlaging van 0,14 m in het boezemsysteem van de 2^e schil van de Electraboezem in de omgeving van Winsum [3,4].

In [2] wordt als aanvullende hypothese voor schade-effectpaden door gaswinning nog 'verweking van ondiepe bodemlagen door gasmigratie van diep naar ondiep' genoemd en door trillingen (liquefactie). Omdat deze effecten niet door de diepe bodemdaling worden veroorzaakt (wel door gaswinning), worden deze indirecte effecten in dit rapport verder niet in beschouwing genomen.

2.2 Ontstaan van schade aan gebouwen

Er zijn verschillende oorzaken voor het ontstaan van schade aan gebouwen in mijnbouwgebieden. Panden zijn gevoelig voor trillingen (geen onderdeel van deze studie) en voor vervormingen. Dit houdt in dat scheuren in een pand kunnen ontstaan als delen van de fundering of delen van het gebouw ongelijkmatig zakken (of stijgen) ten opzichte van elkaar. Schade aan panden veroorzaakt door diepe bodemdaling hangt dus samen met ongelijkmatige vervormingen (ook: deformaties) van de ondergrond. Omdat de onderzochte gebieden buiten de trillingscontour liggen zijn ook gecombineerde effecten van trilling door aardbevingen en deformaties hier niet van toepassing.

Omdat de schade afhangt van de (verschil) deformaties van de bodem onder de fundering is de volgende stap om de oorzaken van die deformaties te verzamelen. De belangrijkste drijver van bodemdeformaties zijn schommelingen in de grondwaterstand. Dergelijke deformaties treden op bij een systematisch lagere (of hogere) grondwaterstand onder de fundering dan in het verleden is opgetreden. Als de grondwaterstand binnen de in het verleden al opgetreden hoogste en laagste waarden blijft, zijn deformaties nihil of zeer gering.

Schade aan gebouwen kan volgens TUD [6] bestaan uit waarneembare schade, zoals scheuren (duidend op een blijvend verlies aan samenhang), blijvende vervormingen (zonder verlies aan samenhang) en uit blijvende positieveranderingen (zoals scheefstand of zetting). Daarnaast kan schade geclassificeerd worden in termen van zijn gevolgen, als constructieve of niet-constructieve schade, esthetische schade, schade met impact op gebruikswaarde of op levensduur. Bouwkundige schade is een waarneembare uiting van het niet voldoen aan functionele eisen van een bouwwerk of onderdelen daarvan.

In onderstaande tabel zijn de meest relevante oorzaken vanuit de ondergrond van schade samengevat en is aangegeven wat de relatie is met diepe bodemdaling (direct, indirect, geen).

Tabel 2-1 Oorzaken van gebouwschade en relatie met diepe bodemdaling

Oorzaak	Toelichting	Relatie met diepe bodemdaling
Trillingen		
gaswinningsbevingen	Alleen binnen trillingsdrempelwaarde contour; geen onderdeel van deze studie	geen; wel een relatie met gaswinning.
andere trillingen, bijvoorbeeld verkeer of bouwwerkzaamheden		geen
Belastingen		
verbouwing	Verbouwing/uitbreiding van panden kan leiden tot ongelijkmatige deformaties	geen
veroudering	Veroudering kan leiden tot verlies van incasseringsvermogen	geen
bomen	Opgelegde vervorming door wortelgroei van bomen	geen
Zakkingsverschillen		
Diepe bodemdaling zorgt direct voor zakking aan maaiveld (funderingsniveau)	Vanwege diepte van de bodemdaling zijn zakkingsverschillen over de lengte van een gebouw verwaarloosbaar; geen onderdeel van deze studie, reeds onderzocht in (TNO/TUD [7])	direct
Eigen gewicht en gewichtsverdeling over funderingselementen (en veranderingen daarin)	Treedt initieel op na ingebruikname gebouw, kan decennia lang doorwerken en kan veranderen door aanpassingen aan gewicht (verbouwen, vloerbelastingen); variatie in lokale grondopbouw kan ook bij gelijkmatige gewichtsverdeling resulteren in verschilzettingen. Combinaties van funderingstypen leveren extra risico.	geen

Lokale veranderingen in grondspanning	Door bijvoorbeeld: <ul style="list-style-type: none"> - Ophoging - Opslag van materiaal - Aanpassingen aan drainage, lokale bemaling, onttrekkingen, watergebruik grote bomen - Demping van oude sloten of watergangen 	geen
Veranderingen in grondwaterstand nabij funderingselementen door ondiepe bodemdaling	<ul style="list-style-type: none"> - Autonoom - Door bewuste aanpassingen daarvoor in het waterbeheer 	geen
Veranderingen in grondwaterstand nabij funderingselementen door diepe bodemdaling	<ul style="list-style-type: none"> - Autonoom - Door bewuste aanpassingen daarvoor in het waterbeheer 	indirect
Veranderingen in grondwaterstand door weer- en klimaateffecten	Door veranderingen in neerslag, verdamping kan grondwaterstand veranderen.	geen

Alle aspecten genoemd in Tabel 2-1 kunnen cumulatief bijdragen aan de zakkingsverschillen die een gebouw kan ondervinden. Te zien is dat verschillende aspecten op verschillende momenten in de tijd kunnen optreden.

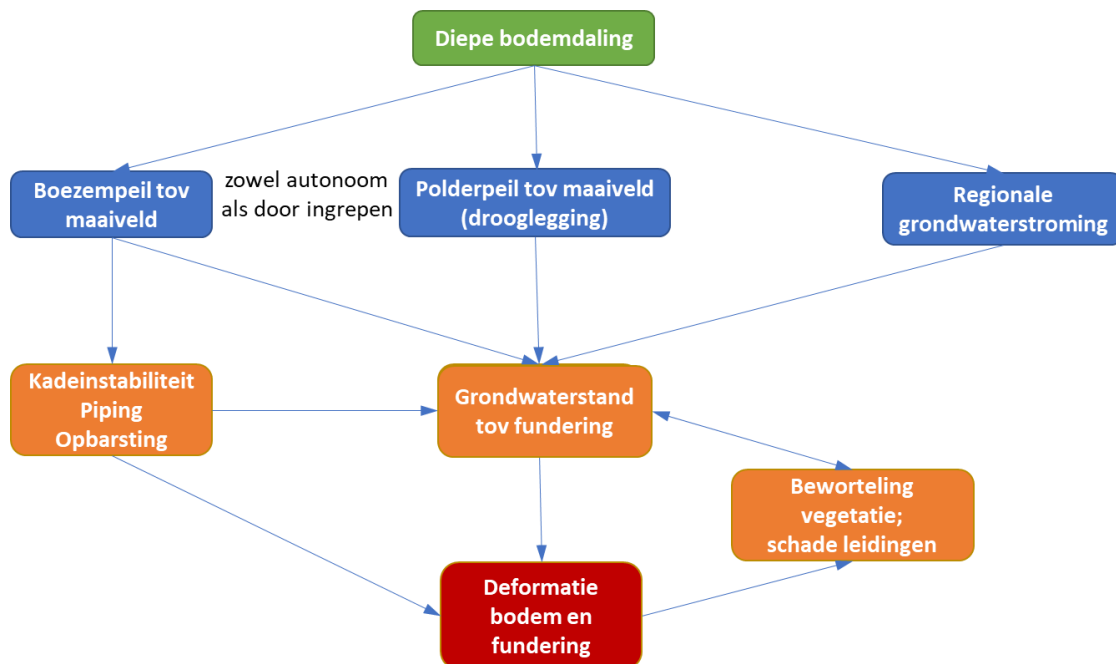
De mate waarin gebouwen vervormingen kunnen incasseren heeft te maken met de constructieve eigenschappen van het gebouw. Deze worden bepaald door de samenhang van de constructieonderdelen en de eigenschappen van de gebruikte constructiematerialen (metselwerk, beton, hout). Reeds ontstane scheuren en degradatie van materiaaleigenschappen kan leiden tot een hogere kwetsbaarheid van een gebouw waardoor zakkingsverschillen en rekken eerder tot (additionele) schade leiden. Dit aspect is belangrijk voor de beoordeling van schadeorzaken van individuele panden. Door de generieke, gebiedsgerichte aard van de huidige studie is dit geen expliciet onderdeel van deze studie.

Uit Tabel 2-1 blijkt dat diepe bodemdaling indirect een effect kan hebben op schade van gebouwen via de keten gaswinning → diepe bodemdaling → peilverandering/wijziging → veranderingen in grondwaterstand bij funderingselementen → zakkingsverschillen bij een gebouw → schade aan het gebouw.

In de volgende paragraaf worden de combinaties (paden) van diverse situaties (peilveranderingen, peilwijzigingen) die leiden tot bodemdeformaties onderscheiden, waarna de kans op schade kan worden bepaald.

2.3 Overzicht van indirecte effectpaden

Alle indirecte schade-effecten van diepe bodemdaling komen, voor zover bekend, tot stand via veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem die worden veroorzaakt door de diepe bodemdaling. Met andere woorden, er zijn geen andersoortige schakels gevonden in de keten van diepe bodemdaling naar indirecte schade. Wel kunnen verschillende soorten veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem worden onderscheiden, en kunnen deze op diverse manieren tot schade of gebreken leiden. Deze effectpaden zijn gevisualiseerd in het stroomschema van Figuur 2.1.



Figuur 2.1 stroomschema van diepe bodemdaling naar deformatie van de bodem en fundering die uiteindelijk leidt tot schade aan bebouwing.

De drie primaire veranderingen in het grond- en oppervlaktewatersysteem zijn aangegeven met de blauwe kaders. Elk van deze drie primaire veranderingen kan in theorie in meer of mindere mate leiden tot verandering (zowel stijging als daling) van de grondwaterstand ten opzichte van funderingen (centrale oranje kader) - dit wordt in paragraaf 2.4 toegelicht. Verandering in de grondwaterstand is naar verwachting de belangrijkste schakel naar deformatie van de bodem onder funderingen (rode kader) en daarmee van potentiële schade aan gebouwen (paragraaf 2.5). Interactie met leidingen kan daarbij het schaderisico vergroten. Versterkte bodemvervorming door grondwaterstandsverandering kan leiden tot lekkage aan riolering of waterleidingaansluitingen die weer kunnen zorgen voor versterkte drainage of verhoogde grondwaterstand, met terugkoppeling naar bodemvervorming etc. En verandering in grondwaterstand kan leiden tot verandering in de beworteling van bomen en planten, wat schade kan opleveren aan leidingen. Grondwaterstandsverlaging kan in FeS-rijke kleien pyrietoxidatie veroorzaken wat kan leiden tot verzuring en aantasting van (metalen) leidingen. Als sprake is van schade aan gierkelders die lek raken kan dit leiden tot grondwatervervuiling, maar levert het ook nutriënten en warmte die (theoretisch) bij kunnen dragen aan aantasting van houten funderingen.

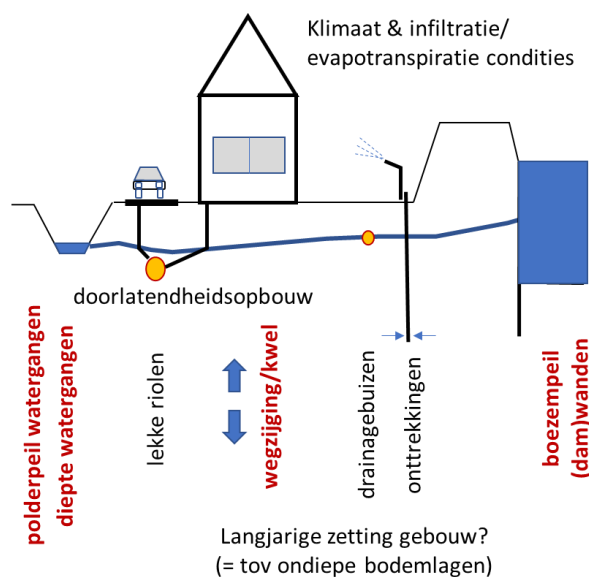
Naast de effectpaden die lopen via verandering in de grondwaterstand bij funderingen kan een grote toename van het verschil tussen oppervlaktewaterpeil en de naastgelegen grondwaterstand bij watergangen leiden tot een aantal secundaire effecten als kadeinstabiliteit, opbarsten van een slechtdoorlatende ondiepe bodemlaag en piping (progressieve zand-uitspoeling). Deze verschijnselen kunnen leiden tot wateroverlast en in bijzondere situaties ook schade aan funderingen/gebouwen veroorzaken. Omdat de relatieve peilveranderingen door diepe bodemdaling in de onderzochte gebieden vrij klein zijn (maximaal enkele decimeters) is de kans dat dit een schaderisico oplevert voor een substantieel aantal individuele woningen zeer klein.

2.4 Grondwaterstandsverandering ten opzichte van funderingen

2.4.1 Factoren die de grondwaterstand bepalen

De grondwaterstand ter plaatse van funderingen van gebouwen wordt door diverse lokale en regionale factoren bepaald. Een overzicht van deze factoren is weergegeven in Figuur 2.2. De meeste factoren veranderen in principe niet door diepe bodemdaling of -stijging. Dat geldt bijvoorbeeld voor klimatologische condities, bestrating, de doorlatendheidsopbouw van de aanwezige bodemlagen, de diepte van perceeldrainage en onttrekkingen, bijvoorbeeld voor irrigatie of drinkwater. De factoren die potentieel wél door diepe bodemdaling kunnen veranderen zijn aangegeven in rood: (a) het boezempeil, (b) het polderpeil (beide ten opzichte van maaiveld en daarmee ten opzichte van funderingen), en (c) kwel of wegzijging van of naar diepere watervoerende lagen. Deze drie factoren corresponderen met de blauwe kaders in het stroomschema van Figuur 2.1 en worden in de volgende paragrafen verder toegelicht. Wanneer door deze drie factoren de grondwaterstand verandert, kan dat wel nieuwe schakels in de effect keten 'activeren', met name veranderingen in beworteling van vegetatie en bijdragen door lekkage van leidingen.

De grondwaterstand is geen vast peil, maar varieert in werkelijkheid met de tijd in reactie op het weer, de seizoenen, winter- en zomerpeilen in het polderpeil en variaties in onttrekkingen. Daarin kunnen ook extreme condities voorkomen zoals bijvoorbeeld het geval is geweest tijdens de recente droge jaren vanaf 2018. In de context van gebouwschade is specifiek de laagste en de hoogste grondwaterstand van belang en de mate waarin diepe bodemdaling deze respectievelijk kan verlagen en verhogen. Voor de leesbaarheid wordt in de rest van paragraaf 2.4 de toevoeging 'hoogste' en 'laagste' zoveel mogelijk achterwege gelaten. In de gebiedsanalyse worden hiervoor conservatieve aannames gedaan.

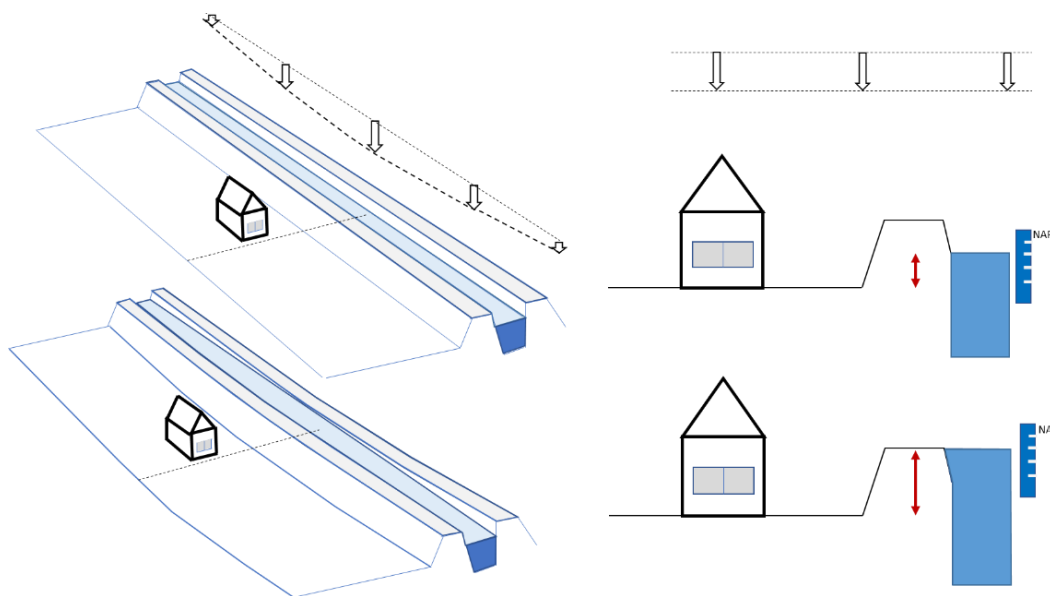


Figuur 2.2 Overzicht van factoren die de gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van funderingen bepalen. In rood zijn de factoren aangegeven die kunnen veranderen door diepe bodemdaling.

2.4.2 Verandering via het boezempeil

2.4.2.1 Hoe het werkt

Boezemwateren hebben een rol in het transport van water over lange afstand en uiteindelijk naar zee. In vergelijking met polders wordt het peil beheerd door relatief grote sluisen en stuwen. Door de functie in het watersysteem wordt het boezempeil daarom zo lang mogelijk gehandhaafd ten opzichte van NAP. Figuur 2.3 illustreert dat het boezempeil in een gebied met diepe bodemdaling stijgt ten opzichte van het maaiveld en daarmee dus ook ten opzichte van funderingen van gebouwen².



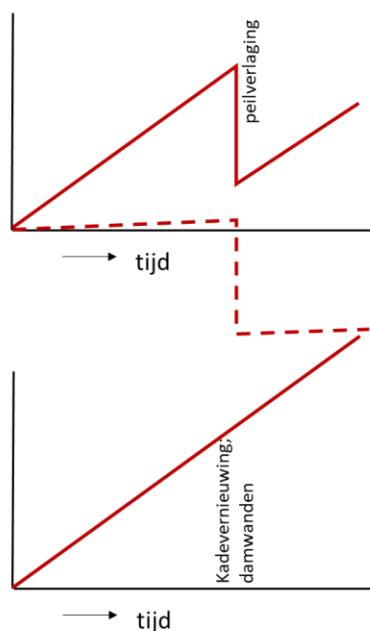
Figuur 2.3 Conceptuele illustratie van stijging van boezempeil ten opzichte van maaiveld en fundering door diepe bodemdaling (autonome ontwikkeling voor ingrepen). Boven voor, en onder na een periode met diepe bodemdaling. Het profiel rechts is bij de woning in het diepste deel van 'de dalingskom'.

Deze door diepe bodemdaling veroorzaakte geleidelijke, relatieve peilstijging kan na verloop van tijd aanleiding geven om aanpassingen te doen. Peilverlaging is een realistische optie. Kadeverhoging en -versterking behoort ook tot de mogelijkheden.

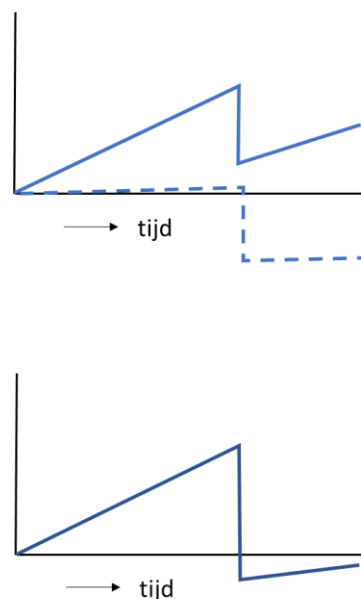
Figuur 2.4 illustreert mogelijke effecten van zowel de autonome ontwikkeling van het relatieve boezempeil als van de aanpassing. Er zijn meer scenario's denkbaar. Bijvoorbeeld dat een gebouweigenaar vóór de ingreep al aanpassing in de perceeldrainage doet om grondwaterstandsverhoging door de diepe bodemdaling aan te pakken. Dat zou dan betekenen dat de impact van de aanpassing aan het boezemsysteem tot een grotere netto grondwaterstandsverlaging leidt sinds het begin van de diepe bodemdaling. Daarnaast kunnen nog de interacties met vegetatie en leidingen meespelen (Figuur 2.1).

² De tekstuele beschouwing beperkt zich tot expliciete bodemdaling; voor bodemstijging geldt vanzelfsprekend het omgekeerde.

Boezempeilverandering tov fundering



Grondwaterstandsverandering tov fundering



Figuur 2.4 Kwalitatieve, sterk geschematiseerde scenario's voor relatieve boezempeilverandering (autonoom en gevolgd door ingreep) en resulterende grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling. Boven voor een peil aanpassing. De continue lijn is voor een locatie met sterke bodemdaling die de peilverlaging noodzakelijk maakt. De onderbroken lijn voor een locatie langs dezelfde boezem waar de bodemdaling veel geringer is, maar waar de peilverlaging ook op van toepassing is. Onder voor een kadeversterking. De grootte van de grondwaterstandsverandering hangt af van diverse factoren waaronder de afstand tot de boezem. Voor het onderste scenario is ervan uitgegaan dat nieuwe damwanden infiltratie naar het grondwater vanuit de boezem reduceren.

2.4.2.2 Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen

Zonder aanpassing van wandconstructies/kades, en zonder de extra schakels in de effectketen zoals effecten op leidingen en vegetatie of aanpassingen van de perceeldrainage, wordt de grootte van de grondwaterstandsverandering in de omgeving van de boezem bepaald door:

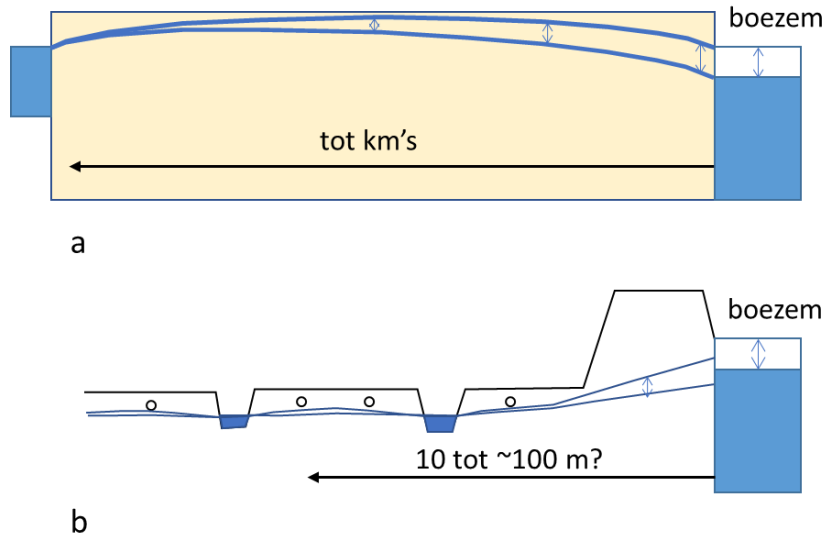
- De grootte van de relatieve boezempeilverandering
- De afstand tot de boezem
- De doorlatendheidsopbouw van de ondergrond, de waterbodem en eventuele wanden
- De drainageweerstand van gebieden (percelen) rondom te boezem
- De breedte van de boezem

De grondwaterstandsverandering is voor deze omstandigheden kleiner of gelijk aan de relatieve boezempeilverandering³. De grondwaterstandsverandering neemt af met de afstand tot de boezem.

De relatieve boezempeilverandering door diepe bodemdaling (autonome deel of de doorgevoerde peilverlaging) kan maximaal gelijk zijn aan de grootste daling van de dalingskom. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat wanneer een grotere peilverlaging wordt toegepast, de overschrijding van genoemd maximum gekoppeld is aan andere oorzaken.

³ Wanneer de boezem ook wordt verdiept/gebaggerd en/of kades vernieuwd en/of lekke riolen vervangen worden is het mogelijk dat de grondwaterstandsverandering groter is dan de boezempeilverandering.

Het grootste grondwaterstandseffect van een relatieve boezempeilverandering treedt op wanneer de boezem fungeert als drainagebasis (de grondwaterstand in de omgeving is hoger dan het boezempeil) en er geen sloten, beken of perceeldrainage aanwezig zijn in de omgeving (= oneindige drainageweerstand van sloten en perceeldrainage) (Figuur 2.5a). Dit kan zich voordoen in een goed doorlatende ondergrond. Het grondwaterstandseffect is dan bij de boezem gelijk aan de boezempeilverandering en dit neemt heel geleidelijk af tot aan de drainagebasis 'aan de andere zijde van het gebied. Dat kan gaan om tientallen meters, maar ook enkele kilometers zijn. Wanneer de drainagebasis aan de andere zijde ook een boezem is waar dezelfde peilverandering wordt doorgevoerd kan het zijn dat in het hele tussenliggende gebied de grondwaterstand de peilverandering volgt.



Figuur 2.5 Schematische weergave van het verschil in invloedsgedrag voor (a) drainerende boezem en (b) infiltrerende boezem.

In een karakteristiek polderprofiel met een boezem waarvan het peil hoger is dan het omliggende polderpeil, is er vrijwel altijd sloot- en perceeldrainage aanwezig die de grondwaterstand in sterke mate bepaalt (lage drainageweerstand). De invloed van infiltrerend water vanuit de boezem heeft dan een beperkter bereik en die invloed neemt sterk af met de afstand van de boezem (Figuur 2.5b). Met name verhoging van de hoogste grondwaterstand door relatieve peilverhoging van de boezem wordt in sterke mate beperkt door (bedoelde of onbedoelde) drainagemiddelen.

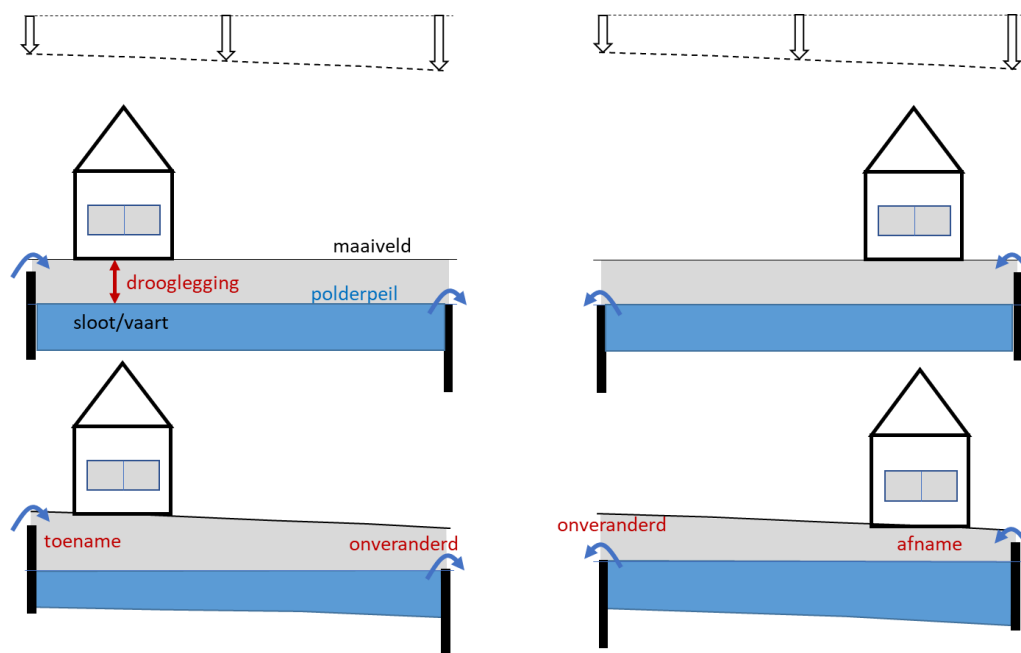
2.4.3 Verandering via het polderpeil

2.4.3.1 Hoe het werkt

Het polderpeil is het waterpeil in een aaneengesloten stelsel van sloten en vaarten dat tot doel heeft een gewenste drooglegging (verticale afstand tussen maaiveld en oppervlaktewater) te realiseren. De grootte van de peilvakken in een gebied is een afspiegeling van het verloop in maaiveldhoogte en de ruimtelijke verdeling van landgebruiksfuncties. Veelal wordt een lager peil aangehouden in de winter dan in de zomer.

Figuur 2.6 geeft schematisch weer hoe de drooglegging in een peilvak wordt beïnvloed door diepe bodemdaling. Bij uniforme diepe bodemdaling zakt alles mee, inclusief de peil regulerende infrastructuur zoals stuwten en gemalen. Hoewel het polderpeil dan mee zakt met de bodemdaling, en daarmee zakt t.o.v. NAP, verandert de drooglegging niet en is er

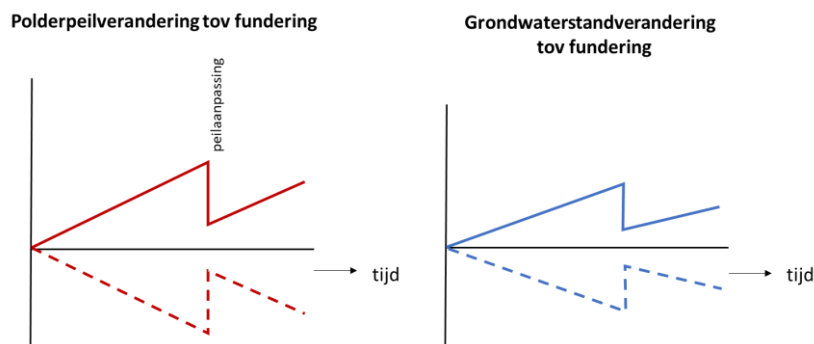
ook geen aanleiding voor een actieve peilaanpassing. Een verhang in de diepe bodemdaling over het peilvak daarentegen zorgt wél voor verandering in de drooglegging. De diepe bodemdaling kan zorgen voor een toename, maar ook voor een afname van de drooglegging (Figuur 2.6), en voor een mix van beide (peilvak in kaartbeeld). Het daadwerkelijke verloop van de verandering van de drooglegging binnen het peilvak kan alleen worden bepaald wanneer het afwateringspunt van het peilvak (stuw; gemaal) bekend is (Figuur 2.6). De maximale grootte van de verandering van de drooglegging door de diepe bodemdaling kan direct worden gekoppeld aan het verhang van de bodemdaling over het peilvak. De diepte van de watergangen verandert op vergelijkbare wijze.



Figuur 2.6 Conceptuele illustratie van de verandering van polderpeil ten opzichte van maaiveld (= drooglegging) en ten opzichte van funderingen door diepe bodemdaling (autonome ontwikkeling zonder actieve peilaanpassing). N.B. de ontwateringsdiepte (grondwaterstand t.o.v. maaiveld) wordt hier niet getoond en kan afwijken van de drooglegging.

De geleidelijke, door diepe bodemdaling veroorzaakte verandering in drooglegging, kan na verloop van tijd reden zijn om het polderpeil aan te passen. Afhankelijk van de situatie kan een verlaging of een verhoging nodig zijn. Merk op dat het door de ruimtelijke verschillen die ontstaan in de drooglegging niet mogelijk is om met een peilaanpassing de veranderde drooglegging exact te compenseren. Bij grote verschillen kunnen peilvakken worden verkleind/opgedeeld om dit beter te benaderen. In de praktijk is een minimale verandering in drooglegging van 5 cm nodig voordat een aanpassing van het polderpeil wordt overwogen.

Figuur 2.7 illustreert mogelijke effecten van zowel de autonome ontwikkeling van het relatieve polderpeil als van de aanpassing. Er zijn meer scenario's denkbaar. Bijvoorbeeld dat een gebouweigenaar vóór de ingreep al aanpassing in de perceeldrainage doet om grondwaterstandsverandering door de diepe bodemdaling aan te pakken. Dat zou dan betekenen dat de impact van de aanpassing aan het polderpeil tot een grotere netto grondwaterstandsverandering leidt sinds het begin van de diepe bodemdaling. Daarnaast kunnen nog de interacties met vegetatie en leidingen meespelen (Figuur 2.1).



Figuur 2.7 Kwalitatieve, sterk geschematiseerde scenario's voor relatieve polderpeilverandering (autonoom en gevolgd door peilaanpassing) en resulterende grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling. De continue lijn is voor een locatie waar de drooglegging door de diepe bodemdaling afneemt, de onderbroken lijn voor een locatie waar de drooglegging door diepe bodemdaling toeneemt. De grootte van de grondwaterstandsverandering hangt af van diverse factoren waaronder de afstand tot de watergangen.

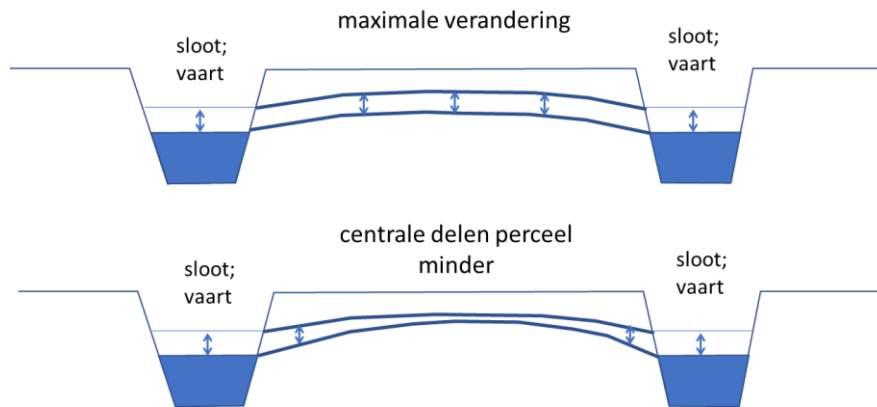
De reden voor een polderpeilaanpassing zal zelden alleen diepe bodemdaling zijn. In gebieden met veenbodems en slappe klei veroorzaakt ondiepe bodemdaling over het algemeen afname van de drooglegging. Ook buiten gebieden met diepe bodemdaling worden daardoor met regelmaat polderpeilverlagingen doorgevoerd (indexatie). In gebieden met diepe bodemdaling kunnen beide factoren – diepe én ondiepe bodemdaling – dus bijdragen aan verandering van de drooglegging en daarmee aanleiding geven voor peilaanpassing. De bijdragen zijn bovendien niet volledig onafhankelijk. Verandering in drooglegging door diepe bodemdaling (Figuur 2.6) kan ondiepe bodemdaling beïnvloeden. Waar diepe bodemdaling de drooglegging vergroot mag verwacht worden dat een toename van ondiepe bodemdaling dit onderdrukt. En evenzo, waar diepe bodemdaling de drooglegging verkleint mag verwacht worden dat een afname van ondiepe bodemdaling dit ook onderdrukt. Er wordt dus verwacht dat de interactie met ondiepe bodemdaling bestaat uit een negatieve terugkoppeling waardoor de impact van diepe bodemdaling wordt verkleind. Daarbij moet wel aan worden toegevoegd dat een toename van ondiepe bodemdaling extra risico's oplevert voor schade aan leidingen die de grondwaterstand lokaal weer sterk kunnen beïnvloeden.

2.4.3.2 Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen

Zonder de extra schakels in de effect-keten zoals effecten op leidingen en vegetatie of aanpassingen van de perceeldrainage, wordt de grootte van de grondwaterstandsverandering door een verandering in de drooglegging door diepe bodemdaling bepaald door:

- De grootte van de relatieve peilverandering (= verandering drooglegging)
- De afstand tot sloten, vaarten en drainagebuizen
- De doorlatendheidsopbouw van de ondergrond en de waterbodem
- De drainageweerstand van perceel(delen) tussen drainagemiddelen

De grondwaterstandsverandering is voor deze omstandigheden kleiner of gelijk aan de relatieve peilverandering (Figuur 2.8). Dat geldt ook voor de hoogste en laagste grondwaterstand.



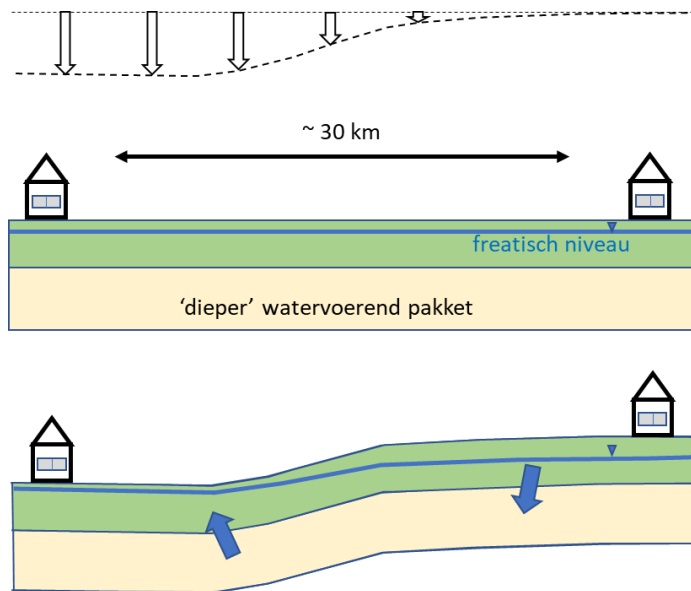
Figuur 2.8 Schematische weergave van grondwaterstandsverandering door een verandering in drooglegging (relatieve verandering van het polderpeil ten opzichte van maaiveld).

De relatieve peilverandering door diepe bodemdaling (autonome deel of de doorgevoerde peilverlaging) kan maximaal gelijk zijn aan het maximale verschil in diepe bodemdaling binnen het peilgebied. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat wanneer een grotere actieve peilverlaging wordt toegepast, de overschrijding van genoemd maximum gekoppeld is aan andere oorzaken zoals ondiepe bodemdaling of functieverandering.

2.4.4 Verandering via regionale grondwaterstroming

2.4.4.1 Hoe het werkt

Diepe bodemdaling manifesteert zich in de ontwikkeling van een bodemdalingskom met een diameter van tientallen kilometers (voor een groot veld zoals het Groningen veld). Het freatische grondwaterniveau t.o.v. NAP zakt mee met de diepe bodemdaling omdat de freatische grondwaterstanden over grote arealen vooral worden bepaald door de polderpeilen die ook mee zakken ten opzichte van NAP (paragraaf 2.4.3). Hierdoor ontstaat een verhang in het grondwaterniveau t.o.v. NAP (grondwaterstijghoogte). Dit verhang veroorzaakt een regionale grondwaterstroming, met veranderingen in reeds aanwezige wegzijging en kwel (omslag van het een naar het ander valt daar ook onder). De dalingskom veroorzaakt een relatieve toename van wegzijging in de randgebieden en een relatieve toename van kwel meer richting de centrale delen van de kom. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.9. De wegzijging verlaagt de grondwaterstand iets, en de kwel zorgt juist voor een iets hogere grondwaterstand.



Figuur 2.9 Conceptuele illustratie van grondwaterstandsverandering ten opzichte van maaiveld en funderingen via veranderingen in de regionale grondwaterstroming door diepe bodemdaling. Het grondwatersysteem reageert omgekeerd voor bodemstijging boven een gasopslagveld.

N.B. het idee van een 'kom' heeft betrekking op de opgetreden diepe bodemdaling. De uiteindelijke topografie kan er heel anders uitzien. Dat hangt vanzelfsprekend af van de al aanwezige topografie voordat de diepe bodemdaling z'n intrede doet. In Figuur 2.9 is de starttopografie en het grondwater niveau horizontaal gekozen zodat de invloed van de bodemdaling op het regionale grondwatersysteem herkenbaar is. Wanneer de uitgangssituatie complexer is met reeds aanwezige regionale grondwaterstroming, is de *verandering* van deze regionale grondwaterstroming toch goed weergegeven in Figuur 2.9; voor de indirecte effecten van diepe bodemdaling gaat het ten slotte om de verandering die wordt veroorzaakt.

2.4.4.2 Factoren die de grootte van de grondwaterstandsverandering bepalen

De grootte van de grondwaterstandsverandering door de verandering in regionale grondwaterstroming wordt bepaald door:

- De vorm en diepte van de dalingskom
- De doorlatendheidsopbouw van de ondergrond
- De drainageweerstand van percelen

De eerste factor bepaalt het verhang of gradiënt van de stijghoogte die de regionale grondwaterstroming 'aandrijft'. De doorlatendheidsopbouw bepaalt de weerstand die het grondwater ondervindt tussen locatie van wegzijging en locatie van kwel.

In hoofdstukken 3 en 4 zijn middels modelberekeningen conservatieve schattingen gemaakt van de potentiële bijdrage van dit effect voor de twee aandachtsgebieden.

2.5 Schademechanismen bij relatieve grondwaterstandsverandering

In de vorige paragrafen is beschreven op welke manieren diepe bodemdaling zowel tot stijging als daling van de grondwaterstand ten opzichte van funderingen kan leiden en dat dit ongelijkmatig in de tijd kan verlopen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de processen die vervolgens tot schade of gebreken kunnen leiden. De processen die gekoppeld zijn aan grondwaterstandstijging en – daling worden apart beschouwd.

Voorafgaand wordt eerst toegelicht welke funderingstypen in de gebieden worden aangetroffen. Elk funderingstype zal op een andere wijze gevoelig zijn voor grondwaterstandsveranderingen.

2.5.1 Beschrijving funderingen

Bouwwerken hebben in Nederland of een fundering op palen of een ondiepe fundering (fundering op staal). Combinaties komen ook voor.

Fundering op palen: het bouwwerk staat op houten of betonnen palen die in een draagkrachtige laag staan.

Kenmerk van dit type funderingen is dat de zakking van de palen doorgaans klein is omdat veel weerstand uit een sterke draagkrachtige laag wordt ontleend. De lokale ondiepe ondergrond met samendrukbare lagen zijn minder belangrijk voor de draagkracht.

Houten palen worden al honderden jaren toegepast. Buiten de grote steden meestal alleen voor zeer belangrijke gebouwen. Vanaf de 20e eeuw worden ze ook veel in woningbouw toegepast, maar sinds de jaren 70 steeds minder. Houten palen worden onder het grondwater gezet omdat het grondwater de paal beschermt tegen paalrot (aantasting).

De paalfundering is relatief ongevoelig voor ondiepe grondwaterstandsveranderingen. In bijzondere gevallen is er wel een effect:

- Door een grondwaterstandsverlaging treedt extra negatieve kleeft op waardoor de paal extra wordt belast en de paalzakking iets toeneemt (e.e.a. afhankelijk van de verandering van grondwaterstand en dus spanningstoestand langs de paal en lengte van de paal waarover dit effect optreedt. Vanwege de veelal geringe peilverandering en kleinere grondwaterstandsverlaging kan dit effect niet relevant zijn voor de onderzochte gebieden.
- Wanneer de grondwaterstand onder de diepte van het hout zakt kan het hout worden aangetast (schimmelaantasting of 'paalrot'). Het gevolg kan zijn dat het materiaal hout dan de interne kracht in de paal niet meer kan opnemen en lokaal bezwijkt. De bovenbouw kan dan lokaal extra zakken.

Ondiepe funderingen (fundering op staal): de belasting van het bouwwerk wordt via muren naarstroken, poeren of platen direct op de ondergrond, eventueel met grondverbetering van zand, overgebracht.

Deze methode wordt tegenwoordig eigenlijk alleen toegepast als de ondergrond sterk genoeg is (veelal zandgrond) of is gemaakt (grondverbetering). Bij de aanwezigheid van slappe lagen, zoals klei maar vooral veen, zal een grondverbetering nodig zijn om de kracht naar de ondergrond te kunnen overbrengen zonder te grote zakkingen tijdens de bouw of kort daarna. Er zijn ook stijve kleien zoals potklei (Formatie van Peelo) of (kei)leem (Formatie van Drente) in de onderzoeksgebieden aanwezig die wel sterk genoeg zijn voor dit type fundering, maar wel meer zakking geven dan bij toepassing op zandgrond.

In het verleden is dit funderingstype ook wel in situaties toegepast waar het eigenlijk niet geschikt voor was omdat de kosten van aanleg laag zijn. De meeste van deze bouwwerken zullen daardoor meer zakken dan op basis van kennis van nu zou worden geaccepteerd.

De zakking van het funderingselement is sterk afhankelijk van de lokale spanningstoestand en samendrukkingseigenschappen in de eerste meters onder dit element en dus gevoelig voor veranderingen daarin zoals grondwaterstand. Beweging van de grond onder het funderingselement zal door het funderingselement worden gevolgd. Dit funderingstype is ook gevoelig voor doorgaande bodemdaling in polders en zwel en krimp processen als gevolg van een variërende grondwaterstand wanneer kleilagen zich onder het funderingselement bevinden. Dat geldt eveneens voor lokale antropogene aspecten zoals slootdempingen, lokale ophogingen of andere belastingverhogingen en aanbouwen).

Op basis van de aanwezige grondslag met veel ondiepe zandlagen, stijve kleien en keileem en gebaseerd op informatie uit onderzoeksrapporten naar schade oorzaken in de regio zal het overgrote deel van de funderingen in de onderzoeksgebieden bestaan uit ondiepe funderingen. Waar ondiep slappe veen en kleilagen voorkomen kunnen, vooral bij gebouwen vanaf de jaren 70, paalfunderingen aanwezig zijn, of gemengde funderingen.

2.5.2 Relatieve grondwaterstandstijging

De mogelijk optredende schademechanismen in geval van relatieve grondwaterstandsstijging zijn weergegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Potentiële schademechanismen in geval van relatieve grondwaterstandsstijging

	Schademechanisme	Funderingstype	Beschrijving
	grondwaterstijging		
A	Afname van de draagkracht van de bodemlaag waarop het gebouw gefundeerd is door afname van de korrelspanning	Ondiep	Bij overbelaste fundering ; extra zakking Bij 'normaal' belaste fundering nauwelijks effect
B	Opdrijven van kelders/souterrains	Ondiep	Alleen als grondwaterstand tot boven hoogste grondwaterstand kan stijgen
C	Zwel van onverzadigde klei door vernatting	Ondiep	Leidt tot ongelijkmatig opdrukken van funderingselementen

Toelichting A

Een aantal studies geeft aan dat afname van draagkracht (A) nagenoeg nooit de oorzaak van schade zal zijn [8, 9]. De achtergrond hiervan is dat relatief nieuwe gebouwen, zeg in de afgelopen 30-50 jaar, bij het ontwerp rekening hebben gehouden met een hoge grondwaterstand (immers een hoge grondwaterstand is maatgevend voor draagkracht). Daarnaast zal er in het verleden al regelmatig een hoge grondwaterstand zijn opgetreden. Funderingen waarvan de belasting de waarde overschrijdt die op basis van de gebruikelijke veiligheid mogelijk is zijn 'overbelast'. Elke extra belasting of afname draagkracht zal leiden tot meer zakking dan bij 'normaal' belaste funderingen [6].

Toelichting B

Schade door opdrijven (Archimedes principe) (B) vereist dat de hoogste grondwaterstand hoger wordt dan deze eerder is geweest en dat de grondwaterstand ruim boven de basis van de kelderruimte komt. Bovendien zal bij gebouwen in de afgelopen 30 tot 50 jaar bij het ontwerp van de fundering rekening zijn gehouden met een hoge grondwaterstand (ontwerpgrondwaterstand).

Toelichting C

Zweldruk onder funderingen (C) is een veel voorkomende oorzaak van schade in kleigebieden met een diepe grondwaterstand en met een relatief droog klimaat [10,11]. Wanneer de klei onder de fundering in verschillende mate vocht kan opnemen, bijvoorbeeld door leidingschade of extreme neerslag of overstromingen, ontstaan verschil heffingen die tot schade kunnen leiden. Er is voor zover bekend geen onderzoek gedaan of dit proces relevant kan zijn voor de Nederlandse situatie en of een relatief beperkte grondwaterstandsverhoging in de orde van decimeters het schaderisico significant verhoogt.

2.5.3 Relatieve grondwaterstandsverlaging

De mogelijk optredende schademechanismen in geval van relatieve grondwaterstandsvaling zijn weergegeven in Tabel 2-3.

Tabel 2-3 Potentiële schademechanismen in geval van relatieve grondwaterstandsvaling

	schademechanisme	Funderingstype	Beschrijving
D	Samendrukking/zetting door toename van de korrelspanning	Ondiep	Met name wanneer de (gemiddeld) laagste grondwaterstand verlaagt door de algemene grondwaterstandsverlaging neemt de korrelspanning toe in alle onderliggende bodemlagen waardoor deze samendrukken.
E	Aantasting van houten paalfunderingen	Paal	Wanneer grondwaterstand zakt tot onder bovenkant hout van fundering kan dusdanige aantasting optreden dat hout belasting niet meer kan opnemen
F	Zetting door oxidatie van veenlagen onder de fundering	Ondiep	Wanneer onder het funderingselement veen aanwezig is en de grondwaterstand kan dalen tot in die laag kan door oxidatie/krimp extra zakking van dat funderingselement optreden
G	Krimp (en zwel) van kleilagen onder de fundering	Ondiep	Wanneer onder het funderingselement klei aanwezig is en de grondwaterstand kan dalen tot in die laag kan door krimp extra zakking van dat funderingselement optreden

Toelichting D

Voor samendrukking/zetting (D) wordt er meestal vanuit gegaan dat de kans op schade afhangt van de homogeniteit van de ondergrond. Indien sprake is van een homogene, stevige ondergrond, is de zakking van het gebouw in het algemeen gelijkmatig, waardoor er geen schade zal ontstaan. Bij een inhomogene ondergrond of een ondergrond met slappe, sterk samendrukbare laag kunnen ongelijkmatige zakkingen over het gebouw resulteren in scheefstand en/of scheurvorming [12]. Bij samendrukking spelen vooral verzadigde lagen onder de grondwaterspiegel een rol. Dit mechanisme is vooral relevant voor funderingen op staal.

Toelichting E

Voor aantasting van houten paalfunderingen (E) is vooral de grondwaterstand ten opzichte van het niveau van de houten paalkoppen van belang; de kans op schade is het laagst als de houten paal ook in droge perioden volledig onder water staat; de homogeniteit en samendrukbaarheid van slappe lagen tot de diepte waarop de palen zijn gefundeerd speelt minder een rol.

Toelichting F

Door zuurstofindringing in veen vindt afbraak van het organisch materiaal door oxidatie (F) plaats waardoor het veen sterkte verliest en organisch materiaal verdwijnt in de gasfase (CO₂). Of dit risico bestaat is vooral afhankelijk van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) ten opzichte van het veen. Verlaging van de (gemiddelde) grondwaterstand zal in de regel ook gepaard gaan met een GLG verlaging. Hierdoor kan oxidatie in gang gezet worden of worden versterkt. Elke laagdiktereductie zal blijvend zijn en niet terugveren. Met de huidige beschikbare kennis moet worden vastgesteld dat een fundering op staal met veen onder het funderingsniveau naar alle waarschijnlijkheid in normale omstandigheden niet te handhaven is (een lage technische levensduur) omdat vervormingen (en dus zakkingsverschillen over een gebouw) doorgaans al hoog zijn.

Toelichting G

Bij funderingen op staal kan krimp(-zwell) schade optreden wanneer klei aanwezig is tussen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de fundering. Door de sterke ruimtelijke verschillen in verdamping en vernatting onder fundering door de seizoenen vindt ongelijkmatige uitdroging van en vochtopname door de klei plaats [10, 13]. Bij grondwaterstandsval kan de krimp-zwell dynamiek sterker worden wanneer een grotere kleidikte blootgesteld wordt aan de vochtverandering of wanneer de grondwaterstand vaker tot onder de basis van de kleilaag zakt waardoor deze sterker uitdroogt en krimpt (en sterker zwellt in de in de opvolgende natte periode). Verschil-zakking/heffing door krimp-zwell vervorming is veel minder afhankelijk van inhomogene ondergrond dan verschil-zetting door samendrukking doordat verdamping intrinsiek ongelijkmatig is. Bovendien is het percentage volumeverandering door krimp-zwell erg groot in vergelijking met volumeverlies door samendrukking/zetting. Wanneer klei boven de grondwaterspiegel komt en vocht verliest door verdamping, is de korrelspanningstoename vergelijkbaar met dat van 10 tot 100 m grondwaterstandsverlaging zoals gehanteerd in zettingsberekeningen. In Nederland is niet of nauwelijks onderzoek gedaan naar krimp-zwell schade. Er zijn sterke aanwijzingen dat dit proces een steeds belangrijkere rol speelt in kleigebieden in relatie tot een toename aan klimatologische droogte.

2.6 Schadebepalende relatieve grondwaterstandsveranderingen

2.6.1 Grenswaarden vanuit literatuur

In de keten van indirecte schade effecten via diepe bodemdaling – peilverandering – grondwaterstandsverandering - schade aan gebouwen is het wenselijk vast te stellen tot welke grootte van grondwaterstandsverandering de bijdrage aan schade afwezig of verwaarloosbaar is.

In diverse studies en rapporten zijn grenswaarden genoemd. Deze zijn veelal afgeleid op basis van eisen die worden gesteld aan de maximale grootte van de gebouwdeformaties zoals zakkingsverschillen (relatieve hoekverdraaiing) en eventueel horizontale rekken. Onderliggende berekeningen zijn meestal gebaseerd op zetting door consolidatie (samendrukking) en zijn toepasbaar op funderingen op staal en gebouwen van metselwerk. Onderstaande is gebaseerd op eerdere literatuurstudies [14,6] en enkele andere rapporten.

Onderzoek uitgevoerd door de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning uit de jaren '80 leverde vuistregels voor toelaatbare verlaging van grondwaterstanden, waarbij kans op schade door deze verlaging minder dan 5%⁴ is [15]. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 2-4 termen van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

⁴ Toename kans op lichte scheurvorming.

Tabel 2-4 Vuistregels voor toelaatbare grondwaterstandsverlaging [15]

Bodem voornamelijk opgebouwd uit	Toelaatbare verlaging GLG (m)
zand	0,24
klei	0,10
Veen met kleidek	0,07

Corresponderende vuistregels voor toelaatbare verlagingen van het oppervlaktewaterpeil in deze studie zijn 30 tot 100% hoger. Vergelijkbare waarden voor toelaatbare oppervlaktewaterpeilverlagingen worden genoemd in literatuurstudie [14]. [16] rapporteert echter een lagere waarde van 0,05 m oppervlaktepeilverlaging voor een slappe bodem en een toename van kans op lichte schade < 3,2%. Dit betreft extreem ongunstige condities. In [16] wordt ook aangegeven dat de toename van de korrelspanning bij 0,05 m grondwaterstandsverlaging niet groter is dan die het gevolg is van het aanbrengen van een betegeling voor een terras. Dit is een dusdanig lage waarde dat de spanningsverhoging in de grond verwaarloosbaar klein is t.o.v. andere onzekerheden in het systeem.

Door de AdviesCommissie Schade Grondwater wordt ook dit relatief strenge criterium, maar dan voor grondwaterstandsvaling gehanteerd, van 0,05 m. In een recent rapport [17] wordt geconcludeerd dat er voor de ACSG geen aanleiding bestaat om de in brede kring aanvaarde en gebruikte grens van 5-cm grondwaterspiegeldaling aan te passen als grens voor de afbakening van het gebied waarbinnen schade kan ontstaan door grondwateronttrekkingen. Er wordt geen onderscheid in grondsoorten gemaakt.

Over grenswaarden voor potentiële schadelijkheid van een relatieve grondwaterstandsstijging is minder gerapporteerd. Over reductie van draagkracht door grondwaterstandsstijging meldt [14] dat alleen in zeer bijzondere gevallen (met een sterk heterogene bodemopbouw, zeer slappe ondergrond en variatie in de belasting op de fundering) dit tot schade zal leiden. In [20] is voor een fundering op poeren op zand berekend dat verschilzakkingen bij een gegeven verhoging van de hoogste grondwaterstand erg gevoelig zijn voor de a priori veiligheid van de poeren ten opzichte van hun draagkracht. Bij een veiligheid die ruim onder de NEN norm ligt (1,54 t.o.v. 2,5) is berekend dat meer dan 20 cm grondwaterstandsstijging nodig is om verschilzakkingen in de orde van meerdere millimeters te veroorzaken.

In hun brede onderzoek naar oorzaken van bouwkundige schade in Groningen hanteert de TUD [6] als algemene grenswaarde een langdurige grondwaterstandswijziging (zowel voor stijging als daling) van 0,05 m. Er wordt bij vermeld dat deze grenswaarde niet geldt voor houten paalfunderingen.

Voor houten paalfunderingen is geen algemene richtwaarde te noemen, maar wordt de toelaatbare grondwaterstandsverlaging bepaald door hoe ver de grondwaterstand boven het bovenste funderingshout staat, de zogenaamde grondwaterdekking. Volgens de norm voor de beoordeling van bestaande bouw (NEN 8707) moet de grondwaterstand zich boven het bovenste funderingshout bevinden, dan wel dat in het geval van een te lage grondwaterstand, de houten funderingselementen niet zijn aangetast door schimmels. In een opmerking wordt toegelicht: Het toetsingsniveau van het grondwater wordt bepaald door de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). Dit toetsingsniveau kan worden afgeleid uit een combinatie van enkele peilbuiswaarnemingen ter plaatse en een langjarige reeks van peilbuiswaarnemingen op enige afstand.

In de F30 richtlijn houten paalfunderingen onder gebouwen, opgesteld in 2016 door F3O, de brancheorganisatie van onafhankelijke funderingsonderzoekers, en uitgegeven door SBRCURnet vanuit de behoefte dat een richtlijn nodig is, is m.b.t. de grondwaterstand nog een tabel gegeven die aangeeft wat het oordeel over de houten paal fundering zou moeten zijn (wetende dat er vaak een beperkt aantal metingen ter plaatse zijn). Deze tabel is gereproduceerd in Tabel 2-5. De grondwaterdekking in deze tabel het verschil tussen de gemeten grondwaterstand (niet GLG) en het bovenste funderingshout.

Tabel 2-5 Richtlijn voor benodigde grondwaterdekking volgens de F3O richtlijn

Grondwaterdekking [cm]	Benaming / oordeel
> 20	Voldoende
20 tot 5	Klein
< 5	Onvoldoende

Voor zetting en zettingsverschillen die kunnen ontstaan door veenoxidatie en krimp(-zwell) van klei zijn geen grenswaarden bekend uit de literatuur. In [14] wordt gezegd dat door krimp, rijping en oxidatie op staal gefundeerde gebouwen grote schade kunnen oplopen. Ook de TUD [6] noemt dat deze processen kunnen bijdragen aan schade.

2.6.2 Opgestelde conservatieve grenswaarde voor gebruik in deze studie

In de adviesvraag is gevraagd om in de beoordeling uit te gaan van worst-case scenario's. *Dit moet ertoe dienen dat wordt voorkomen dat de indirecte invloed van bodemdaling- of stijging in een individueel geval (bijvoorbeeld een extra gevoelig gebouw of gevoelige materialen) wordt onderschat. Het advies moet daarom voldoende veiligheidsmarges bevatten in zijn uitgangspunten.*

Om daaraan tegemoet te komen is ervoor gekozen om de scherpe grenswaarde voor grondwaterstandswijziging (zowel voor stijging als daling) van 0,05 m over te nemen die recent is gehanteerd door de TUD in hun brede onderzoek naar oorzaken van bouwkundige schade in Groningen [6] en deze aan te vullen met grenswaarden voor oxidatie, krimp-zwell en aantasting van houten paalfunderingen. Voor elk van deze drie 'mechanismen' wordt een lagere grenswaarde geadviseerd van 0,02 m. Deze waarde geldt alleen voor grondwaterstandsverlaging. Uitgangspunt voor deze lagere waarde is dat de grondwaterstand voorafgaand aan de verlaging al een zeer kritisch niveau heeft (ten opzichte van veen onder de fundering, ten opzichte van krimp-zwell gevoelige klei onder de fundering of ten opzichte van het bovenste funderingshout van een houten paalfundering). De kans dat dit zich voor een substantieel aantal individuele woningen voordoet is naar verwachting erg klein. Voor krimp-zwell wordt vooralsnog eenzelfde lage grenswaarde geadviseerd als voor de twee andere mechanismen omdat er nog onvoldoende kennis is om anders (minder conservatief) te oordelen.

Omdat sommige zakkingsbijdragen in combinatie zouden kunnen optreden (oxidatie en zetting; krimp en zetting) zou gedacht kunnen worden over aangepaste grenswaarden voor situaties waar dit kan optreden. Goede beoordeling daarvan vraagt echter veel lokale informatie over de bodemopbouw.

De genoemde grenswaarden zouden in individuele gevallen verhoogd kunnen worden. Een en ander is dan afhankelijk van lokale omstandigheden. Het advies is voor die gevallen een gedetailleerder oorzaken onderzoek uit te voeren. Onderdeel daarvan moet in ieder geval zijn het vaststellen van funderingstype en afmetingen, de grondwaterstand (gemiddeld en laagste), en de grondopbouw tot ruim onder funderingsniveau en grondwaterstand.

2.7 Andere oorzaken van schade dan door bevingen en indirecte effecten van diepe bodemdaling

Voor de volledigheid hechten we eraan te benoemen dat aanwezigheid van pandschade in het gebied van diepe bodemdaling die niet kan worden toegeschreven aan trillingen/bevingen (dit is specifiek het geval voor schademeldingen in de aandachtsgebieden) niet betekent dat de schade dan moet zijn veroorzaakt door indirecte effecten van diepe bodemdaling. Schade heeft veelal andere oorzaken (paragraaf 2.2). Pandschade is bijvoorbeeld niet gelimiteerd tot dit gebied. Door heel Nederland, buiten de invloedssfeer van bodemdaling/-stijging door mijnbouwactiviteiten, komt gebouwschade op vrij grote schaal voor.

TUD [6] schrijft bijvoorbeeld:

Schade aan gebouwen kan diverse oorzaken hebben, zoals bijvoorbeeld zetting of zettingsverschillen als gevolg van het eigen gewicht van een gebouw, overbelasting of verhinderde vervormingen, of wijzigingen die in de loop der tijd in de constructie van het gebouw zijn aangebracht. Schade kan ook zijn oorzaak vinden in andere externe oorzaken, zoals trillingen door verkeer, zettingen door bouwwerkzaamheden in de omgeving van het pand, grondwaterstandwijzigingen in het grondwater, bijvoorbeeld door gebreken in rioleringen of als gevolg van bomen.

Daaraan kan worden toegevoegd als oorzaak, grondwaterstandveranderingen door ondiepe bodemdaling en door veranderd waterbeheer dat niet gedreven is door diepe bodemdaling, maar waaraan andere processen ten grondslag liggen.

Vooraf in landbouwgebieden met slappe veen- en kleibodems vindt ondiepe bodemdaling plaats doordat veen oxideert en kleibodems krimpen/rijpen en verdichten onder het gewicht van landbouwvoertuigen. Na verloop van tijd is de drooglegging dan te klein voor de landbouw en wordt het polderpeil verlaagd om de oorspronkelijke drooglegging te herstellen. Deze peilverlaging levert een belasting op onderliggende slappe lagen, waardoor ze worden samengedrukt (zetting van maaiveld), en zorgt er ook voor dat 'verse' veenlagen en ongerijpte kleilagen worden blootgesteld aan zuurstof waardoor de ondiepe bodemdaling in gang blijft. Deze polderpeilverlagingen die niet gerelateerd zijn aan diepe bodemdaling zorgen voor een toename van het schaderisico van panden in deze landbouwgebieden maar hebben op de lange termijn ook invloed op de gebouwde omgeving daartussen en daaromheen omdat grondwaterstanden ook daar niet kunnen worden gehandhaafd, maar geleidelijk mee zakken. De ondiepe bodemdaling en de daardoor noodzakelijke grondwaterstandsverlaging kan in sommige landbouwgebieden over meerdere decennia gemiddeld meer dan 1 cm/jaar bedragen ([Klimaat-effectatlas](#); kaartverhaal droogte; bodemdalingsvoorspellingskaarten; scenario extreem 2020-2050).

In het algemeen kunnen meerdere oorzaken bijdragen aan het ontstaan van schade.

In een studie van 69 schadepanden in de provincie Groningen concludeert de TUD [6]:

- Toekenning van aandeel van oorzaken aan schade is slechts indicatief mogelijk.
- Gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen zijn de belangrijkste schadeoorzaken (N.B. voor de ongelijkmatige zettingen is hier geen onderscheid in indirecte bijdragen door diepe bodemdaling of andere oorzaken).
- Volgens de TUD hebben peilaanpassingen en wijziging grondwaterstand (N.B. ongespecificeerd of dit samenhangt met diepe bodemdaling) alleen in zeer specifieke situaties een rol gespeeld als oorzaak van schade.

3 Analyse aandachtsgebied bij gasopslag Norg

Voor het vervaardigen van de kaarten in dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van een aantal bronnen. Allereerst is voor huidige de ligging van de peilvakken, de polderpeilen en boezemwateren gebruik gemaakt van data uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM, te vinden onder <http://nhi.nu>). Hierin zijn grenzen en peilen voor alle peilvakken in Nederland bij de waterschappen verzameld. In deze gegevens zijn de boezemvakken niet als zodanig onderscheiden van de overige (polder)vakken.

De historische peilvakgrenzen en peilinformatie is gebaseerd op informatie uit het archief van Rijkswaterstaat

(https://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/waterstaatskaart/geogegevens/raster/vijfde_editie/). Deze bevat kaartbladen met de voormalige ligging van zogenaamde 'afwateringseenheden' en soms ook bijbehorende peilen. Gebruik is gemaakt van de situatie rond 1975. Een afwateringseenheid is een gebied dat bestaat uit een samenstel van wateren met daarop lozende gronden. Meestal is dit een peilvak waarin een ruimtelijk constant peil wordt gehandhaafd. In het aandachtsgebied van Norg is dit echter over het algemeen niet het geval. Het gebied bestaat hoofdzakelijk uit 'vrij afwaterende eenheden' die zijn gebaseerd op de beeklopen en toevoerkanaalen die zijn gecompartmentaliseerd door stuwtjes. De gegevens waren niet georeferentieerd en dit is handmatig gedaan door Deltares. De boezems zijn op de kaarten veelal als zodanig onderscheiden van de overige vakken. De grenzen tussen de kanaalpannen zijn echter lastig uit de kaarten te halen. Gezien de voor deze studie beschikbare tijd is er daarom van uit gegaan dat de grenzen overeenkwamen met de huidige grenzen, tenzij dit heel duidelijk niet het geval leek te zijn.

Hoogtedata zijn afkomstig van AHN (<https://www.ahn.nl/>).

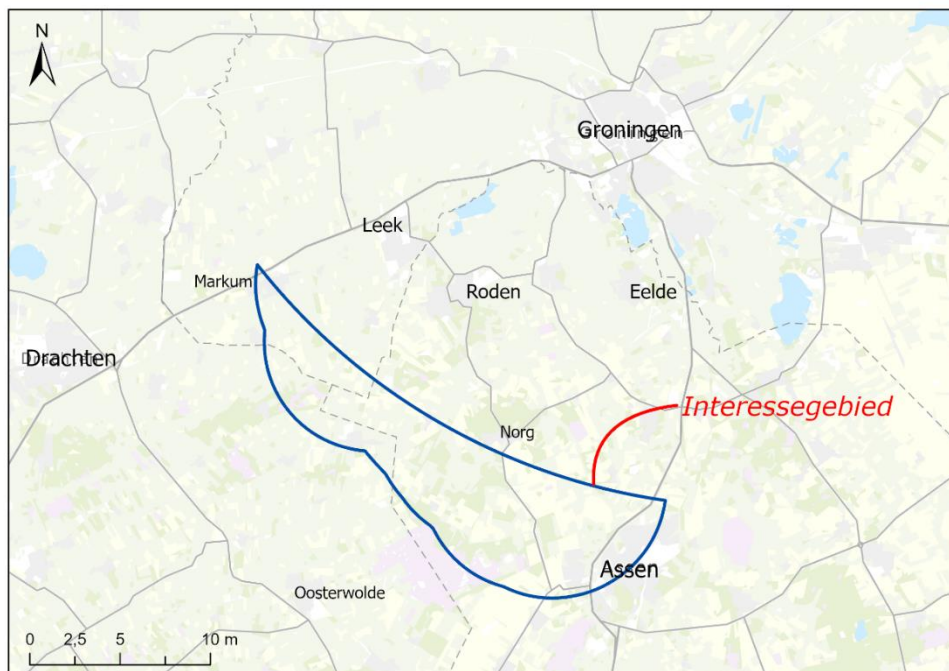
De gegevens over de diepe bodemdaling zijn geleverd door TNO.

Zettingsgevoeligheid, kleidiktes en oxidatiegevoeligheid zijn afkomstig van Deltares.

Waar de conclusies over de effecten van diepe bodemdaling in belangrijke mate afhankelijk zijn van deze informatie wordt aanbevolen om de informatie te verifiëren bij de betreffende waterschappen. Voor de uitvoering van dit onderzoek was het niet mogelijk deze verificatie te doen.

3.1 Algemene karakteristieken

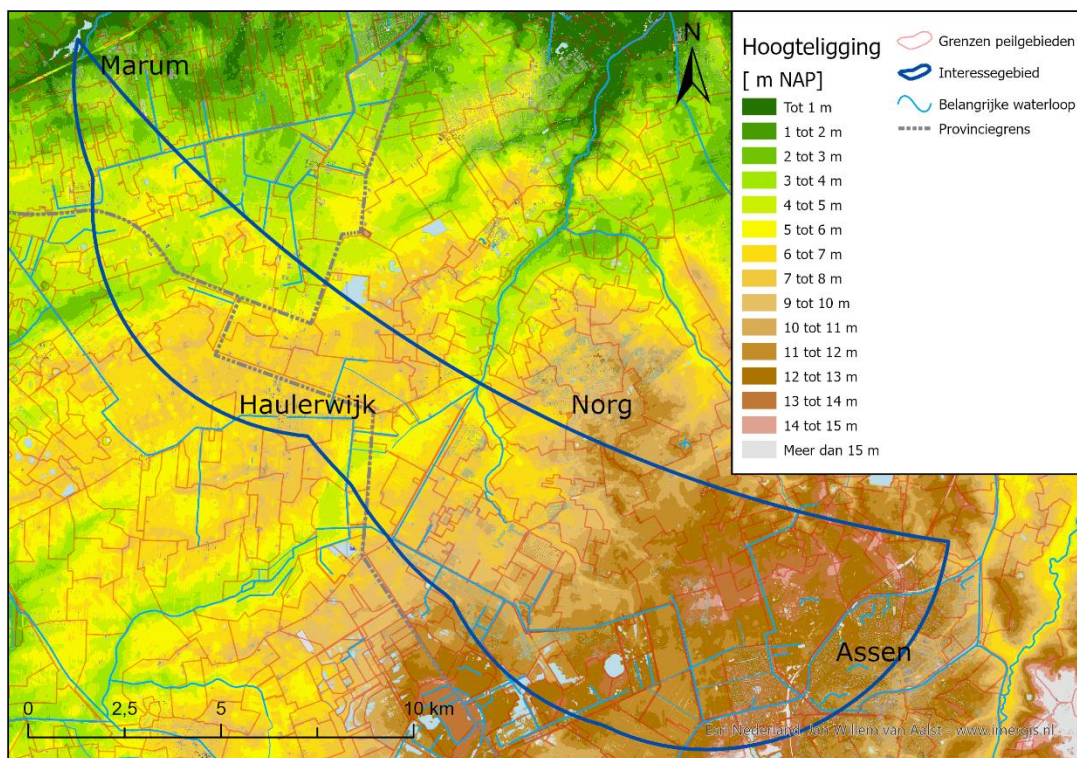
Het gebied ligt voor het grootste deel in de provincie Drenthe en in het noordwesten deels in de provincies Groningen en Friesland. In Drenthe en Groningen behoort het gebied tot het beheergebied van het waterschap Noorderzijlvest en het Friese deel tot Wetterskip Fryslân. De compartimenten van het Norgveld voor gasopslag liggen direct ten noorden van het aandachtsgebied en het meest zuidoostelijk compartiment reikt net tot in het aandachtsgebied (Figuur 1.1).



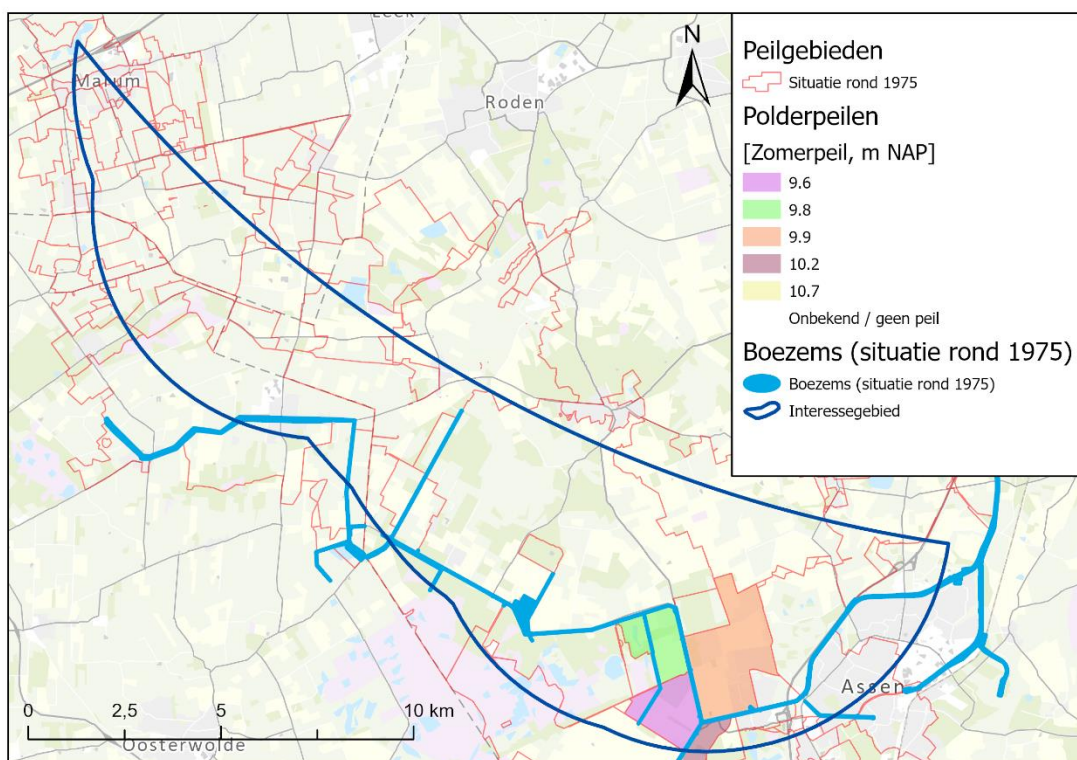
Figuur 3.1 Ligging aandachtsgebied bij gasopslag Norg.

Landschappelijk ligt het gebied op het noordwestelijk deel van het Drents plateau. De hoogste delen rond +14 m NAP liggen in het oosten bij Assen (Figuur 3.2). Het maaiveld neemt geleidelijk af in hoogte richting Marum in het noordwesten. In het gebied liggen diverse beekdalen. In de beekdalen en de relatief lagere delen aan de zuidwest zijde van het gebied komen organisch-rijke bodems voor (moerige gronden en veen). Dit hangt samen met (oorspronkelijk) relatief hoge grondwaterstanden, onder andere door de aanwezigheid van de slecht doorlatende Peelo klei (potklei) op geringe diepte, bijvoorbeeld bij het Fochteloërveen aan de zuidrand van het gebied. Over grote delen van het gebied wordt wegzijging van grondwater naar diepere watervoerende pakketten belemmerd door de potklei. De bodems zijn verder vooral zandig en lemig (keileem) van aard.

Vergelijking van Figuur 3.2 en 3.3 laat zien dat historische afwateringseenheden (1975) aanzienlijk groter waren dan de huidige peilvakken. Figuur 3.3 laat verder zien dat de boezems vooral in het oostelijke en zuidelijke deel van het aandachtsgebied aanwezig zijn. De boezempeilen zijn in de huidige situatie overal hoger dan de naastgelegen polderpeilen (zomer) en hebben dus een infiltrerend karakter.



Figuur 3.2 Hoogteligging in het gebied met peilvakken en waterlopen; huidige situatie. De afgebeelde waterlopen zijn breder dan 2 meter (afkomstig uit Top250 van Kadaster).



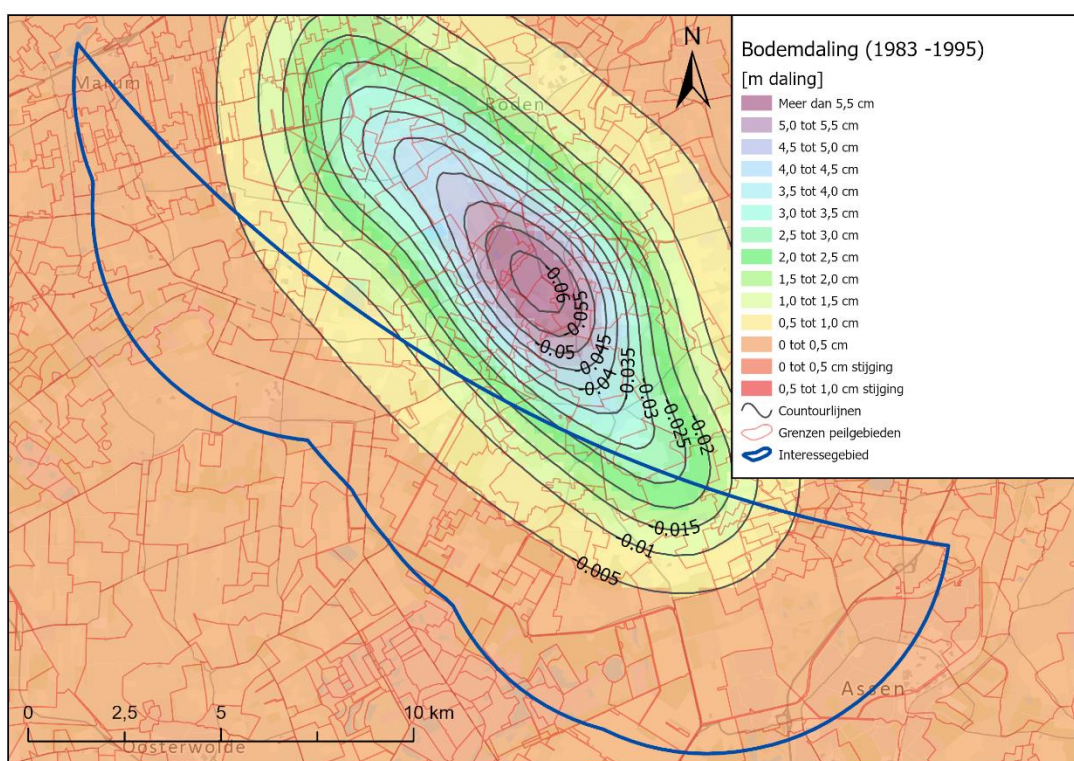
Figuur 3.3 Boezems met afwateringseenheden; situatie rond 1975. Slechts voor enkele afwateringseenheden is op de hiervoor gebruikte historische kaarten peilinformatie te vinden. De grote eenheden zijn veelal 'vrij afwaterende eenheden'. De eenheden buiten het interessegebied zijn veelal niet afgebeeld. Getoonde peilen voor enkele vakken betreffen de zomerpeilen

3.2 Opgetreden diepe bodemdaling en -stijging

Uitgangspunt voor de opgetreden bodemdaling en -stijging is de door TNO berekende bodemdaling en -stijging zoals gerapporteerd in [18].

Uit het Norgveld is op conventionele wijze gas geproduceerd tussen 1983 en 1995. Daarna is het veld ingesloten tot midden 1997 voor conversie naar gasopslag. Vervolgens is het op druk gebracht en volledig operationeel als gasopslag sinds 1999 met afwisseling van opslag en winning. De tijdsontwikkeling van maaiveldhoogteverandering bestond daardoor uit een fase van daling tot 1995, vervolgens herstel van de daling min of meer terug naar het oorspronkelijke maaiveldniveau, en daarna weer fases van daling en herstel. Alleen op momenten dat de opslag volledig gevuld is kan sprake zijn van een heel geringe netto bodemstijging (ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld vóór de gaswinning in 1983). Die stijging zou slechts enkele millimeters bedragen. Effecten van bodemstijging worden hier verder niet beschouwd. Voor bodemdaling wordt de maximale bodemdaling genomen. Deze zou zijn opgetreden in 1995 aan het einde van de oorspronkelijke productiefase en is weergegeven in Figuur 3.4.

De figuur laat zien dat de maximale daling in het aandachtsgebied net iets meer is dan 2,5 cm bedraagt aan de noordrand van het gebied.



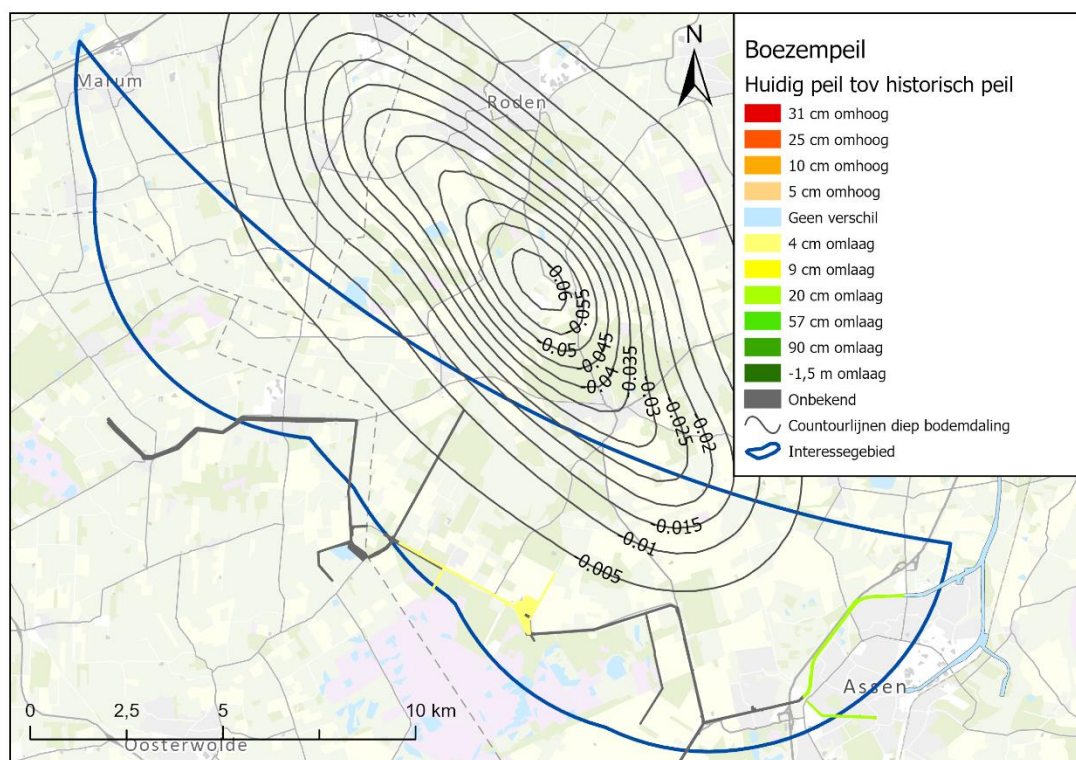
Figuur 3.4 Bodemdaling tussen 1983 en 1995 als gevolg van gaswinning Norg [18].

3.3 Relatieve grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling

3.3.1 Via relatieve peilverandering van boezems

Figuur 3.5 toont de boezemtrajecten samen met de diepe bodemdaling. Voor de boezemtrajecten is verder de peilverandering aangegeven in de huidige situatie ten opzichte van die rond 1975. Daaruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De autonome relatieve peilstijging van de boezems door de diepe bodemdaling in de periode 1983-1995 is overall minder dan 1 cm en voor het grootste deel van de boezems minder dan 0,5 cm.
- De actieve boezempeilwijzigingen (gele en groene trajecten) zijn niet gerelateerd aan diepe bodemdaling, maar zijn door andere oorzaken of door andere overwegingen doorgevoerd. Dat kan worden opgemaakt uit het feit dat er geen noemenswaardige diepe bodemdaling heeft plaatsgevonden voor deze trajecten. Voor zover peilwijzigingen zijn doorgevoerd op de trajecten waarvoor geen informatie over peilwijzigingen beschikbaar is in de gebruikte datasets (grijze trajecten) geldt hetzelfde, want over deze trajecten heeft tevens vrijwel geen diepe bodemdaling plaatsgevonden. Ook kan er geen 'lange-afstandsinvloed' van de diepe bodemdaling van het Groningen gasveld ten grondslag gelegen aan de doorgevoerde peilverlagingen omdat er geen peilverlaging is doorgevoerd in het boezemtraject dat daarop aansluit (Noord-Willemskanaal, blauwe traject).
- De autonome relatieve peilstijging kan een relatieve grondwaterstandsverhoging veroorzaken die maximaal gelijk is aan de peilstijging direct bij de boezem. Deze maximale grondwaterstandsverhoging is veel kleiner dan de opgestelde conservatieve grenswaarde voor schadelijkheid van grondwaterstandsstijging van 5 cm.

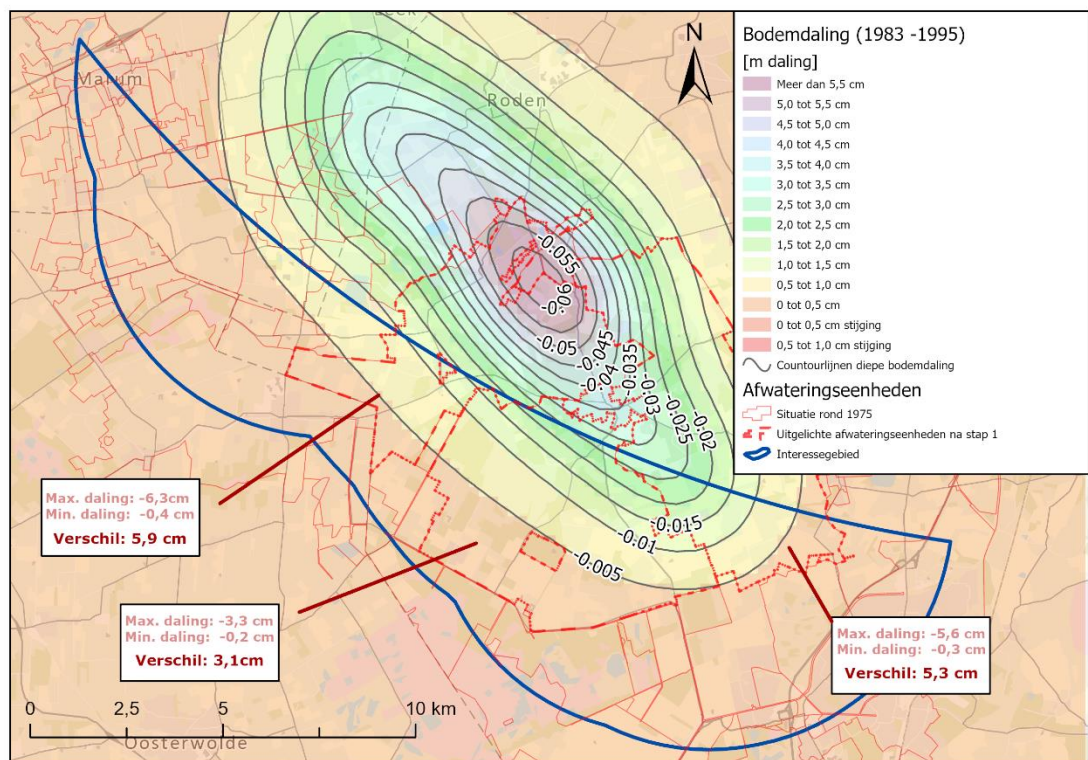


Figuur 3.5 Diepe bodemdaling en veranderingen in boezempeil tussen situatie rond 1975 en huidige situatie.

3.3.2 Via verandering in drooglegging in ontwateringseenheden

Een algemeen uitgangspunt in de analyse van dit 'effectpad' is dat de grondwaterstand een verandering in drooglegging één-op-één volgt. Specifiek: de verlaging van de laagste grondwaterstand gelijk is aan de toename van drooglegging, en de verhoging van de hoogste grondwaterstand is gelijk aan de afname van drooglegging. Dit is een conservatieve aanname in de zin dat het de kans op schade niet onderschat.

De analyse is gedaan in twee stappen. In de eerste stap is voor elk van de historische ontwateringseenheden (situatie rond 1975) het verschil bepaald tussen de minimale en maximale diepe bodemdaling binnen de eenheid. Dit geeft de bovengrens van verandering in drooglegging, en daarmee ook van de verandering in grondwaterstand, die binnen de eenheid kan zijn ontstaan door diepe bodemdaling wanneer de eenheid een regulier peilvak zou betreffen. Vervolgens zijn de ontwateringseenheden geselecteerd waar deze maximale verandering in grondwaterstand groter of gelijk is aan 20 mm (de conservatieve grenswaarde die wordt gehanteerd voor grondwaterstands-daling). De andere eenheden vallen daarmee af als potentiële gebieden waar via verandering in 'het polderpeil' door diepe bodemdaling schade-effecten mogelijk zijn. Figuur 3.6 toont de op deze wijze geselecteerde eenheden (3) samen met de diepe bodemdaling.

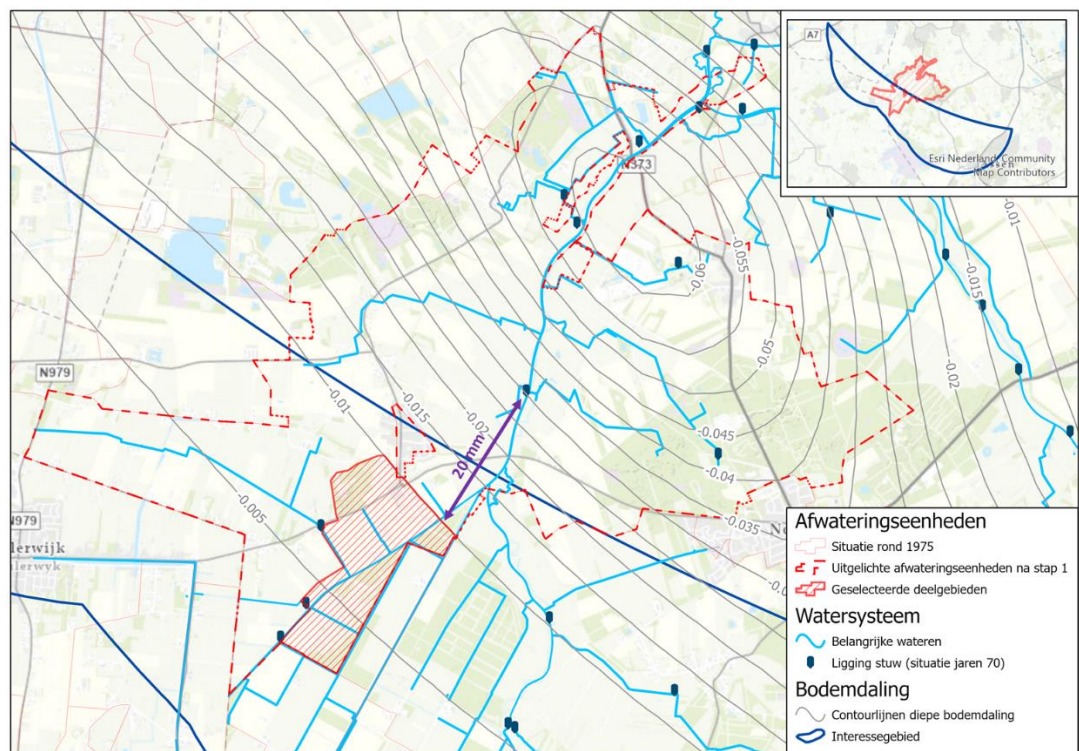


Figuur 3.6 Resultaat van stap 1 van de analyse: ontwateringseenheden waarin potentieel een relatieve grondwaterstandsverandering > 2 cm kan zijn ontstaan door diepe bodemdaling. De maximale verandering is aangegeven.

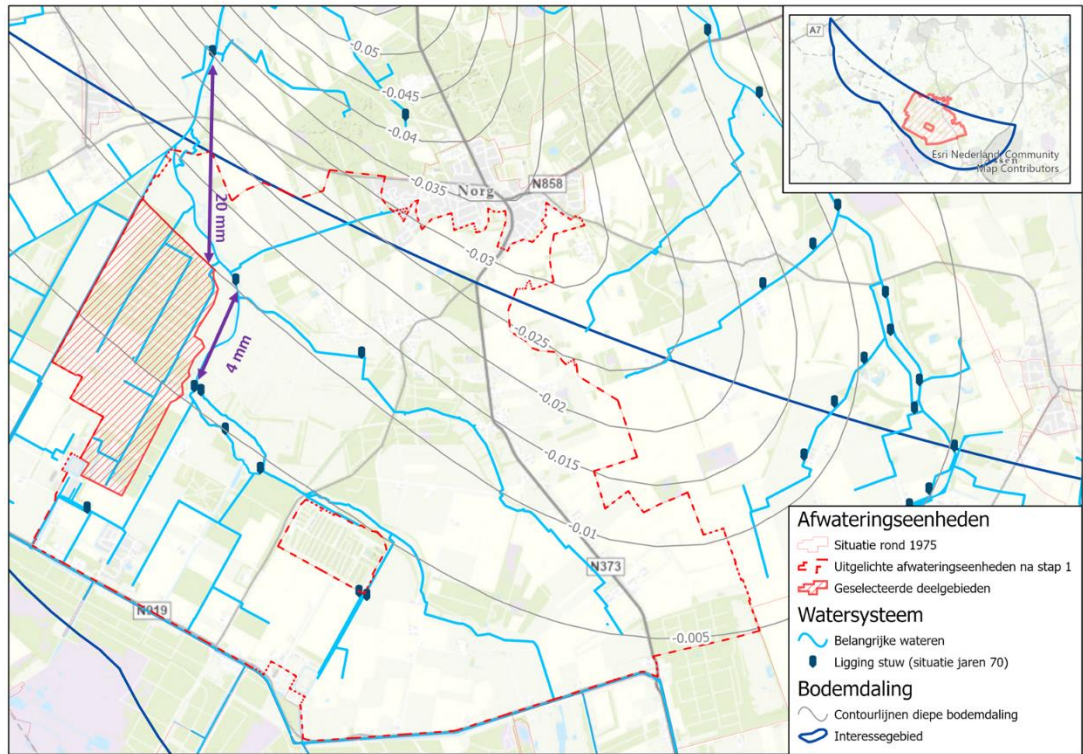
Vervolgens is in stap twee voor elk van de drie ontwateringseenheden een detailanalyse gemaakt op basis van de locatie van aanwezige stuwen en de afwateringsrichting van de watergangen. De locatie van de stuwen is overgenomen van de historische waterstaatskaart. De gehanteerde uitgangspunten voor de detailanalyse zijn de volgende:

- Watergangen die afwateren op een traject tussen twee stuwen functioneren als in een peilvak (er wordt een uniform peil verondersteld binnen deze watergangen).
- De verandering in drooglegging (relatieve peilverandering) door diepe bodemdaling is nul aan de bovenstroomse zijde van een stuw (maaiveld, stuw en waterpeil ondervinden dezelfde hoeveelheid daling).
- Boven een stuw is de verandering in drooglegging gelijk de mate waarin de bodemdaling toe of afneemt in vergelijking met de bodemdaling bij de stuw. Dit is van toepassing tot de eerste bovenstroomse stuw.

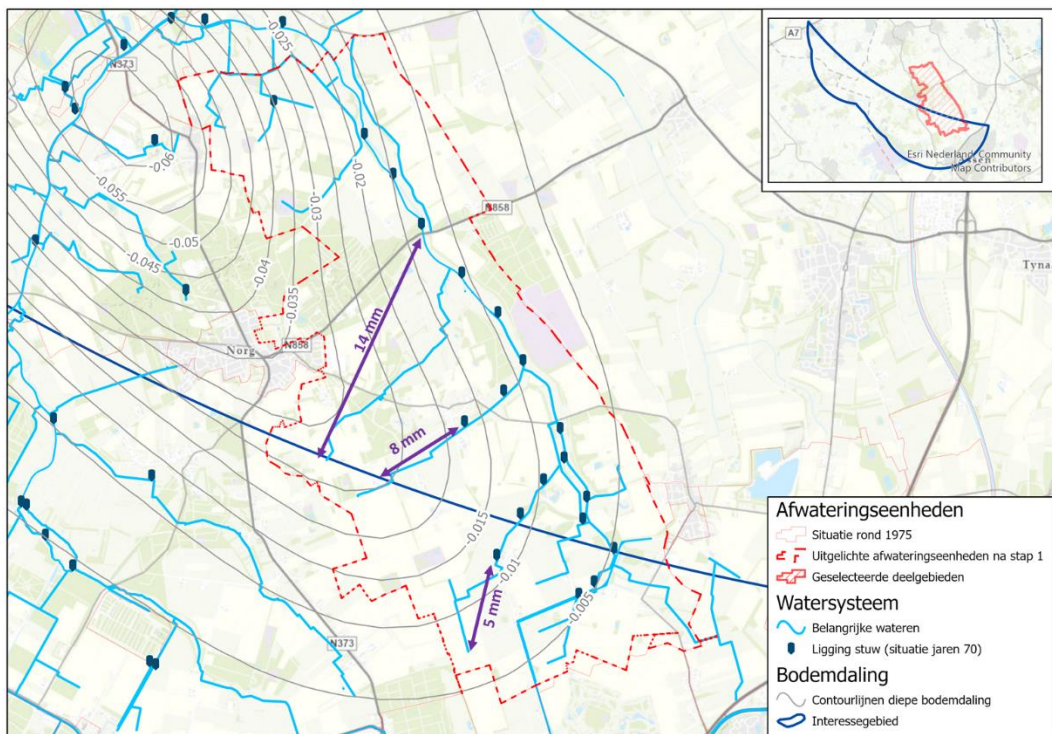
Met deze uitgangspunten is bepaald langs welke watergangtrajecten de toename in drooglegging groter of gelijk is aan 20 mm (de conservatieve grenswaarde die wordt gehanteerd voor grondwaterstands-daling) en welk grondgebied op deze watergangtrajecten afwateren. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 3.7 t/m Figuur 3.9. Daaruit valt op te maken dat in de westelijke en de centrale afwateringseenheid elk een deelgebied aanwezig is waar de grenswaarde wordt overschreden (en dat binnen het aandachtsgebied voor deze studie valt). In de oostelijke eenheid die afwatert via het Oostervoortse Diep wordt de grenswaarde nergens overschreden. Alleen in de twee geselecteerde gebieden kan een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten. De andere grondgebiedsdelen binnen de ontwateringseenheid vallen daarmee af als potentiële gebieden waar via verandering in 'het polderpeil' door diepe bodemdaling schade-effecten mogelijk zijn. De veranderingen in drooglegging in de geselecteerde gebieden (het betreft hier een toename van drooglegging = relatieve peilverlaging) zijn nergens meer dan 3 cm. Er wordt vanuit gegaan dat dit geen grond kan zijn geweest voor actieve peilwijzigingen.



Figuur 3.7 Resultaat van analysestap 2 voor de westelijke afwateringseenheid uit stap 1: Het deelgebied waar de toename van drooglegging door diepe bodemdaling groter kan zijn dan 20 mm is rood gearceerd.



Figuur 3.8 Resultaat van analysestap 2 voor de centrale afwateringseenheid uit stap 1: Het deelgebied waar de toename van drooglegging door diepe bodemdaling groter kan zijn dan 20 mm is rood gearceerd.

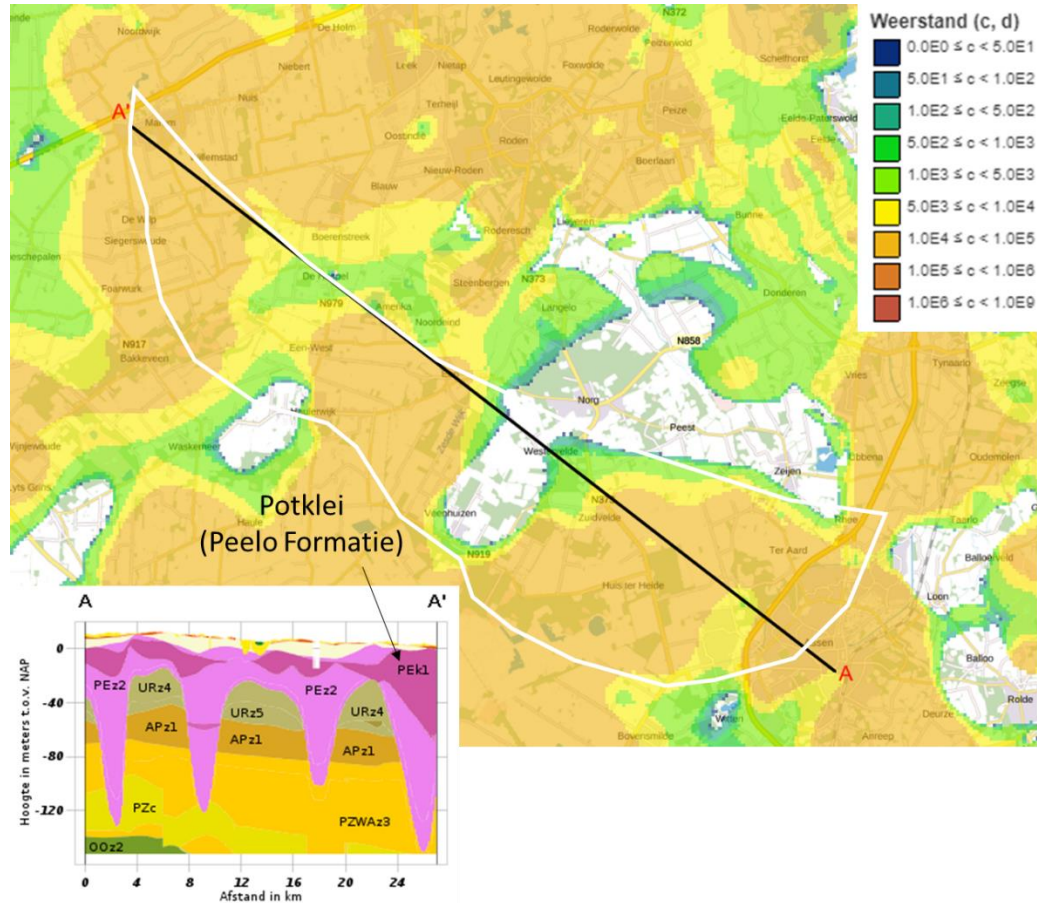


Figuur 3.9 Resultaat van analysestap 2 voor de oostelijke afwateringseenheid uit stap 1: Er zijn geen deelgebieden waar de toename van drooglegging door diepe bodemdaling groter kan zijn dan 20 mm.

3.3.3

Via verandering in regionale grondwaterstroming

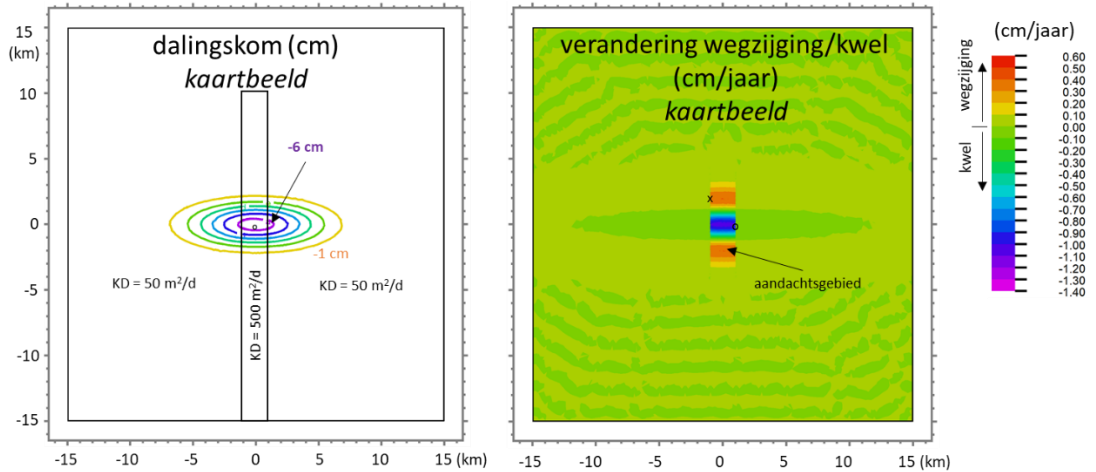
Om de potentiële bijdrage van regionale grondwaterstroming aan verandering in grondwaterstand te schatten voor het zuidelijke deel van de dalingskom zijn modelberekeningen uitgevoerd. Regionale (diepe) grondwaterstroming in het gebied wordt in sterke mate beperkt door de eerste kleiige eenheid van de Peelo formatie (potklei) die in grote delen van het gebied aanwezig is op dieptes tussen ca. 1 en 15 m beneden maaiveld. Lokaal is de klei afwezig, o.a. tussen Veenhuizen en Norg. Dit is te zien in een kaart van de verticale weerstand van deze laag tegen grondwaterstroming (Figuur 3.10). Op deze locaties kan daardoor een sterkere wegzijging en kwel aanwezig zijn.



Figuur 3.10 Hydraulische weerstand van de 1^e kleiige eenheid van de Peelo Formatie. Deze klei beperkt in grote delen van het gebied de regionale grondwaterstroming. De klei is lokaal afwezig, bijvoorbeeld tussen Veenhuizen en Norg. Bron: BRO REGIS II v2.2 (dinoloket).

Berekeningen zijn gedaan voor een geschematiseerde, ellipsvormige dalingskom in kaartbeeld (Figuur 3.11) met afmetingen en komdiepte die globaal overeenkomen met de gedocumenteerde diepe bodemdaling (Figuur 3.4; Figuur 3.6). Afwezigheid van de Peelo klei is opgenomen in de vorm van een 2-km brede strook over het diepste deel van de dalingskom. In deze strook en daarbuiten is de ondergrond een hoge doorlaatbaarheid (KD-waarde) toegekend – 10 maal hoger binnen de strook dan daarbuiten - en is verticale weerstand tegen grondwaterstroming is verwaarloosd. Deze condities zijn zo gekozen dat het regionale stromingseffect niet wordt onderschat.

In het rechterdeel van Figuur 3.11 wordt de berekende wegzijging aan de randen en kwel in de centrale delen van de kom getoond. De maximale wegzijging aan de rand van de dalingskom – dit correspondeert met het aandachtsgebied – bedraagt 0,3 cm/jaar ofwel 3 mm/jaar. Dit is ca. 1% van het jaarlijkse neerslagoverschot dat door het drainagesysteem van sloten, drains en kanalen wordt verwerkt. Dat geeft aan dat de invloed op de grondwaterstand marginaal/verwaarloosbaar is.



Figuur 3.11 Kwel en wegzijging (in mm/jaar) door de verandering in regionale grondwaterstroming (rechtsonder), berekend voor een hypothetische dalingskom (links en rechtsboven) voor een zeer goed doorlaatbare ondergrond.

3.4 Deformatiegevoeligheid van de ondergrond in relatie tot grondwaterstandsverandering

In deze paragraaf wordt informatie gegeven over de deformatiegevoeligheid van de ondergrond in het aandachtsgebied voor de belangrijkste potentiële schademechanismen (paragraaf 2.5). De gebruikte bronbestanden zijn weergegeven in Tabel 3-1.

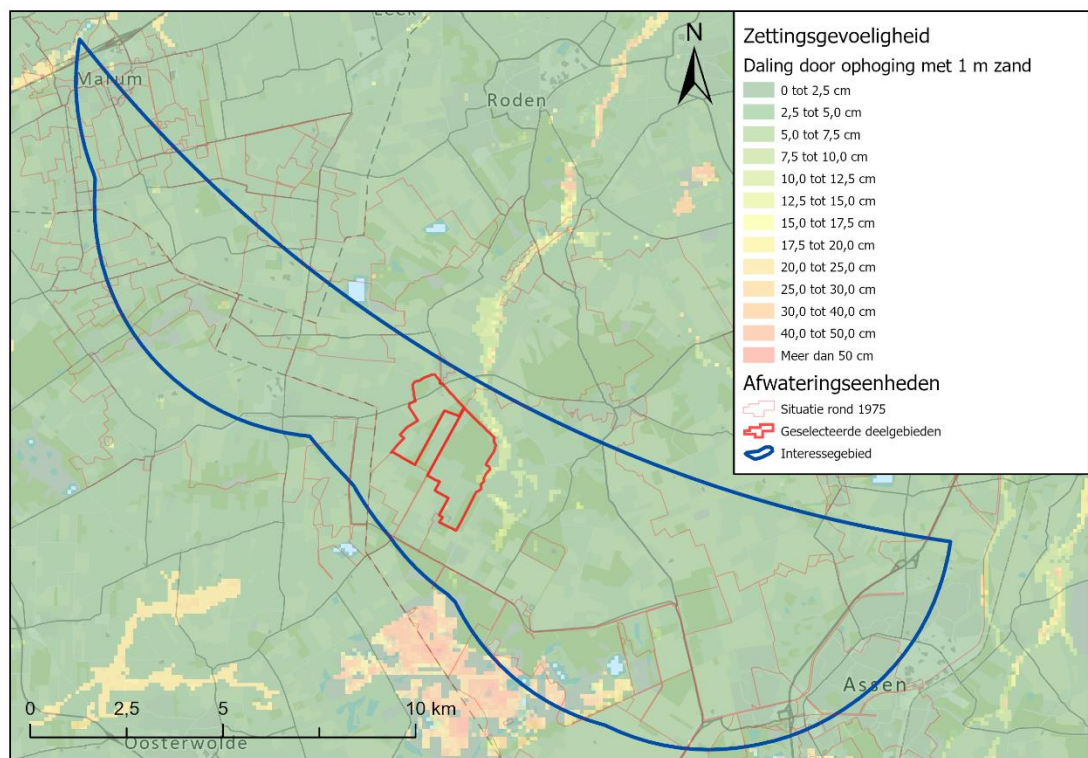
Tabel 3-1 Gebruikte bronbestanden voor deformatiegevoeligheid

deformatiegevoeligheid	Bron voor kartering
samendrukking-/zetting	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; bodemdalingsvoorspellingskaarten; bodemdaling na ophoging (N.B. de meest recente kaart is gebruikt en betreft een door Deltares/TNO/WEnR versie die wordt gepubliceerd in mei 2021).
Krimp-zwel	Deltares, ongepubliceerd
Oxidatie van veen	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; bodemdalingsvoorspellingskaarten; bodemdaling door oxidatie (N.B. de meest recente kaart is gebruikt en betreft een door Deltares/TNO/WEnR versie die wordt gepubliceerd in mei 2021).
Aantasting houten paalfunderingen	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; kwetsbaarheid voorspellingskaart houten palen; klimaatscenario Strong.

De gevoeligheidskaarten zijn gebaseerd op een model voor de meest-waarschijnlijke verwachting over de opbouw van de ondergrond (verticale verdeling van klei, veen, zand als functie van de diepte). Dat betekent dat de kaarten indicatief van aard zijn. De opbouw van de ondergrond kan lokaal afwijken van het ondergrondmodel. Voor individuele panden kan de deformatiegevoeligheid dan ook afwijken van wat de kaarten weergeven. Deze informatie geeft daarom een algemeen verwachtingsbeeld voor de verschillende schademechanismen, maar wordt verder niet gebruikt om de deelgebieden waar effecten niet kunnen worden uitgesloten verder te verkleinen.

3.4.1 Samendrukking-/zettingsgevoeligheid

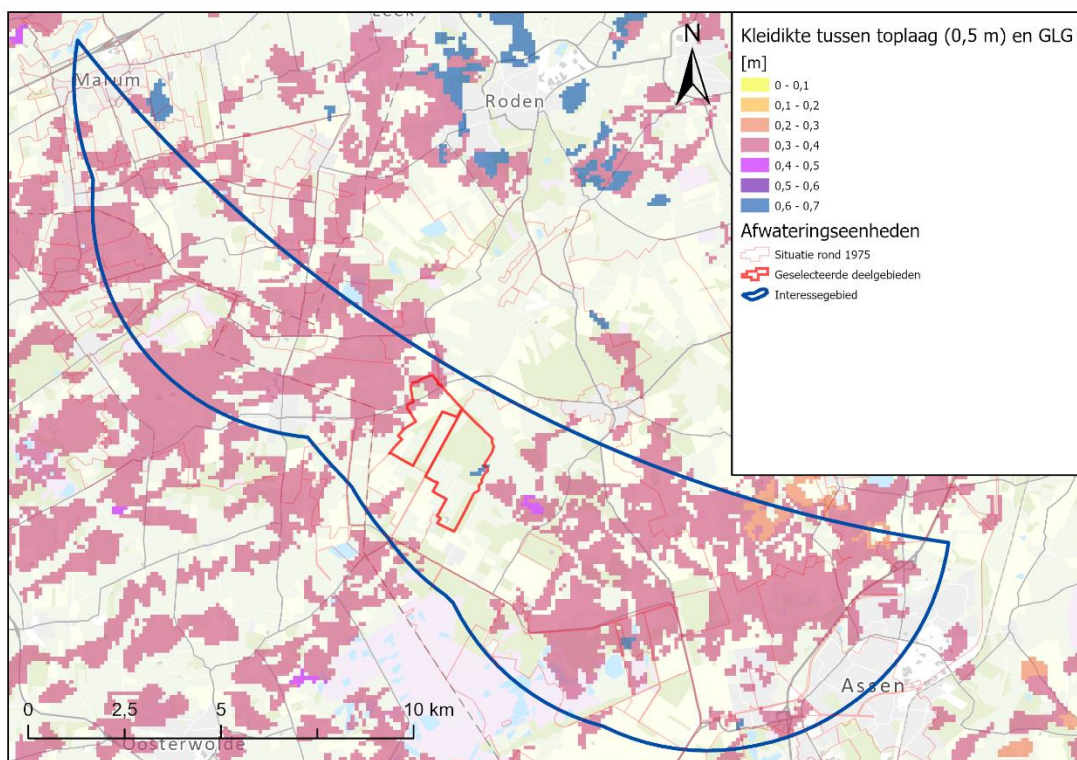
Figuur 3.12 laat zien dat de zettingsgevoeligheid door samendrukking vrijwel overal in het aandachtsgebied heel gering is. Dit hangt samen met het feit dat de bodemopbouw in de bovenste tientallen meters hoofdzakelijk uit zand bestaat. Lokaal is er een iets hogere zettingsgevoeligheid (geel/oranje tinten). Dit betreft locaties waar veen kan voorkomen zoals in het beekdal van de Slokkert ten westen van Norg en in aan de zuidrand van het gebied bij het Fochteloërveen. N.B. de belasting door een ophoging met 1 m zand komt grofweg overeen met een grondwaterstandsverlaging van 1,5 meter. De gevoeligheid voor (veel) kleinere veranderingen zal derhalve ook veel beperkter zijn; de kaart moet worden gezien als een indicator voor zettingsgevoelige gebieden.



Figuur 3.12 Zettingsgevoeligheid (door samendrukking) van de ondergrond. De gevoeligheid berust op de berekende zetting na 30 jaar voor een ophoging van 1 m zand. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn..

3.4.2 Krimp-zwelgevoeligheid

Figuur 3.13 heeft aan dat er in grote delen van het aandachtsgebied klei aanwezig is tussen 0,5 m beneden maaiveld – dit is grofweg de diepte van funderingen op staal - en de gemiddeld diepste grondwaterstand (GLG). Deze locaties zijn dus potentieel gevoelig voor krimp-zwel vervormingen van de ondergrond onder funderingen. De gevoeligheid neemt toe met toenemende kleidikte. De gevoeligheid voor extra krimp-zwel deformatie door een relatieve grondwaterstandsverlaging neemt ook toe met toenemende kleidikte.

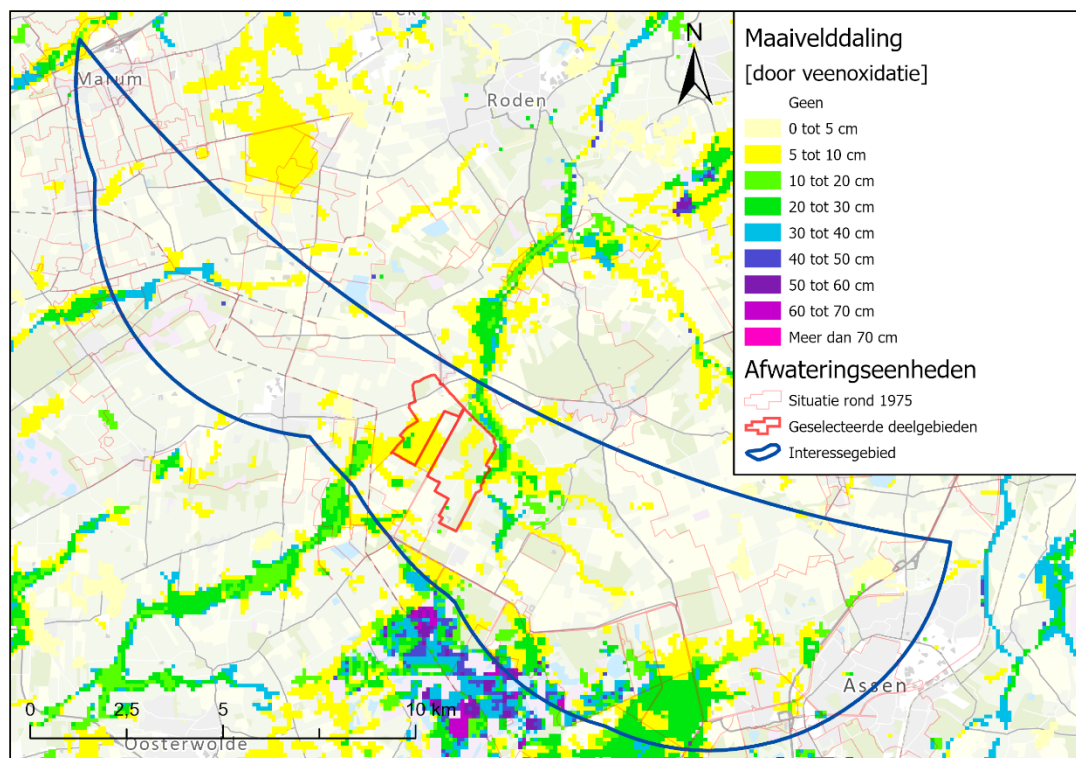


Figuur 3.13 Krimp-zwelgevoeligheidskaart. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

3.4.3 Oxidatiegevoeligheid

Voor oxidatiegevoeligheid is een bodemdalingsvoorspellingskaart door veenoxidatie uit de nationale klimaat-effectatlas opgenomen (Figuur 3.14). Het betreft een prognose voor de periode 2020-2050 zonder effecten van diepe bodemdaling. Hogere waarden voor de maaiveld daling geven aan waar er op dit moment, maar ook naar de toekomst toe, bij grondwaterstandsverlaging, meer veen aanwezig is dat aan oxidatie blootgesteld kan worden. De kaart geeft dus ook aan waar grondwaterstandsverlaging door diepe bodemdaling voor extra daling kan hebben gezorgd en een extra risico kan hebben opgeleverd voor funderingen van panden.

In het grootste deel van het aandachtsgebied is de gevoeligheid voor oxidatie erg gering. Gevoeligheid is vooral aanwezig in het zuidwestelijk deel en in het gebied van de Slokkert dat afwatert richting het Grote Diep.

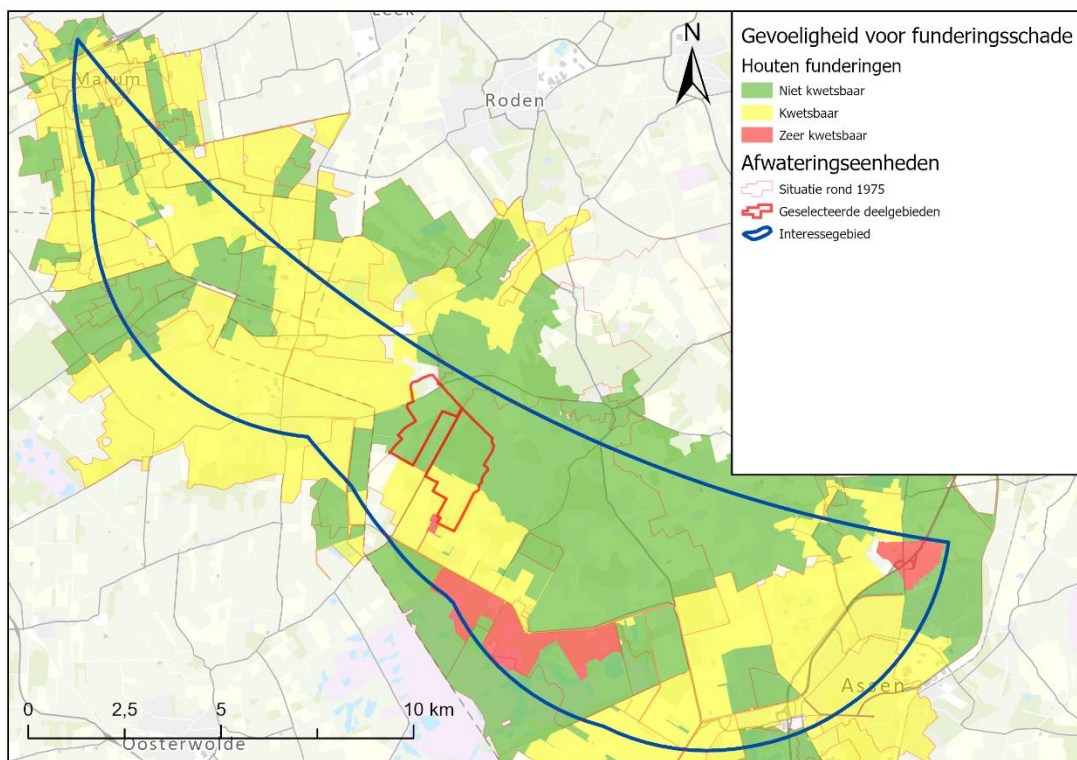


Figuur 3.14 Oxidatiegevoeligheidskaart. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

3.4.4 Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen

Voor houten paalfunderingen is de kwetsbaarheid uit de nationale klimaateffectatlas opgenomen (Figuur 3.15). Het betreft een prognose voor de periode 2020-2050 zonder effecten van diepe bodemdaling, inclusief sterke klimaateffecten. Hogere waarden voor de kwetsbaarheid geven aan dat er op dit moment, maar ook naar de toekomst toe bij grondwaterstandsverlaging, kans is op blootstelling van houten paalfunderingen, mits die zich in het gebied bevinden. De kaart geeft dus aan waar grondwaterstandsverlaging door diepe bodemdaling voor extra aantasting kan hebben gezorgd en een extra risico kan hebben opgeleverd voor houten funderingen van panden.

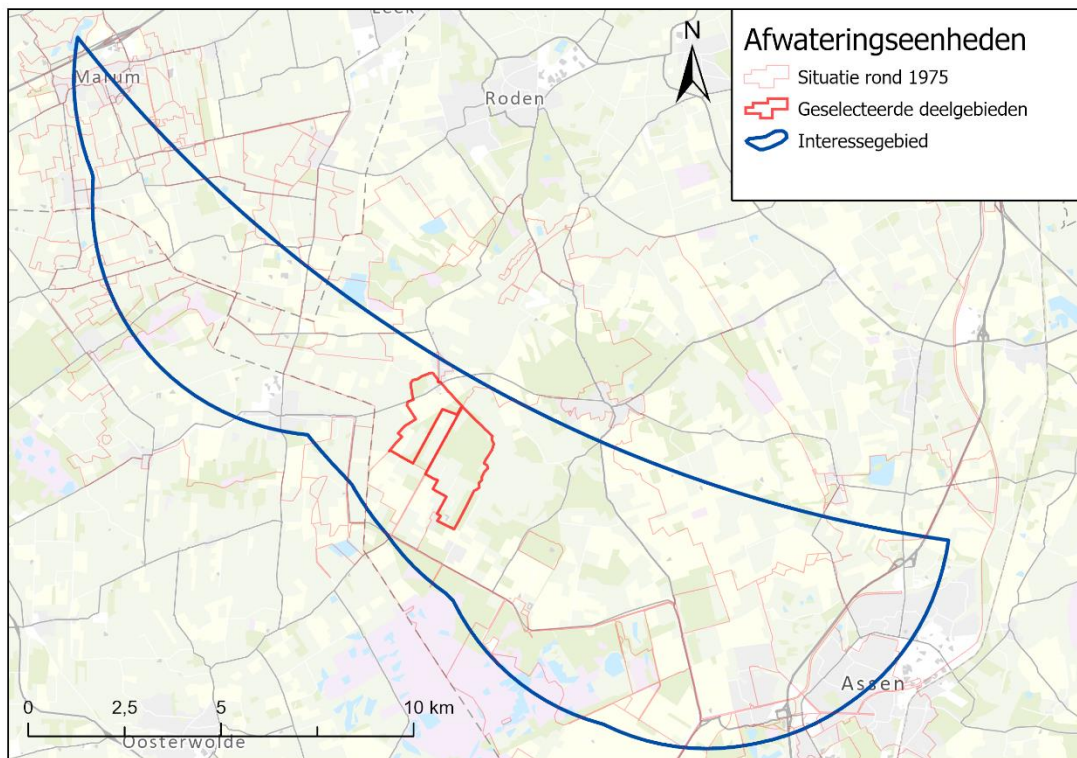
De kaart geeft aan dat het grondgebied nabij Veenhuizen mogelijk kwetsbaar is voor aantasting van houten paalfunderingen. Of houten paalfunderingen aanwezig zijn in deze delen is niet onderzocht. Het is gezien de bouwhistorie echter niet waarschijnlijk dat houten paalfunderingen veel voorkomen.



Figuur 3.15 Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

3.5 Conclusies met betrekking tot indirecte schaderisico's door diepe bodemdaling

1. De opgestelde veilige eis voor grondwaterstandsverlaging van maximaal 2 cm (voor oxidatie, krimp-zwel, aantasting houten paalfunderingen) wordt volgens de analyse in twee deelgebieden mogelijk in lichte mate overschreden via scheefstelling van 'peilvakken'. Deze deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 3.16.
2. De veilige eis van maximaal 5 cm voor samendrukking/zetting wordt nergens overschreden.
3. Binnen geselecteerde deelgebieden komen delen voor waar de ondergrond potentieel gevoelig is voor krimp-zwel en/of oxidatie en/of aantasting van houten paalfunderingen. Het is gezien de bouwhistorie echter niet waarschijnlijk dat houten paalfunderingen veel voorkomen.
4. Via de boezems zijn er geen indirecte schade effecten van diepe bodemdaling in het gebied.
5. Verandering in de regionale grondwaterstroming kan de grondwaterstandsverlaging in het oostelijke van de twee deelgebieden, bij Veenhuizen, heel licht hebben vergroot, maar deze bijdrage wordt verwaarloosbaar geacht.



Figuur 3.16 Overzicht van de deelgebieden waar volgens de analyse indirecte effecten van diepe bodemdaling niet kunnen worden uitgesloten.

4 Analyse aandachtsgebied bij het Groningen gasveld

Voor het vervaardigen van de kaarten in dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van een aantal bronnen. Allereerst is voor huidige de ligging van de peilvakken, de polderpeilen en boezemwateren gebruik gemaakt van data uit het Landelijk Hydrologisch Model (LHM, te vinden onder <http://nhi.nu/>). Hierin zijn grenzen en peilen voor alle peilvakken in Nederland bij de waterschappen verzameld. In deze gegevens zijn de boezemvakken niet als zodanig onderscheiden van de overige (polder)vakken

De historische peilvakgrenzen en peilinformatie is gebaseerd op informatie uit het archief van Rijkswaterstaat (

https://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/waterstaatskaart/geogegevens/raster/vijfde_editie/). Deze bevat kaartbladen met de voormalige ligging van de peilvakken en de bijbehorende peilen. Gebruik is gemaakt van de situatie rond 1975 weer. De gegevens waren niet gegeoreferereerd en dit is handmatig gedaan door Deltares. De boezems zijn op de kaarten veelal als zodanig onderscheiden van de overige peilvakken. De grenzen tussen de kanaalpannen zijn echter lastig uit de kaarten te halen. Gezien de voor deze studie beschikbare tijd is er daarom van uit gegaan dat de grenzen overeenkwamen met de huidige grenzen, tenzij dit heel duidelijk niet het geval leek te zijn.

Hoogtedata zijn afkomstig van AHN (<https://www.ahn.nl/>).

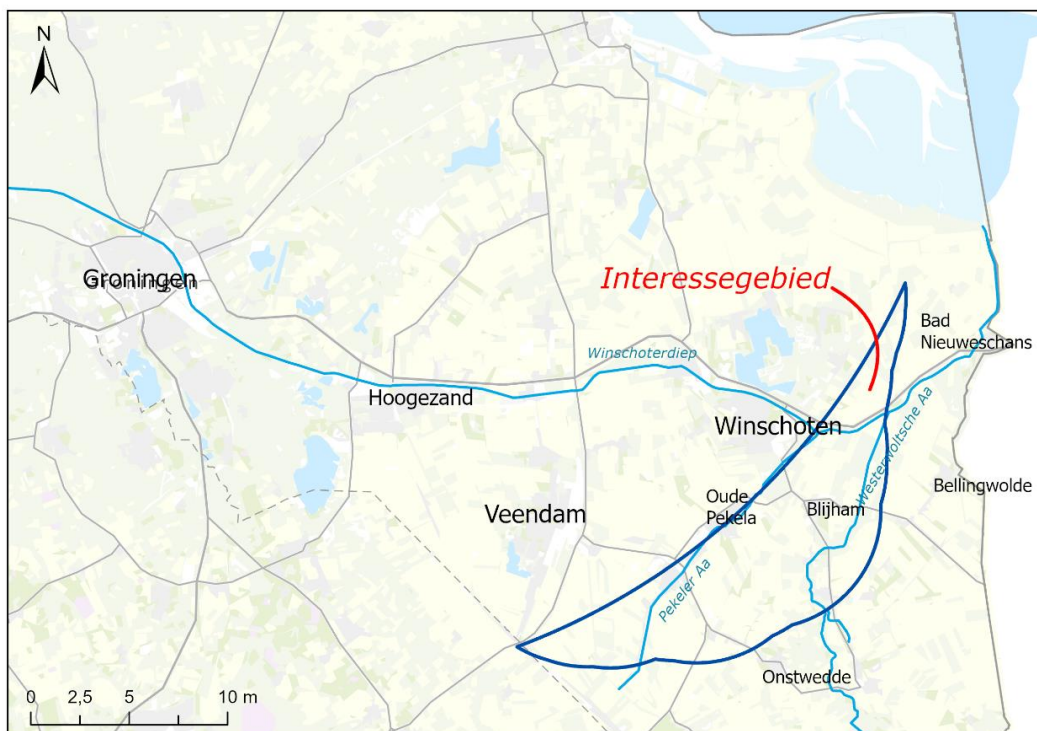
De gegevens over de diepe bodemdaling zijn geleverd door TNO.

Zettingsgevoeligheid, kleidiktes en oxidatiegevoeligheid zijn afkomstig van Deltares.

Waar de conclusies over de effecten van diepe bodemdaling in belangrijke mate afhankelijk zijn van deze informatie wordt aanbevolen om de informatie te verifiëren bij de betreffende waterschappen. Voor de uitvoering van dit onderzoek was het niet mogelijk deze verificatie te doen.

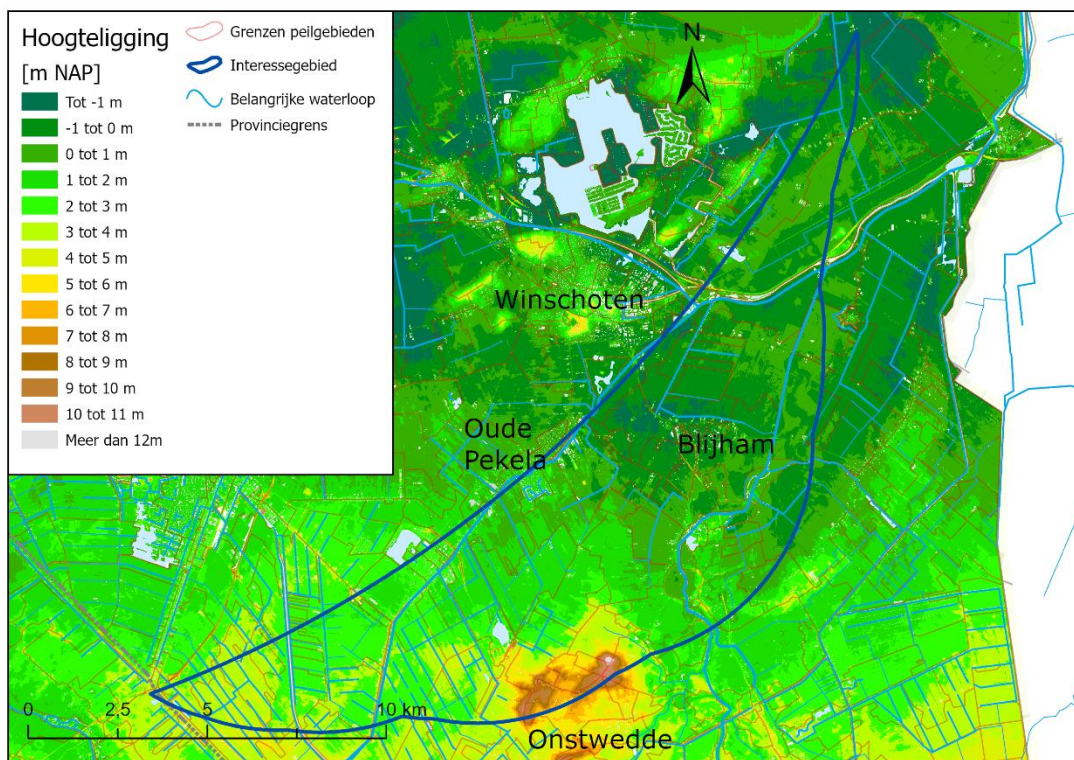
4.1 Algemene karakteristieken en gebiedsontwikkeling

Figuur 4.1 toont de ligging van het aandachtsgebied. Het gebied ligt in het Waterschap Hunze en Aa's. Het grootste deel van het gebied, ten zuiden en ten westen van Blijham, ligt in de voormalige Groningse Veenkoloniën dat werd/wordt gekenmerkt door de vele kanalen en wijken - beide zijn watergangen - die werden aangelegd voor de afwatering van het veenwater en van de turf werden aangelegd [19]. Volgens de bodemkaart is er hier en daar nog restveen aanwezig en bevat de ondergrond daar een grote fractie organisch materiaal (moerige bodems). Maar voor het grootste deel bestaat het gebied uit zandbodems (formatie van Boxtel). In enkele beekdalen zoals van de Westervoldse Aa worden kleiige en venige beekafzettingen aangetroffen. Ten noorden van Blijham is het veen nog aanwezig in de ondergrond en wordt afgedekt door mariene silt- en kleiafzettingen van de Dollard (laagpakket van Walcheren).



Figuur 4.1 Ligging aandachtsgebied bij het Groningen gasveld.

Er zijn relatief grote hoogteverschillen aanwezig in het gebied (Figuur 4.2). Ten noorden van Onstwedde bereikt het maaiveld lokaal niveaus van rond de +10 m NAP. Dit hangt samen met de verbreiding van de Pleistocene Peelo klei in de ondergrond. In de noordoostelijke helft van het gebied varieert de hoogte tussen -0.1 tot -1.5 m NAP. Door het hoogteverschil zijn er relatief veel kleine peilvakken (Figuur 4.2). Door veenoxidatie zijn hoogteverschillen in de loop van de tijd groter geworden waardoor meer stuwen moesten worden geplaatst. Figuur 4.3 laat zien dat de peilvakken rond 1975 nog aanzienlijk groter waren. Figuur 4.3 laat verder zien dat het gebied wordt doorsneden en deels begrensd door diverse grotere waterlopen (boezems) als de Pekel Aa en de Westervoldse Aa die verbonden zijn met het Winschoterdiep. Vergelijking van de polderpeilen met de boezempeilen wijst erop dat de boezempeilen overal in het gebied hoger zijn dan de naastgelegen polderpeilen. Er wordt daarom vanuit gegaan dat de boezems een infiltrerend karakter hebben.



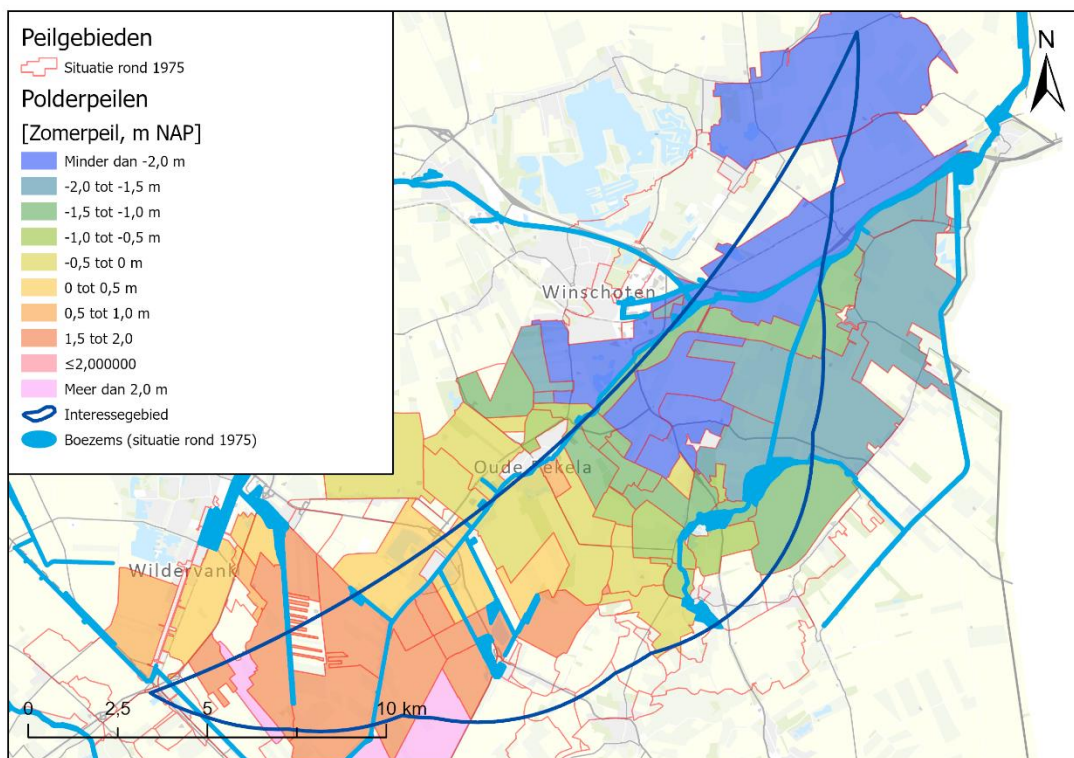
Figuur 4.2 .Hoogteligging in het gebied met peilvakken en waterlopen; huidige situatie. De afgebeelde waterlopen zijn breder dan 2 meter (afkomstig uit Top250 van Kadaster).

Onderstaande beschrijving van ontwikkelingen in het waterbeheer is gebaseerd op informatie van districtshydroloog Anton Bartelds van het waterschap Hunze en Aa's.

In dit aandachtsgebied heeft in de jaren '80 en '90 een herinrichting plaats gevonden; de Herinrichting voor Oost-Groningen en de Drents-Groningse veenkoloniën. In het kader hiervan zijn grootschalige waterbeheersingsplannen uitgevoerd. Een belangrijk doel hiervan was het gebied o.a. voor de landbouw weer toekomstbestendig te maken. Het droge jaar 1976 had o.a. duidelijk gemaakt dat watertekort een issue was. Dat betekende o.a. de aanleg van nieuwe watergangen, gemalen, stuwen en inlaten om voor de landbouw de optimale productie omstandigheden (drooglegging) te kunnen realiseren. Veelal is dat gepaard gegaan met een peilverlaging voor de winterperiode en een peilverhoging in de zomerperiode. De aanpassingen zijn zeker niet specifiek gedaan om negatieve effecten van diepe bodemdaling te compenseren.

In de periode 2001-2008 is het peil van het Winschoterdiep, en daarmee ook van het Pekeler Aa en het Pekelerhoofddiep in drie stappen met 9 cm verlaagd (streefpeil van +0,62 m NAP naar +0,53 m NAP). Deze peilwijziging hangt wel samen met diepe bodemdaling ten noorden van het aandachtsgebied en veroorzaakt dus een relatieve peilverlaging in delen van het aandachtsgebied.

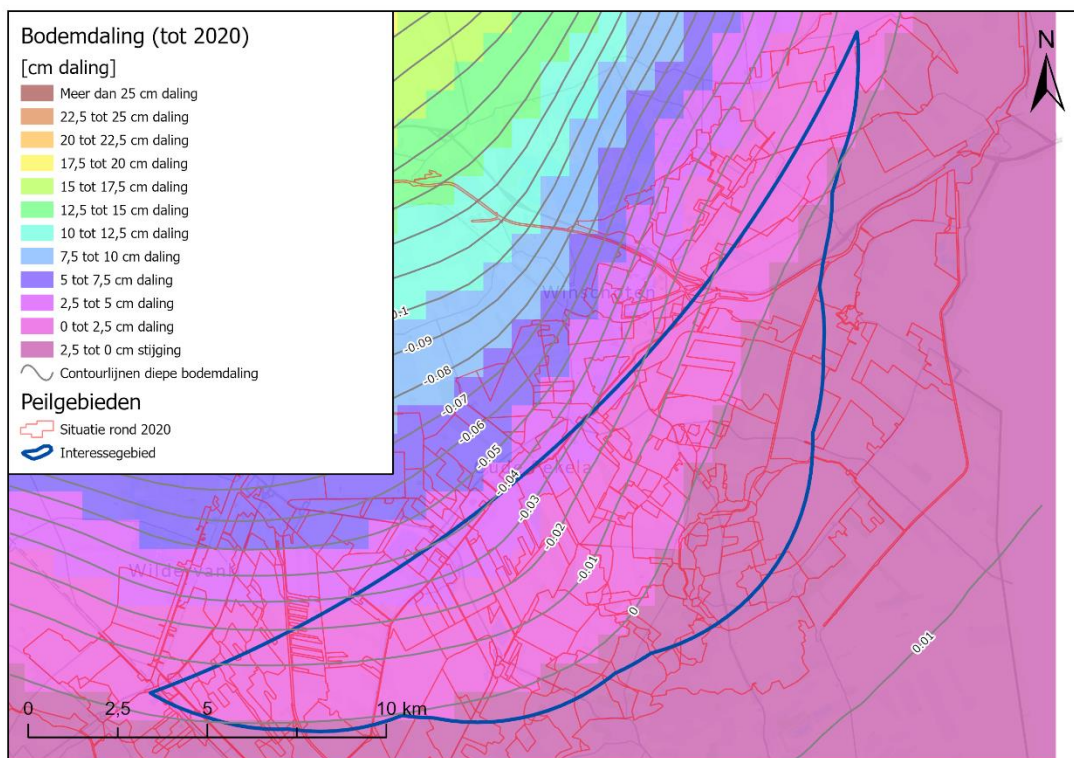
Ook op dit moment liggen de boezempeilen in vrijwel het hele gebied hoger dan de naastgelegen (zomer) polderpeilen en zijn dus infiltrerend van karakter.



Figuur 4.3 Boezems met peilvakken voor de situatie rond 1975. In een aantal peilvakken is op de hiervoor gebruikte historische kaarten geen peil informatie te vinden. De peilvakken buiten het interessegebied zijn veelal niet afgebeeld. Getoonde peilen betreffen de zomerpeilen.

4.2 Opgetreden diepe bodemdaling

Uitgangspunt voor de opgetreden bodemdaling is de door TNO berekende bodemdaling zoals gerapporteerd in [18]. Figuur 4.4 laat deze diepe bodemdaling zien voor de periode 1963-2020. De bodemdaling neemt toe in noordwestelijke richting; de richting van het diepste deel van de dalingskom. De maximale daling bedraagt ca. 4 cm nabij Oude Pekela.



Figuur 4.4 Bodemdaling tussen 1963 en 2020 als gevolg van gaswinning in het Groningenveld [18].

4.3 Relatieve grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling

4.3.1 Via relatieve peilverandering van boezems

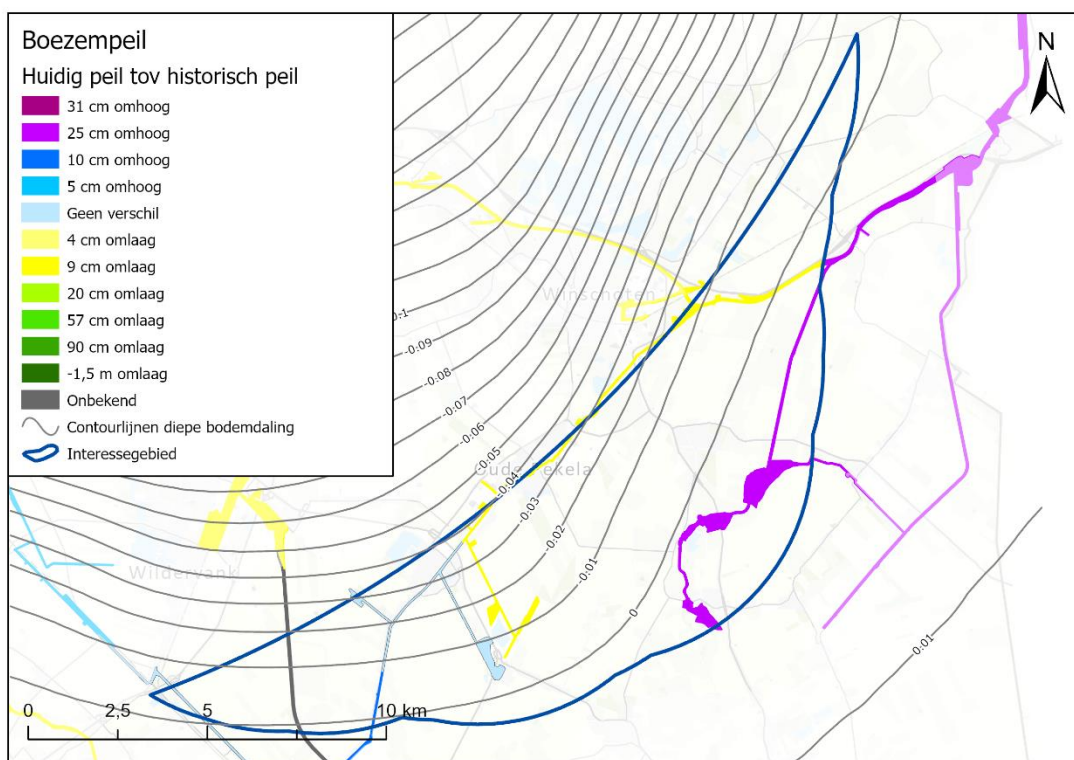
Figuur 4.5 toont de boezemtrajecten samen met de diepe bodemdaling. Voor de boezemtrajecten is verder de peilverandering aangegeven in de huidige situatie ten opzichte van die rond 1975. Daaruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De autonome relatieve peilstijging van de boezems door de diepe bodemdaling bereikt alleen waarden groter dan 2 cm nabij Oude Pekela (waar de contourwaarden van diepe bodemdaling kleiner zijn dan -0,02. De maximale waarde is ca 4 cm.
- Van de actieve boezempeilwijzigingen (gekleurde trajecten) kan alleen de verlaging van 9 cm van de Pekel Aa die verbinding heeft met het Winschoterdiep bij Winschoten (gele traject) gekoppeld worden aan diepe bodemdaling. Deze wijziging is doorgevoerd in de periode 2001-2008. Voor de Westerwoldse Aa wordt een peilverhoging van 10 cm gevonden in de data⁵; en in het zuidwesten van het gebied een kort traject met een peilverhoging van 5 cm. Van deze verhogingen wordt verondersteld dat ze geen relatie hebben met diepe bodemdaling.
- De netto relatieve peilverandering (resultaat van autonome stijging en actieve peilwijziging) langs het gele traject betreft dus een netto peilverlaging die varieert tussen 5 en 9 cm. Als conservatief uitgangspunt wordt ervoor gekozen om langs dit hele traject een verlaging van 9 cm aan te houden. Dit houdt er bijvoorbeeld rekening mee dat pandeigenaren op hun perceel eventueel compenserende maatregelen hebben doorgevoerd voor de autonome grondwaterstandsstijging.

⁵ De heer Bartelds van het waterschap Hunze en Aa's gaf in persoonlijke communicatie aan dat deze peilstijging mogelijk niet correct is.

- De maximale relatieve grondwaterstandsverlaging door relatieve boezempeilverlaging bedraagt, onder zeer ongunstige omstandigheden, 9 cm direct bij de boezem. In principe neemt deze grondwaterstandsverlaging snel af met de afstand van de boezem, ook omdat het om infiltrerende boezemtrajecten gaat.
- In de praktijk zijn grondwaterstandsverlagingen groter dan 9 cm denkbaar wanneer bij de peilwijziging werkzaamheden zijn uitgevoerd aan de oevers of de waterbodembodem waardoor de intree weerstand van het kanaal tegelijkertijd vergroot is, bijvoorbeeld door gebruik van diepere of slechter doorlatende damwanden.

Volgens de gehanteerde systematiek kan een invloed van de peilverlaging (nominaal 9 cm) niet worden uitgesloten in de zone rond de boezem waar de door de peilverlaging veroorzaakte grondwaterstandsverlaging groter of gelijk is aan 2 cm. Voor deze zone wordt hier 200 m aan beide zijden gehanteerd. Dit wordt erg ruim geacht, met name omdat het boezemtraject een infiltrerend karakter heeft en peilverlagingseffecten over het algemeen beperkt worden door de kanaalbodem weerstand. Met lokale geohydrologische informatie en modelberekeningen is het in principe mogelijk om tot nauwkeuriger schattingen te komen van het invloedsgebied.

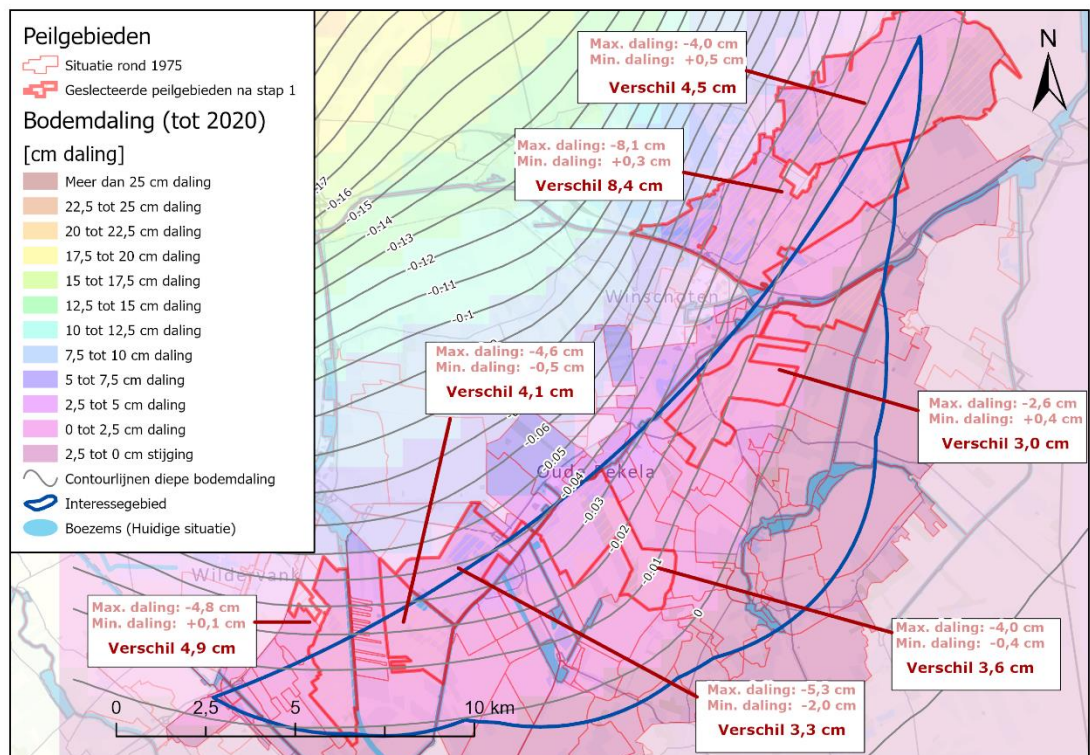


Figuur 4.5 Diepe bodemdaling en veranderingen in boezempeil tussen situatie rond 1975 en huidige situatie.

4.3.2 Via verandering in drooglegging in peilvakken

Een algemeen uitgangspunt in de analyse van dit 'effectpad' is dat de grondwaterstand een verandering in drooglegging één-op-één volgt. Specifiek: de verlaging van de laagste grondwaterstand is gelijk aan de toename van drooglegging, en de verhoging van de hoogste grondwaterstand is gelijk aan de afname van drooglegging. Dit is een conservatieve aanname in de zin dat het de kans op schade niet onderschat.

De analyse is gedaan in twee stappen. In de eerste stap is voor elk van de historische peilvakken (situatie rond 1975) het verschil bepaald tussen de minimale en maximale diepe bodemdaling binnen het vak. Dit geeft de bovengrens van verandering in drooglegging, en daarmee ook van de verandering in grondwaterstand, die binnen de peilvak kan zijn ontstaan door diepe bodemdaling. Vervolgens zijn de peilvakken geselecteerd waar deze maximale verandering in grondwaterstand groter of gelijk is aan 20 mm (de conservatieve grenswaarde die wordt gehanteerd voor grondwaterstands daling). De andere peilvakken vallen daarmee af als potentiële gebieden waar via verandering in 'het polderpeil' door diepe bodemdaling schade-effecten mogelijk zijn. Figuur 4.6 toont de op deze wijze geselecteerde peilvakken (7) samen met de diepe bodemdaling. Er is bewust gekozen voor de peilvak situatie rond 1975 toen peilvakken groter waren dan in de huidige situatie zodat het potentiële effect niet wordt onderschat. In werkelijkheid zijn de peilvakken kleiner geworden gedurende de periode tot 2020 waarvoor de bodemdaling wordt getoond. Er is geen tijd gevonden om het effect daarvan binnen dit adviestraject te analyseren.



Figuur 4.6 Resultaat van stap 1 van de analyse: Peilvakken waarbinnen een verschildaling > 2 cm aanwezig is zijn aangegeven, samen met de minimale en maximale daling in het peilvak.

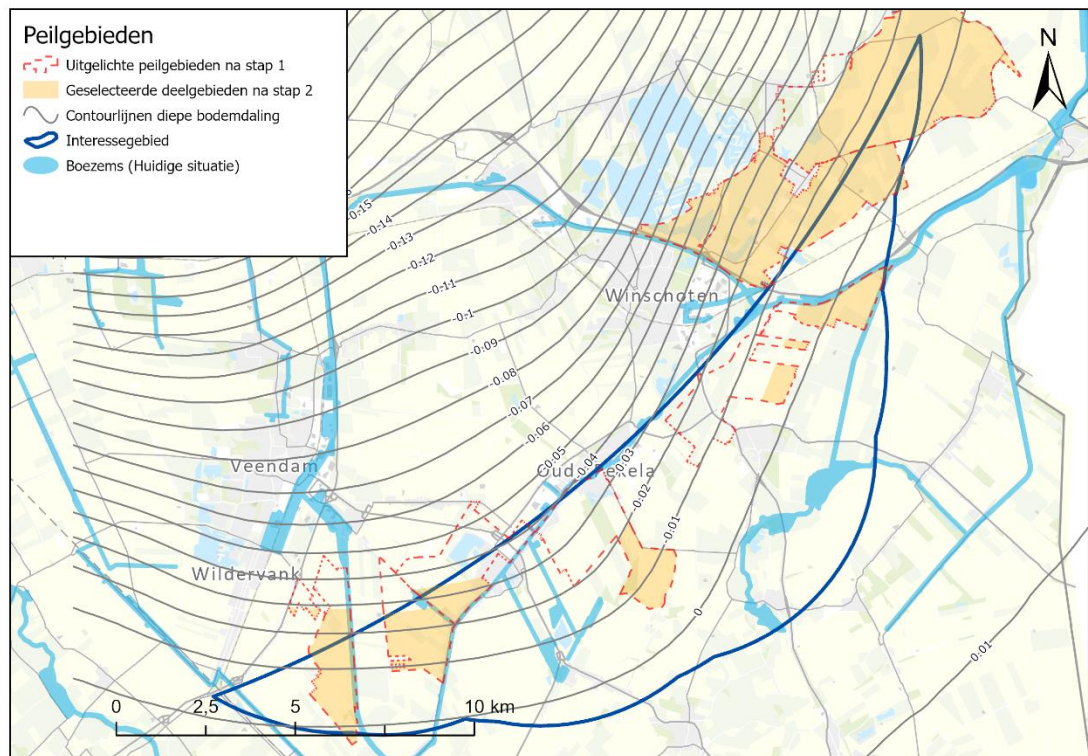
In stap twee is voor elk van de zeven geselecteerde peilvakken geanalyseerd (a) in welk deel van het peilvak de gehanteerde grenswaarde van 20 mm droogleggingstoename niet kan zijn bereikt en (b) in welk deel van het peilvak de gehanteerde grenswaarde van 50 mm droogleggingsafname niet kan zijn bereikt. De delen waar beide grenswaarden niet kunnen zijn bereikt vallen af als potentiële gebieden waar via scheefstelling van het peilvak door diepe bodemdaling schade-effecten mogelijk zijn. Deze delen zijn vervolgens 'weggesneden' uit de geselecteerde peilvakken.

De gehanteerde uitgangspunten voor deze analysestap zijn de volgende:

- Voor (a): het afwateringspunt (stuw of gemaal) van het peilvak bevindt zich op de locatie met de grootste bodemdaling. Deze keuze komt overeen met een situatie waarin de toename van drooglegging in het peilvak maximaal is.
- Voor (b): het afwateringspunt (stuw of gemaal) van het peilvak bevindt zich op de locatie met de minste bodemdaling. Deze keuze komt overeen met een situatie waarin de toename van drooglegging in het peilvak minimaal is.
- De verandering in drooglegging (relatieve peilverandering) door diepe bodemdaling is nul aan bij het afwateringspunt (maaiveld, stuw/gemaal en waterpeil ondervinden dezelfde hoeveelheid daling).
- Binnen het peilvak is de verandering in drooglegging gelijk de mate waarin de bodemdaling toe of afneemt in vergelijking met de bodemdaling bij het afwateringspunt.

Figuur 4.7 toont de gereduceerde geselecteerde gebieden na stap 2 van de analyse.

Met informatie over de daadwerkelijke locatie van de afwateringspunten van de voormalige peilvakken zou het oppervlak van de geselecteerde gebieden waar een effect mogelijk is verder kunnen worden gereduceerd. Volgens de waterschappen is deze informatie echter niet snel, betrouwbaar te leveren.

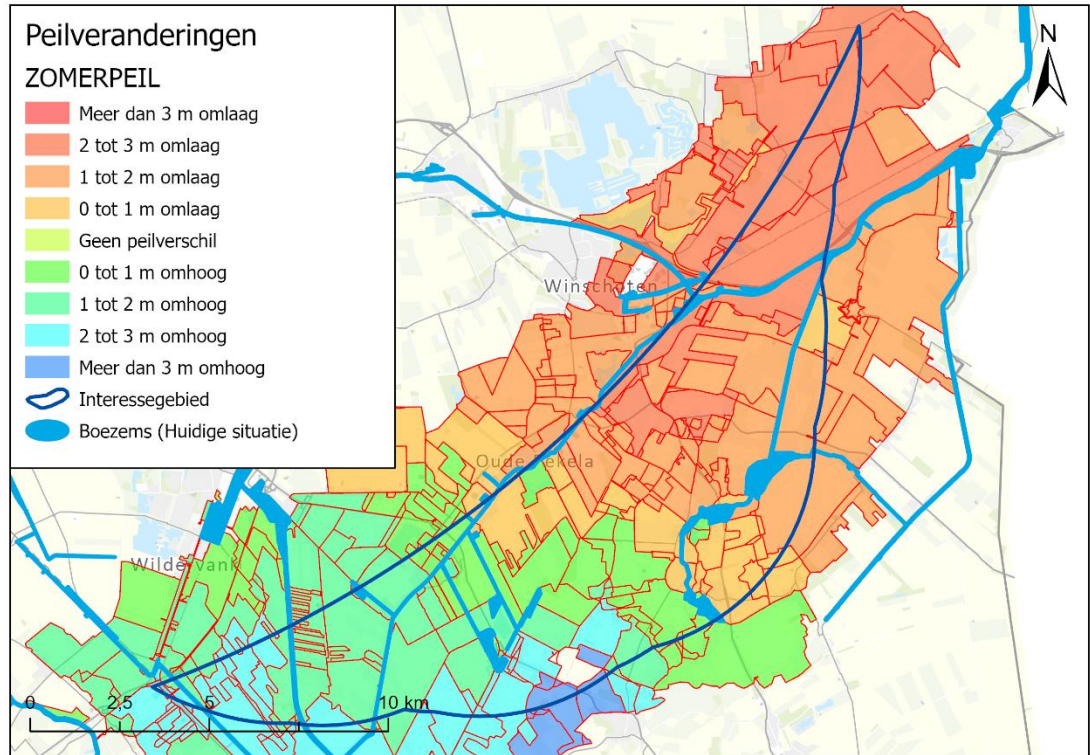


Figuur 4.7 Resterende deelgebieden na stap 2 van de analyse (oranje). Dit zijn deelgebieden waarbinnen indirecte effecten van diepe bodemdaling niet kunnen worden uitgesloten.

Voor één peilvak is de verandering in drooglegging door diepe bodemdaling potentieel groter dan 5 cm geweest wat (mede) aanleiding kan zijn geweest voor het waterschap om de betreffende peilvakken anders in de delen en te verkleinen (hoewel de daling ten tijde van de herindeling wel nog geringer was). Daarmee samenhangende peilwijzigingen groter dan die door de opgetreden diepe bodemdaling kunnen redelijkerwijs niet als indirect effect van diepe bodemdaling worden gekwalificeerd en hebben verder geen invloed op de grootte van de

geselecteerde gebiedsdelen waarbinnen effecten van diepe bodemdaling niet kunnen worden uitgesloten

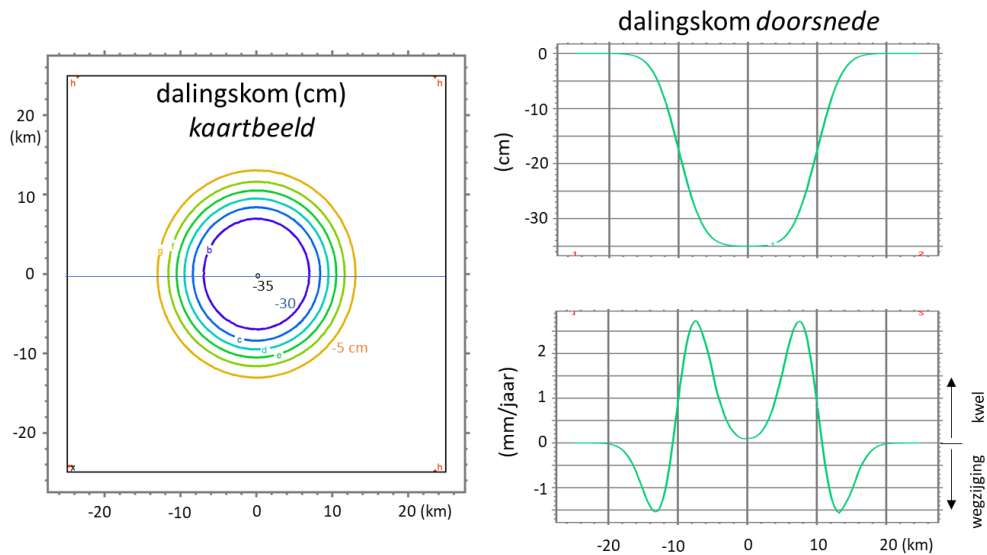
Vergelijking van de actuele en historische polderpeildata (Figuur 4.8) suggereert dat er peilveranderingen zijn doorgevoerd in de orde van enkele meters. Omdat dit geen realistische waarden zijn kan hier verder geen waarde aan worden toegekend.



Figuur 4.8 Peilveranderingen die zijn doorgevoerd tussen ca. 1975 en 2020. Te zien is dat de peilen in de peilvakken in het Noordelijk deel van het interessegebied veelal omlaag gegaan zijn, terwijl ze in het zuidelijk deel iets omhoog zijn gegaan. De grootte in de orde van enkele meters lijkt echter te wijzen op foutieve waarden in de onderliggende data.

4.3.3 Via verandering in regionale grondwaterstroming

Met modelberekeningen laten we zien dat de grondwaterstandsverandering door de regionale grondwaterstroming verwaarloosbaar is (Figuur 4.9). Berekeningen zijn gedaan voor een cirkelvormige kom in kaartbeeld. De kom heeft een doorsnede van ca. 40 km en een maximale diepte van 35 cm, grofweg gedimensioneerd op basis van de dalingskom van het Groningenveld. Het maximale verhang aan de zijden van ca. 5 cm over 1 km is bewust vrij hoog genomen om het regionale stromingseffect niet te onderschatten. Om dezelfde reden is de ondergrond een zeer hoge doorlaatbaarheid (KD-waarde) toegekend van 500 m²/dag en is verticale weerstand tegen grondwaterstroming is verwaarloosd. Rechtsonder in Figuur 4.9 wordt de berekende wegzijging aan de randen en kwel in de meer centrale delen van de kom getoond.



Figuur 4.9 Kwel en wegzijging (in mm/jaar) door de verandering in regionale grondwaterstroming (rechtsonder), berekend voor een hypothetische dalingskom (links en rechtsboven) voor een zeer goed doorlaatbare ondergrond.

De maximale wegzijging of kwel is in de orde van 1 a 2 mm/jaar (wegzijging is van toepassing voor het aandachtsgebied). Dit is minder dan 1% van het jaarlijkse neerslagoverschot dat door het drainagesysteem van sloten, drains en kanalen wordt verwerkt. Dat geeft aan dat de invloed op de grondwaterstand marginaal is. Wanneer er een heel jaar geen grondwateraanvulling zou zijn uit neerslag of oppervlaktewater zou een wegzijging van 1 mm/jaar minder dan 1 cm grondwaterstands daling veroorzaken. In grote delen van Drenthe en Groningen zijn slecht doorlatende kleilagen aanwezig (met name) waardoor de verticale weerstand tegen grondwaterstroming zeer hoog is. De kwel en wegzijgingswaarden zijn waarschijnlijk nog één a twee orden van grootte lager dan deze berekende waarden.

4.4 Deformatiegevoeligheid van de ondergrond in relatie tot grondwaterstandsverandering

In deze paragraaf wordt informatie gegeven over de deformatiegevoeligheid van de ondergrond in het aandachtsgebied voor de belangrijkste potentiële schademechanismen (paragraaf 2.5). De gebruikte bronbestanden zijn weergegeven in tabel 4-1.

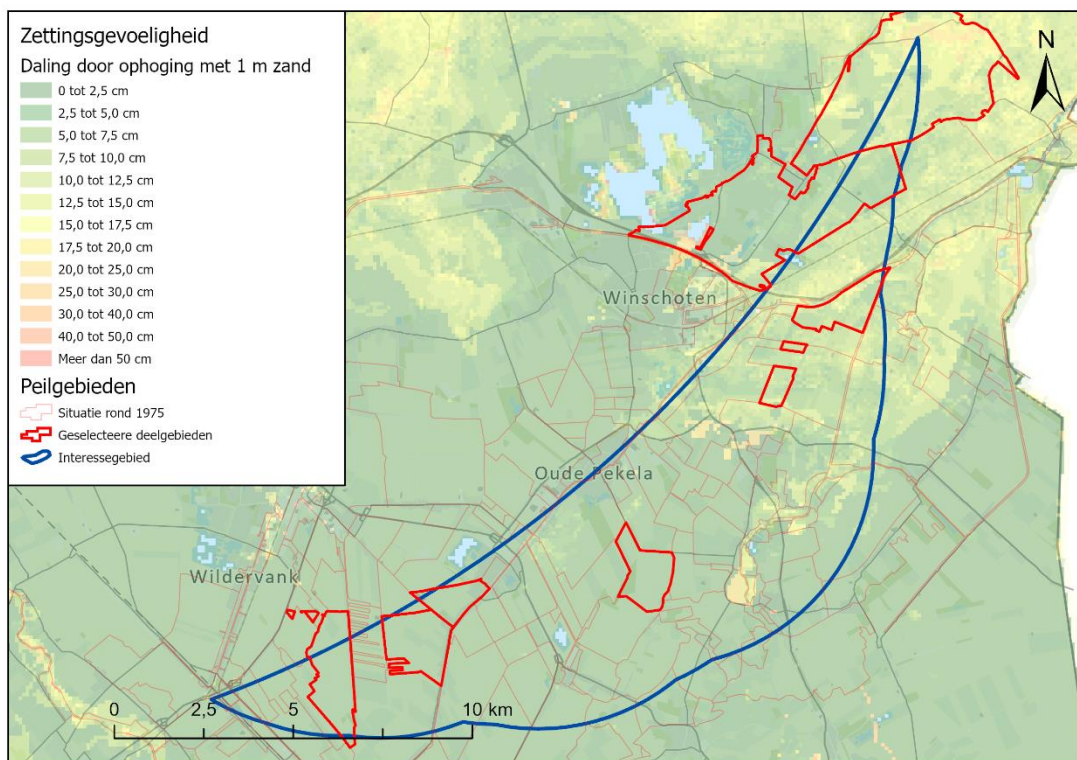
Tabel 4-1 Gebruikte bronbestanden voor deformatiegevoeligheid

deformatiegevoeligheid	Bron voor kartering
samendrukking-/zetting	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; bodemdalingsvoorspellingskaarten; bodemdaling na ophoging (N.B. de meest recente kaart is gebruikt en betreft een door Deltares/TNO/WEnR versie die wordt gepubliceerd in mei 2021).
Krimp-zwel	Deltares, ongepubliceerd
Oxidatie van veen	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; bodemdalingsvoorspellingskaarten; bodemdaling door oxidatie (N.B. de meest recente kaart is gebruikt en betreft een door Deltares/TNO/WEnR versie die wordt gepubliceerd in mei 2021).
Aantasting houten paalfunderingen	Klimaat-effectatlas ; kaartverhaal droogte; kwetsbaarheid voorspellingskaart houten palen; klimaatscenario Strong.

De gevoeligheidskaarten zijn gebaseerd op een model voor de meest-waarschijnlijke verwachting over de opbouw van de ondergrond (verticale verdeling van klei, veen, zand als functie van de diepte). Dat betekent dat de kaarten indicatief van aard zijn. De opbouw van de ondergrond kan lokaal afwijken van het ondergrondmodel. Voor individuele panden kan de deformatiegevoeligheid dan ook afwijken van wat de kaarten weergeven. Deze informatie geeft daarom een algemeen verwachtingsbeeld voor de verschillende schademechanismen, maar wordt verder niet gebruikt om de deelgebieden waar effecten niet kunnen worden uitgesloten verder te verkleinen.

4.4.1 Samendrukking-/zettingsgevoeligheid

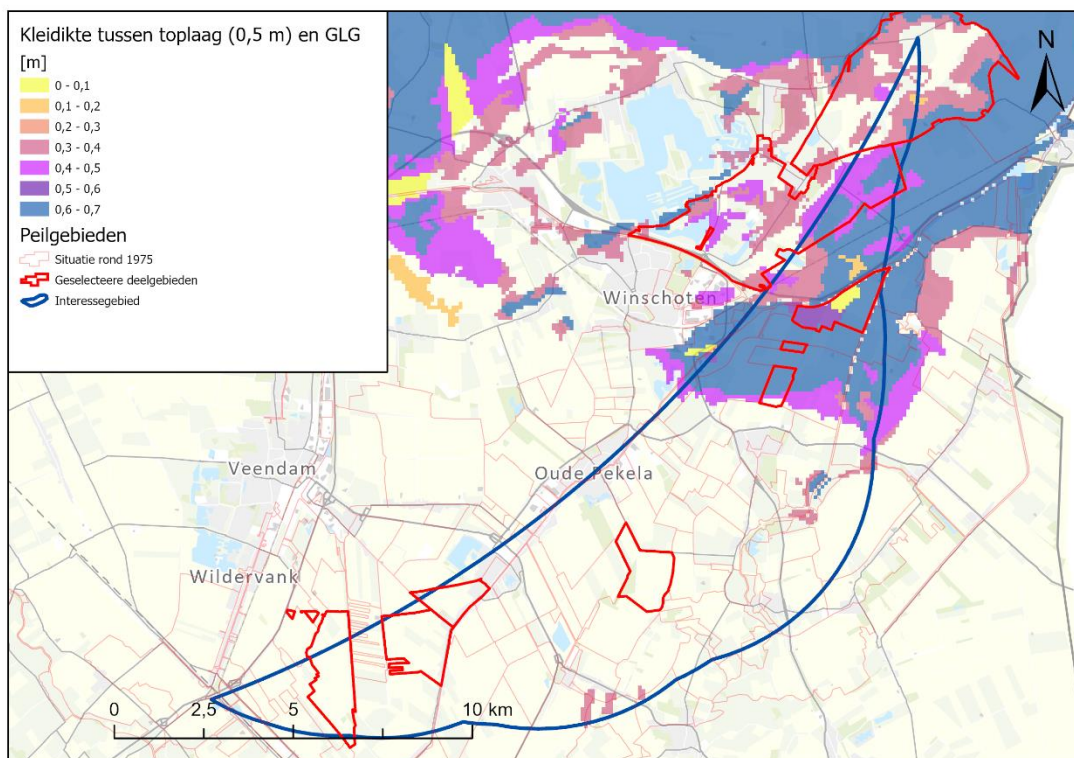
Figuur 4.10 laat zien dat de zettingsgevoeligheid laag is in het zuidwestelijk deel en wat hoger is in het noordoostelijk deel van het gebied (geel/oranje tinten). Ook vlak ten noorden van Wedde is de zettingsgevoeligheid vrij hoog in het dal van de Westerwoldse Aa. Dat is echter minder relevant omdat er geen significante relatieve grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling is geconstateerd. N.B. de belasting door een ophoging met 1 m zand komt grofweg overeen met een grondwaterstandsverlaging van 1,5 meter. De gevoeligheid voor (veel) kleinere veranderingen zal derhalve ook veel beperkter zijn; de kaart moet worden gezien als een indicator voor zettingsgevoelige gebieden.



Figuur 4.10 Zettingsgevoeligheid (door samendrukking) van de ondergrond. De gevoeligheid berust op de berekende zetting na 30 jaar voor een ophoging van 1 m zand. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

4.4.2 Krimp-zwelgevoeligheid

Figuur 4.11 heeft aan dat er alleen in het noordoostelijke deel van het gebied klei aanwezig is tussen 0,5 m beneden maaiveld – dit is grofweg de diepte van funderingen op staal - en de gemiddeld diepste grondwaterstand (GLG). Deze locaties zijn dus potentieel gevoelig voor krimp-zwel vervormingen van de ondergrond onder funderingen. De gevoeligheid neemt toe met toenemende kleidikte. De gevoeligheid voor extra krimp-zwel deformatie door een relatieve grondwaterstandsverlaging neemt ook toe met toenemende kleidikte.

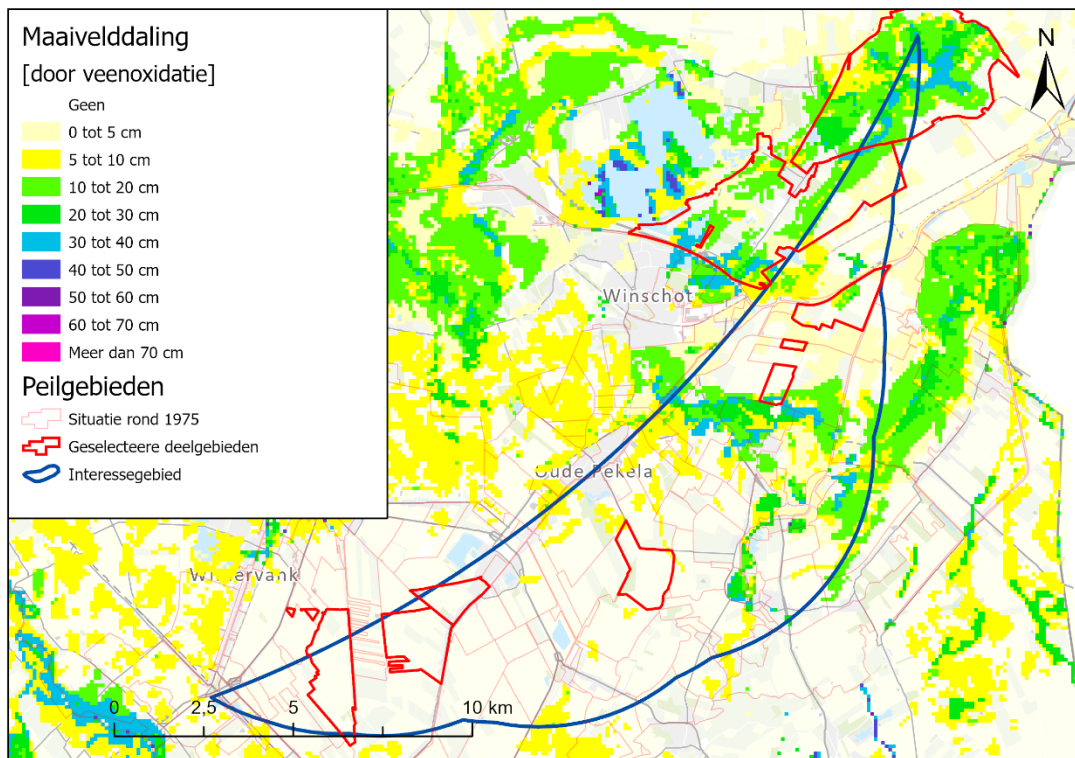


Figuur 4.11 Krimp-zwelvegevoeligheidskaart. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

4.4.3 Oxidatiegevoeligheid

Voor oxidatiegevoeligheid is een bodemdalingsvoorspellingskaart door veenoxidatie uit de nationale klimaateffectatlas opgenomen (Figuur 4.12). Het betreft een prognose voor de periode 2020-2050 zonder effecten van diepe bodemdaling. Hogere waarden voor de maaiveldvaling geven aan dat er op dit moment, maar ook naar de toekomst toe bij grondwaterstandsverlaging, meer veen aanwezig is dat aan oxidatie blootgesteld kan worden. De kaart geeft dus ook aan waar grondwaterstandsverlaging door diepe bodemdaling voor extra daling kan hebben gezorgd en een extra risico kan hebben opgeleverd voor funderingen van panden.

In het zuidwestelijk deel van het gebied is de oxidatiegevoeligheid heel gering tot afwezig. Rond Nieuwe Pekela en Oude Pekela is de oxidatiegevoeligheid gering, maar niet noodzakelijk verwaarloosbaar (slechts een geringe veendikte in het oxidatiebereik kan schadelijk zijn). Een relatief grote gevoeligheid is aanwezig in het peilvak tussen Oude Pekela en Blijham en in het peilvak in het noordelijk deel van het gebied ten oosten van Beerta.

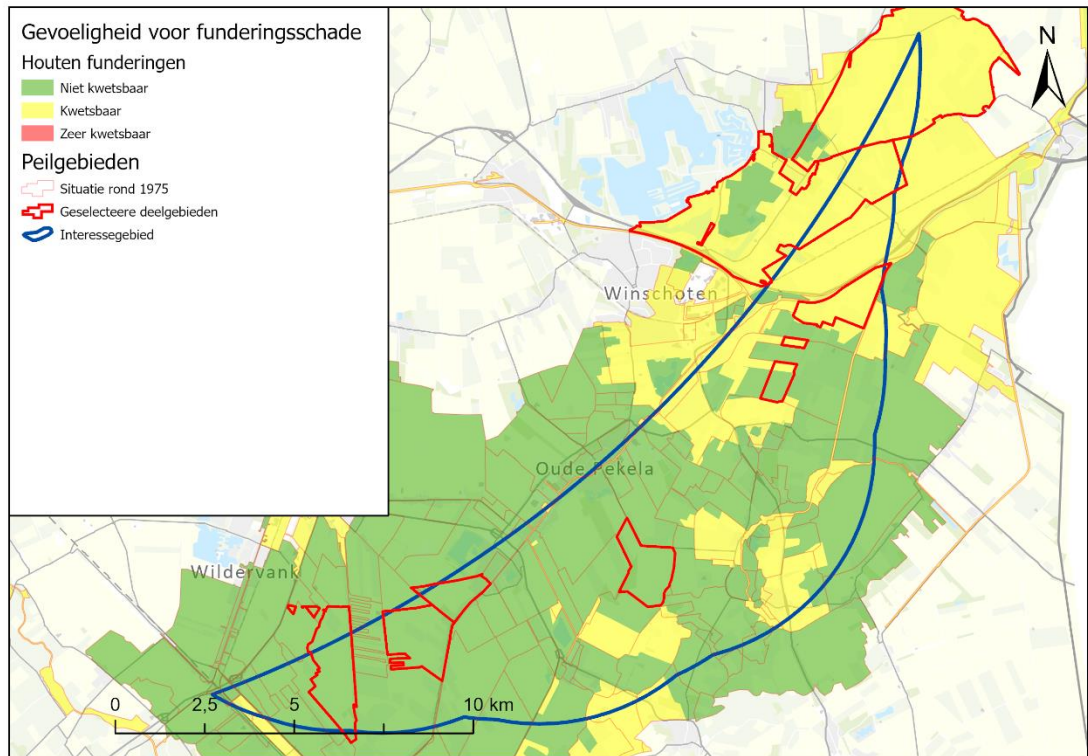


Figuur 4.12 Oxidatiegevoeligheidskaart. Hogere waarden geven een hogere gevoeligheid aan. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

4.4.4 Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen

Voor houten paalfunderingen is de kwetsbaarheid uit de nationale klimaateffectatlas opgenomen (Figuur 4.13). Het betreft een prognose voor de periode 2020-2050 zonder effecten van diepe bodemdaling, inclusief sterke klimaateffecten. Hogere waarden voor de kwetsbaarheid geven aan dat er op dit moment, maar ook naar de toekomst toe bij grondwaterstandsverlaging, kans is op blootstelling van houten paalfunderingen, mits die zich in het gebied bevinden. De kaart geeft dus aan waar grondwaterstandsverlaging door diepe bodemdaling voor extra aantasting kan hebben gezorgd en een extra risico kan hebben opgeleverd voor houten funderingen van panden.

De kaart geeft aan dat alleen de noordelijkste drie peilvakken mogelijk kwetsbaar zijn voor aantasting van houten paalfunderingen. Of houten paalfunderingen aanwezig zijn in deze delen is niet onderzocht.

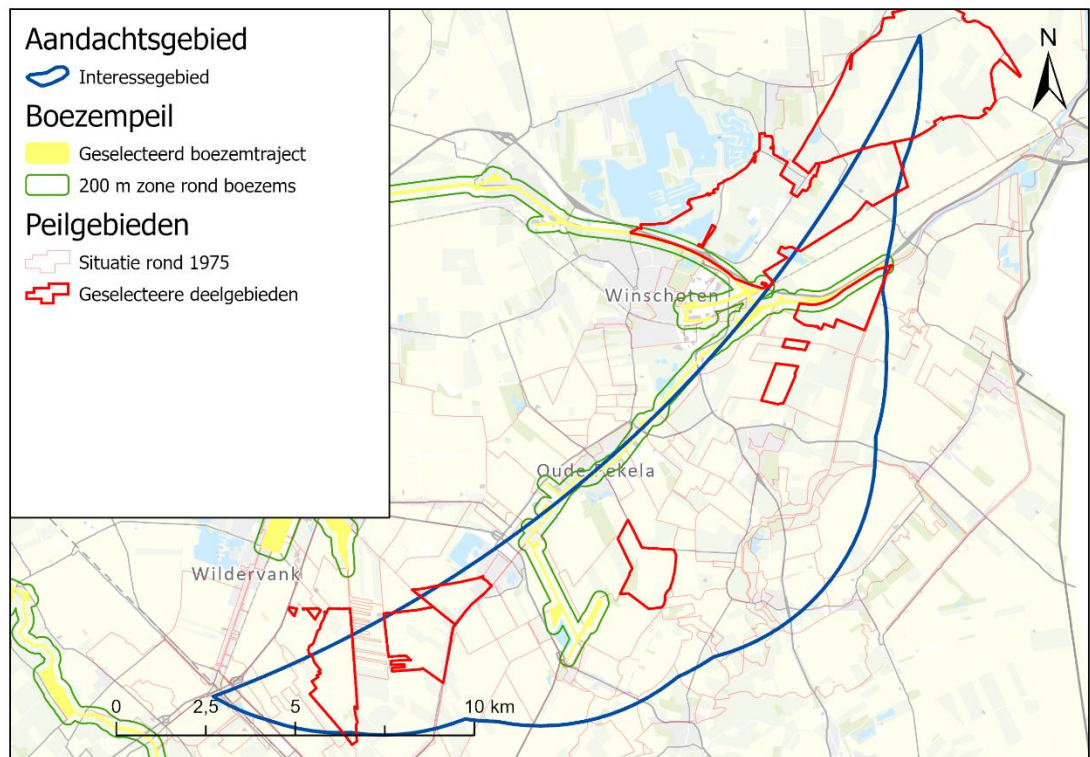


Figuur 4.13 Gevoeligheid aantasting houten paalfunderingen. De deelgebieden waar volgens de analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten zijn aangegeven met een dikke rode lijn.

4.5 Conclusies met betrekking tot indirecte schaderisico's door diepe bodemdaling

1. De opgestelde veilige eis voor grondwaterstandsverlaging van maximaal 2 cm (voor oxidatie, krimp-zwel, aantasting houten paalfunderingen) wordt volgens de analyse in diverse deelgebieden via de invloed op de polderpeilen mogelijk in verschillende mate overschreden. Deze deelgebieden zijn rood omkaderd weergegeven in Figuur 4.14.
2. De veilige eis van maximaal 5 cm grondwaterstandsverlaging voor samendrukking wordt alleen in het peilvak tussen Beerta en Winschoten potentieel overschreden. Dit peilvak is echter weinig zettingsgevoelig in het aandachtsgebied volgens de gebruikte informatiebron.
3. De deelgebieden in de drie meest westelijke peilvakken in Figuur 4.14 zijn volgens de gebruikte bronnen ongevoelig voor alle vier de beschouwde deformatieprocessen die tot schade kunnen leiden.
4. Binnen de deelgebieden van andere vier peilvakken komen zones voor waar de ondergrond in meer of mindere mate gevoelig is voor oxidatie en voor krimp-zwel. Gevoeligheid voor houten paalfunderingen is matig in de noordelijkste drie peilvakken.
5. Beide opgestelde veilige eisen voor grondwaterstandsverlaging van maximaal 2 cm en 5 cm worden potentieel overschreden bij de met geel aangegeven boezemtrajecten in Figuur 4.14. Er kan worden uitgegaan van een effectieve relatieve peilverlaging bij de boezem van 9 cm. Rond de boezemtrajecten is een nominaal invloedsgebied aangegeven van 200 m aan beide zijden (toelichting in paragraaf 4.3.2). Waar het invloedsgebied van het boezemtraject overlapt met aangegeven peilvakdelen bestaat de kans dat naast de grondwaterstandsverlaging door de boezempeilverlaging een extra grondwaterstandsverlaging van 2 cm of meer is opgetreden door het effect op het betreffende peilvak.

6. Voor de aangegeven boezemtrajecten kunnen eventuele werkzaamheden aan oeverbescherming, kades of waterbodemp die in samenhang met de boezempeilverlaging zijn uitgevoerd potentieel extra schaderisico hebben opgeleverd in het aangegeven invloedsgebied. Dit is binnen de huidige studie niet geverifieerd.
7. Binnen het aangegeven invloedsgebied rond de boezemtrajecten varieert de gevoeligheid voor de verschillende schademechanismen sterk. De grootste gevoeligheid voor meerdere mechanismen is aanwezig bij het meest noordelijke traject ten oosten van Winschoten.
8. De bijdrage van verandering in de regionale grondwaterstroming aan relatieve grondwaterstandsverandering in het gebied is verwaarloosbaar/nihil.
9. De veilige grens van maximaal 5 cm grondwaterstandsstijging wordt nergens in het aandachtsgebied overschreden.



Figuur 4.14 Deelgebieden van peilvakken (rood omkaderd), en boezemtrajecten (gele trajecten) waar volgens de analyse indirecte effecten van diepe bodemdaling niet kunnen worden uitgesloten. Rond de boezemtrajecten is een nominaal invloedsgebied van 200 m aangegeven.

5 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde analyse wordt het volgende geconcludeerd over indirecte effecten van diepe bodemdaling boven en in de nabijheid van het Groningenveld en gasopslag Norg:

Aandachtsgebied bij gasopslag Norg:

1. Met uitzondering van twee deelgebieden kunnen indirecte schade-effecten van de diepe bodemdaling in het gebied worden uitgesloten (Figuur 3.16).
2. Binnen de twee deelgebieden waar schade-effecten niet kunnen worden uitgesloten zou schade kunnen zijn ontstaan door het verhang in diepe bodemdaling (scheefstelling) tijdens de gasproductie fase in de periode 1983-1995. Dit verhang kan hebben gezorgd voor een relatieve grondwaterstands daling (toename drooglegging) die de a priori opgestelde grenswaarde van 2 cm grondwaterstands daling voor schade door veenoxidatie, krimp-zwel van klei en/of aantasting van houten paalfunderingen licht overschrijdt (< 3 cm relatieve grondwaterstands daling). Binnen de deelgebieden komen zones voor waarin de bodem mogelijk gevoelig is voor een of meer van deze processen. Het is niet waarschijnlijk dat houten paalfunderingen in de deelgebieden voorkomen bij een substantieel aantal panden.
3. De a priori opgestelde grenswaarde van grondwaterstands daling van 5 cm voor het kunnen ontstaan van schade door samendrukking/consolidatie wordt nergens in het gebied overschreden.

Aandachtsgebied bij gasveld Groningen:

4. De deelgebieden waarbinnen indirecte effecten van diepe bodemdaling niet kunnen worden uitgesloten zijn aangegeven in Figuur 4.14. Het betreft delen van zeven voormalige peilvakken die aanwezig waren in de jaren '70 en een 200 m zone langs boezemtrajecten van de Pekel Aa. In andere delen van het gebied kunnen indirecte schade-effecten van de diepe bodemdaling worden uitgesloten.
5. In de delen van voormalige peilvakken zou schade kunnen zijn ontstaan door het verhang in diepe bodemdaling (scheefstelling). Dit verhang kan in de peilvakken hebben gezorgd voor een relatieve grondwaterstands daling (toename drooglegging) die de a priori opgestelde grenswaarde van 2 cm grondwaterstands daling voor schade door veenoxidatie, krimp-zwel van klei en/of aantasting van houten paalfunderingen overschrijdt. Binnen deze gebiedsdelen komen zones voor waarin de bodem in meer of mindere mate gevoelig is voor een of meer van deze processen. In het voormalige peilvak tussen Beerta en Winschoten kan ook de opgestelde grenswaarde van 5 cm grondwaterstands daling voor schade door samendrukking/zetting potentieel zijn overschreden. De ondergrond in dit peilvak lijkt echter weinig zettingsgevoelig.

In de aangegeven zone langs de boezemtrajecten zou schade kunnen zijn ontstaan door een actieve boezempeilverlaging die is doorgevoerd in de periode 2001-2008. Deze verlaging kan hebben gezorgd voor een relatieve grondwaterstands­daling die de a priori opgestelde grenswaarde van 2 cm grondwaterstands­daling voor schade door veenoxidatie, krimp-zwel van klei en/of aantasting van houten paalfunderingen overschrijdt. Dicht bij de boezem kan ook de opgestelde grenswaarde van 5 cm grondwaterstands­daling voor schade door samendrukking/zetting potentieel zijn overschreden.

Wat betekenen deze resultaten?

6. Voor de gebieden waar op basis van de uitgevoerde analyse een indirect effect van diepe bodemdaling niet kan worden uitgesloten staat vanzelfsprekend niet vast dat er daadwerkelijk sprake is van schade-effecten. De kans daarop is alsnog klein en sterk afhankelijk van lokale factoren, waaronder de mate waarin de veilige grenswaarden voor grondwaterstands­verlaging kunnen zijn overschreden.
7. Een indirect schade-effect van diepe bodemdaling bewijzen is onmogelijk; verder uitsluiten is wel mogelijk. De volgende informatie en typen onderzoek kunnen daarbij worden gebruikt:
 - Informatie over het waterafvoerpunt van historische peilvakken (gemaal/stuw) kan worden gebruikt om nauwkeurigere schattingen te maken van de verandering in de drooglegging, en daarmee van de grondwaterstands­verandering binnen het peilvak. Daarmee kunnen de aangewezen deelgebieden waar een indirect effect niet kan worden uitgesloten naar verwachting verder worden verkleind.
 - Een studie van het grondwatersysteem rond de boezemtrajecten van de Pekel Aa kan worden gebruikt om het effect van de boezempeilverlaging op grondwaterstanden nauwkeuriger te bepalen. Zowel het invloedsgebied als de grootte van de verlaging zijn nu overschat.
 - Op pandniveau kan met behulp van boringen informatie worden verkregen over de bodemopbouw, geotechnische eigenschappen, en over de laagste grondwaterstand. Samen met informatie over het type fundering en een bovengrens voor de grondwaterstands­verandering die kan zijn veroorzaakt door diepe bodemdaling kan deze informatie worden gebruikt om te beoordelen of een schade-effect van de grondwaterstands­verandering mogelijk is. Over de werkwijze die een deskundige zou moeten volgen bij dit pandonderzoek wordt het IMG nog door Deltares gerapporteerd in een apart document.

6 Overzicht van toegepaste veiligheidsmarges in de uitgangspunten

In de adviesopdracht van IMG is gevraagd om voldoende ruime veiligheidsmarges in de uitgangspunten te kiezen zodat wordt voorkomen dat de indirecte invloed van bodemdaling- of stijging in een individueel geval (bijvoorbeeld een extra gevoelig gebouw of gevoelige materialen) wordt onderschat. In dit hoofdstuk worden deze specifieke uitgangspunten op een rij gezet.

De uitgevoerde analyse bestond uit het aanwijzen van (deel)gebieden binnen de twee aandachtsgebieden waar een indirect effect van diepe bodemdaling kan worden uitgesloten. De gevraagde veiligheid moet in dat geval voorkomen dat 'onterecht' gebieden worden uitgesloten waar 'gevoelige gebouwen' indirecte effecten van diepe bodemdaling kunnen hebben ondervonden. De specifieke veilige uitgangspunten zijn de volgende:

- Zeer lage grenswaarden voor schadebepalende grondwaterstandsverandering voor de verschillende schademechanismen. Voor samendrukking/zetting en verlaging van draagkracht zijn de laagste waarden gebruikt die zijn aangetroffen in literatuur (5 cm is vergelijkbaar met het aanbrengen van een terras met dunne tegels). Voor veenoxidatie, aantasting van houten paalfunderingen en krimp-zwel is daar nog eens minder dan de helft van genomen (2 cm). Dit is buiten het bereik van wat in de praktijk meetbaar is. Bovendien moet de diepste grondwaterstand al bijzonder ongunstig zijn ten opzichte van gevoelige bodemlagen of de kop van houten funderingselementen om tot schade te leiden die niet zou zijn ontstaan zonder deze geringe verlaging.

Er is géén poging gedaan om de mogelijke bijdrage van grondwaterstandsverandering door diepe bodemdaling te relativeren door deze in verhouding te plaatsen tot andere oorzaken van grondwaterstandsverandering. Andere oorzaken van grondwaterstandsverandering, zoals verandering in het klimaat (droogte), grondwateronttrekkingen en aanpassingen in het waterbeheer (o.a. ruilverkaveling/herinrichting) en leidingen zijn over het algemeen vele malen groter dan de veranderingen die indirect door diepe bodemdaling kunnen zijn veroorzaakt.

- Een één-op-één relatie tussen een verandering in drooglegging in 'peilvakken' en grondwaterstandsverandering. Dat wil zeggen dat een waterpeilverlaging ten opzichte van het maaiveld resulteert in een even grote verlaging van de laagste grondwaterstand, en dat een waterpeilverhoging ten opzichte van het maaiveld resulteert in een even grote verhoging van de hoogste grondwaterstand. In werkelijkheid kan de grondwaterstandsverandering in verschillende mate geringer zijn dan de relatieve peilverandering in de watergangen.
- Maximering van de verandering in drooglegging door diepe bodemdaling in 'peilvakken' door: (a) gebruik van historische peilvakken voor de volledige periode van diepe bodemdaling zonder rekening te houden met het feit dat de peilvakken in de loop van de tijd vaak verkleind zijn; (b) waar dit onbekend is, te kiezen voor een afwateringspunt van het peilvak op de locatie waar de diepe bodemdaling het grootst is (voor bepaling van de mogelijke toename van drooglegging) of de locatie waar de diepe bodemdaling het kleinst is (voor bepaling van de afname van de mogelijke drooglegging).

- Een één-op-één relatie tussen een relatieve verandering in het waterpeil van een boezem (ten opzichte van de bodem) en de grondwaterstandsverandering bij de oevers van de boezem. In de praktijk is deze grondwaterstandsverandering vaak aanzienlijk geringer. Aan de andere kant kunnen aanvullende renovaties van de boezem, zoals baggerwerkzaamheden, het (tijdelijk) verwijderen of vervangen van damwanden, grote grondwaterstandsveranderingen veroorzaken.
- Gebruik van de actieve peilverlaging die is doorgevoerd in de boezemtrajecten van de Pekel Aa als maat voor de relatieve peilverandering van de boezem. De totale relatieve peilverandering sinds het begin van de diepe bodemdaling is minder omdat er een autonome relatieve peilstijging van de boezem vooraf ging aan de actieve peilverlaging. Deze relatieve peilstijging is niet verrekend.
- Een ruime zone naast de boezem waarover de grondwaterstandsverandering bij de oever afneemt tot de laagste schadebepalende grondwaterstandsverandering (alleen van relevant waar de relatieve peilverandering van de boezem de laagste grenswaarde overschrijdt).

7 Referenties

- [1] TNO/TUD, 2021. Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging. TNO-rapport 2021 R10325.
- [2] TNO, 2003. Schade aan gebouwen nabij Grou. TNO-rapport: NITG 03-062-B
- [3] KWR, 2014. Hydrologisch meetnet Electraboezem 2^e schil, effecten van boezempeilverlaging en bodemdaling. KWR 2014.039
- [4] Deltares, 2012. Raaien onderzoek Electraboezem 2^e schil. Deltares rapportnr. 120337
- [5] Deltares, 2007. Onderzoek effecten peilverlaging Oude Pekela. Geodelft, rapportnr. 414942-0012.
- [6] TUD, 2018. Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen; methodologie en case studies ter duiding van de oorzaken. Rapport nummer: CM-2018-01.
- [7] TNO/TUD, 2021. Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging. TNO-rapport 2021 R10325.
- [8] Bijnagte, J.L., Van Tol, A.F., 2005. Gebouwschade tgv. peilverhoging / Geocheck rap. 2000-005/B GW Rotterdam + woning Onderdendam. GeoDelft rapport CO-414940-009v02.
- [9] Bijnagte, J.L., Van Tol, A.F., Elprama, R., april 2006. Het effect van grondwaterstijging op funderingen op staal. Geotechniek.
- [10] Fityus, S.G., Smith, D.W., Allman, M.A., 2004. Expansive soil test site near Newcastle. Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering,, 130, 686-695.
- [11] Yoshida, R.T., Fredlund, D.G., Hamilton, J.J., 1983. Prediction of total heave of a slab-on-grade floor on Regina clay. Canadian Geotechnical Journal, 20.
- [12] Deltares, 2011. Gebouwschade Loppersum. Deltares rapportnr. 1202097
- [13] Jones, L.D., Jefferson, I., 2012. Expansive soils. in: ICE manual of geotechnical engineering, volume 1, geotechnical engineering principles, problematic soils and site investigation. Chapter 5.
- [14] De Lange, G., Havinga, H., van Meerten, H., de Putter, P., Handgraaf, S., Augustinus, L. 2019. Literatuuronderzoek naar relatie tussenpeilverlaging en gebouwschade; technisch en juridisch onderzoek. Deltares rapport; projectnr. 11203367.
- [15] Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning, 1987. Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingsen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen / deelstudie 1 – mogelijkheid van breukbeweging door gasproductie uit het Groningen Velden / deelstudie 2 – mogelijkheid van schade aan de bebouwing door wijzigingen in het peil van polder en boezemwater.

[16] Bijnagte, J.L., Luger, H.J. 2011. Het bepalen van schadekansen ten gevolge van meerdere zettingsbijdragen. Geotechniek.

[17] ACSG, 2019. Het invloedsgebied van grondwateronttrekkingen voor droogteschade. [Het-invloedsgebied-van-grondwateronttrekkingen-voor-droogteschade.pdf \(bij12.nl\)](#)

[18] TNO, 2019. Effecten diepe bodemdaling en -stijging rondom de gasopslag Norg en het Groningenveld. TNO 2020 R12068

[19] Bon, J, Vrijhof, B. 1958. De landbouw- waterhuishouding in de Provincie Groningen. Rapportnr. 2 Commissie onderzoek landbouwwaterhuishouding Nederland – TNO.

[20] Deltares, 2020. Gebiedsbreed schade onderzoek aan panden Almelo de Haandrik kanaal. Deltares rapport nr. 11203512.

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