

Literatuuroverzicht effecten bodemdaling op gebouwen

Commissie Bodemdaling 09-04-2021

Literatuuroverzicht

In het verleden zijn reeds verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van gas- en zoutwinning op bebouwing. Hierbij is specifiek gekeken naar de effecten van bodemdaling, peilverhoging en -verlaging als gevolg van bodemdaling en aardbevingen op bebouwing.

In dit literatuuroverzicht zijn samenvattingen opgenomen van de onderzoeken in verschillende gebieden. Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de originele samenvatting en conclusies van het rapport. In een aantal gevallen is gebruik gemaakt van de publieksvriendelijke samenvatting.

Onderzoeken en studies

In dit literatuuroverzicht zijn samenvattingen opgenomen van de volgende onderzoeken:

1. Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkings in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen, Diversen, maart 1987;
2. Vervorming van de bovengrond door Nedmag zoutwinning en schade aan de bebouwing, GeoDelft, juli 2001
3. Bodemvervorming door diepe zoutwinning en effecten op gebouwen in de Barradeel concessie van FRISIA Zout definitief, Geodelft, november 2001
4. Second Opinion Ontginningsplan NEDMAG 2001, prof. dr. ir. A. Verruijt, december 2001
5. Oorzaak schade aan gebouwen nabij Grou, TNO-NITG, 31 maart 2003;
6. Bodemdaling Groningen, Effecten peilverhoging op fundering op staal, Relatie afname draagvermogen en zakking fundering, Gemeentewerken Rotterdam, januari 2004
7. Gebouwschade t.g.v. peilverhoging, Geoscheck rap. 2000-005/B GW Rotterdam + woning, Geodelft, januari 2005.
8. Onderzoek effecten peilverlaging Oude Pekela, Geodelft, Oktober 2007
9. Transparantie effecten Zoutwinning Fryslan, Alterra, Oktober 2007
10. Gebouwschade Loppersum; Deltares en TNO-bouw, 2011
11. Raaien onderzoek Electraboezem 2^e schil, Deltares, november 2011
12. Stabiliteit peilmerken, Commissie Bodemdaling, 26 juni 2018
13. Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen, TU Delft faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, 11 juli 2018
14. Literatuuronderzoek naar relatie tussen peilverlaging en gebouwschade Technisch en juridisch onderzoek, Deltares, Sterk Consulting, Colibri Advies, augustus 2019
15. Bodemdaling door gaswinning veroorzaakt geen schade (Bodembreed 2020 nr. 3 p. 26 e.v.), Maarten Huijgen, Gijs Remmelts en Joost Roholl allen TNO, juni 2020
16. Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en stijging, TNO en TU Delft, 19 februari 2021

Mogelijke schadeorzaken

Uit de verschillende onderzoeken komt naar voren dat bodemdaling theoretisch op 4 verschillende manieren tot schade aan gebouwen kan leiden. In onderstaande tabel is aangegeven welke schadeorzaken in de onderzoeken zijn onderzocht.

Tabel 1: Overzicht onderzochte schadeorzaken

Nummer onderzoek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gebouwschade direct door bodemdaling	x	x	x	x	x			x	x	x		x	x		x	x*
Gebouwschade door peilverlaging	x			x	x			x	x	x	x		x	x		
Gebouwschade door peilverhoging	x			x		x	x			x						
Gebouwschade door bodemtrilling		x	x	x	x					x			x			

Toelichting x : Studie heeft ook betrekking op effecten van wisselende bodemdaling en - stijging door gasopslag*

Algemene conclusies ten aanzien van de schadeorzaken

- In geen van de onderzoeken komt naar voren dat **gebouwschade direct door bodemdaling** ontstaat. De scheefstelling, kromming en horizontale rek die ontstaan in gebouwen als direct gevolg van bodemdaling blijven ruim binnen de daarvoor geldende schadecriteria. De algemene conclusie is dat op de schaal van een woning de zetting gelijkmatig is en er direct door bodemdaling geen schade te verwachten is.
- Om ongewenste gevolgen van bodemdaling te voorkomen worden maatregelen getroffen om het waterpeil te verlagen. Door een **peilverlaging** kan mogelijk schade door ongelijkmatige zettingen ontstaan aan op staal gefundeerde gebouwen. Voor het optreden van schade is de zogenaamde relatieve peilverlaging van belang. Van een relatieve peilverlaging is sprake als het waterpeil verder is verlaagd dan de opgetreden bodemdaling. Als gevolg van de relatieve peilverlaging kan samendrukking ontstaan van slecht draagkrachtige bodemlagen. De maximaal toelaatbare relatieve peilverlaging is afhankelijk van de bodemopbouw. Op basis van onderzoek 2, 6 en 7 lijkt het redelijk om uit te gaan van volgende maximaal toelaatbare relatieve peilverlagingen:
 - voornamelijk zandige ondergrond: 32 cm
 - voornamelijk klei-achtige ondergrond: 20 cm
 - voornamelijk veenachtige ondergrond: 13 cm

Een grondwaterstandsverlaging kan ook leiden tot krimp en rijping van kleigronden. Deze verschijnselen treden op boven de grondwaterspiegel door het uitdrogen van de bodem. Bij veen kan tevens oxidatie ontstaan doordat zuurstof in de bodem kan toetreden. Door krimp, rijping en oxidatie kunnen op staal gefundeerde gebouwen grote schade oplopen.
- Als het waterpeil minder wordt verlaagd dan de opgetreden bodemdaling is er sprake van een relatieve **peilverhoging**. Door een relatieve peilstijging kan reductie van de draagkracht van een staalfundering optreden en daardoor een toename van de zettingen plaatsvinden. Alleen in zeer bijzondere gevallen zal dit tot schade leiden; het betreft dan: funderingen die vrijwel tot de uiterste draagkracht zijn belast, waarbij de grondwaterstand juist onder, op of boven het funderingsniveau staat. Hierbij moet worden bedacht dat een fundering die vrijwel tot de draagkracht is belast daardoor al relatief grote vervormingen heeft ondergaan.
- Door mijnbouwactiviteiten, zoals de winning van gas, kunnen verschuivingen langs breukvlakken optreden hetgeen resulteert in **aardbevingen**. Hierdoor kan lichte tot matige schade aan gebouwen ontstaan. Het is heel ongebruikelijk dat zich voelbare aardbevingen voordoen bij oploszoutwinning. De reden is waarschijnlijk dat het zout, waar de cavernes door omringd zijn, zodanig plastisch is dat er geen schokken optreden bij de vervorming. Ook vindt oploszoutwinning niet vaak plaats nabij grotere breuken. Bij gas- en oliewinning is dat wel vaak het geval omdat olie en gas zich juist ophoopt in de buurt van breuken.

Volgnummer: 1	
Onderzoek: : Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen	
Onderzoekers: <i>Deelstudie I</i> is uitgevoerd door Koninklijke Shell Exploratie en Productie Laboratorium te Rijswijk en geautoriseerd door het Staatstoezicht op de Mijnen. <i>Deelstudie II</i> is uitgevoerd door Ingenieursbureau Grondmechanica te Delft, het Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies te Rijswijk en Ingenieursbureau Tauw BV te Deventer.	
Nummer :	Datum: maart 1987
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

In opdracht van de Commissie Bodemdaling door gaswinning zijn 2 deelstudies uitgevoerd naar ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen.

Als gevolg van de aardgaswinning zijn twee oorzaken denkbaar, die tot ongelijkmatige zakkingen en daardoor tot schade aan de bebouwing kunnen leiden. Ten eerste zouden bestaande of nieuwe breuken in het diepliggende gasvoerende gesteente zich tot aan de oppervlakte kunnen doorzetten en daar een onregelmatige zakking veroorzaken (deelstudie I). Een tweede mogelijkheid is dat de bovenste grondlagen, waarop de bebouwing rust, zodanige zettingen zullen ondergaan door wijzigingen in het peil van polder- en boezemwater, dat onder bepaalde omstandigheden scheurvorming in de bebouwing kan optreden (deelstudie II).

Deelstudie I

In *deelstudie I* is uitgegaan van de geologische opbouw van het pakket van gesteentelagen vanaf het gasreservoir tot aan de oppervlakte en daarbij is speciaal gelet op het patroon van breukvlakken en andere onregelmatigheden in het lagenpakket. Op deze wijze is uit een oogpunt van breukvorming in het Groningen gasveld de meest ongunstige combinatie van geologische omstandigheden gedefinieerd. Dat wil dus zeggen, dat onder die omstandigheden breuken zich het verst naar boven zouden voortplanten bij compactie van de gasvoerende lagen.

Verschillende rekenmodellen zijn ontworpen, gebaseerd op de genoemde ongunstige situatie. Met behulp van een computer is daarna een groot aantal berekeningen uitgevoerd uitgaande van verschillende uitgangsposities. Na onderzoek van de resultaten bleek, dat pas bij een compactie van meer dan 10 meter van het reservoirgesteente, breukvlakken zich tot aan de aardoppervlakte zouden voortplanten. De vermelde resultaten zijn geverifieerd door de Rijks Geologische Dienst en het Staatstoezicht op de Mijnen. In het kader van deze verificatie is het model nog eens doorgerekend met zeer ongunstige randvoorwaarden. Zelfs onder deze extreme condities werd gevonden, dat er een reservoir compactie van bijna 2 meter zou moeten optreden alvorens een breuk tot aan de oppervlakte zou doorlopen. Gezien de verwachte maximale compactie van het gasvoerend gesteente van 0,60 - 0,70 m mag het dus uitgesloten worden geacht, dat dit verschijnsel zich zal voordoen. Scheurvorming in gebouwen uit dien hoofde zal derhalve niet optreden.

Deelstudie II

In *deelstudie II* is gekeken naar de zettingsgevoeligheid van de ondergrond voor peilverlagingen en de consequenties daarvan voor de bebouwing. De studie draagt een algemeen karakter en is niet bedoeld als een handleiding waarmee de oorzaak van scheurvorming in een willekeurig gebouw kan worden opgespoord. Wel wordt aangegeven welke aspecten voor de beoordeling van individuele schadegevallen van belang kunnen zijn. De grond in het onderzoeksgebied is gelaagd van structuur en bestaat voornamelijk uit de grondsoorten klei, veen en zand of combinaties daarvan. De laagdikten kunnen van plaats tot plaats sterk variëren. De grond kan homogeen van opbouw zijn, waarbij de laagopbouw vrijwel ongestoord is of inhomogeen. De laatste situatie doet zich bijvoorbeeld voor, indien een geul of kreek, die een homogeen pakket doorsnijdt, op een later tijdstip is dichtgeslibd.

In tegenstelling tot homogene grond veranderen bij inhomogene grond de samenstelling en eigenschappen ervan over relatief korte afstand vergeleken met de lengte van een gebouw.

Als een gevolg van de bodemdaling door aardgaswinning zal de aardoppervlakte de vorm krijgen van een zeer platte schotel. Om de lokale omstandigheden zo weinig mogelijk te verstoren, dient de drooglegging -dat is de afstand van maaiveld tot slootpeil- zoveel mogelijk gelijk te blijven in het gebied. Naarmate de bodemdaling vordert, zal dit bereikt worden door het tijdig bouwen van gemalen, sluizen, stuwen en dergelijke. Gezien de schotelvorm zullen kleine afwijkingen van de huidige drooglegging onvermijdelijk zijn. Deze materie wordt bestudeerd door de Waterschappen en naar verwachting zullen veranderingen in de drooglegging groter dan 0,20 m zelden of nooit noodzakelijk zijn. Belangrijk is, dat voor het overgrote deel van het gebied een veel kleinere droogleggingsverandering van toepassing zal zijn.

Het niveau van de grondwaterspiegel varieert in de loop van het jaar al naar gelang het seizoen. Als de grondwaterspiegel ten opzichte van het maaiveld verder daalt dan het minimum niveau dat ter plaatse voorheen ooit eens is bereikt, dan zal rekening moeten worden gehouden met zetting van de grond. Een dergelijke zetting zal dus vooral optreden in erg droge zomers. Een verlaging van het slootpeil van 0,20 m ten opzichte van het maaiveld zal de grondwaterstand doen dalen. Zo zal op enkele meters afstand van een sloot de gemiddelde laagste grondwaterstand in het geval van klei 0,05 - 0,10 m dalen, bij veen 0,10 m en bij zand 0,10 - 0,15 m. In het midden van een kavel is die daling kleiner. De zettingen, die verband houden met peilverlagingen die doorgevoerd worden vanwege de bodemdaling, zullen dan ook in droge zomers optreden, omdat dan de kans het grootst is dat de grondwaterspiegel dieper onder het maaiveld zakt dan ooit voorheen. Uit de berekeningen blijkt, dat in het onderzoeksgebied in het geval van zand de zetting ongeveer 5% bedraagt van de daling van de grondwaterspiegel onder het genoemde minimum. In het geval van klei en veen zijn deze percentages respectievelijk 10 en 15.

Bij homogene grond is de zetting van de grond in het algemeen gelijkmatig en zal de bebouwing in zijn geheel meezakken; bij inhomogene grond echter kan een verschil in zetting tot scheefstand en/of scheurvorming van de bebouwing leiden. Langgerekte bouwwerken zijn speciaal gevoelig voor ongelijke zakking, daarom zijn de volgende bebouwingstypen bestudeerd: een rijtje van 6 woningen van 36 meter lang en een 50 meter lange muur van het bedrijfsgedeelte van een boerderij. In beide gevallen is de fundering op staal, dat wil zeggen zonder onderheing, gedacht; deze situatie is het meest gevoelig voor eventuele schade.

Schade is gedefinieerd als

- a. doorgaande scheurvorming in het metselwerk en/of
- b. scheefstand groter dan 5 mm/m.

Gebleden is dat scheefstand veelal niet maatgevend is en daarom heeft de studie zich vooral op scheurvorming gericht.

Scheurvorming in bebouwing treedt op als de spanningen in het metselwerk de treksterkte ervan overschrijden. Er is uitgegaan van een gemiddelde treksterkte gebaseerd op proeven en literatuuronderzoek. Het berekenen van de spanningen in de muren van woningen is met behulp van een computerprogramma uitgevoerd. Factoren die van grote invloed zijn op die spanningen zijn de volgende: de aard, vorm en bouwwijze van het gebouw, de plaats in het gebouw waar de spanningen werken, de afmetingen van de fundering en de mate van inhomogeniteit van de ondergrond. Berekend is hoe, rekening houdende met de stijfheid van het gebouw, bij meer of minder zetting van homogene en inhomogene grond de spanningen in het metselwerk veranderen. Door deze spanningen te vergelijken met de treksterkte van metselwerk is bepaald onder welke omstandigheden scheuren gaan optreden.

Aangezien de zetting van grond via het grondwaterpeil afhankelijk is van het slootpeil is hiermee het verband gelegd tussen slootpeilverlaging en mogelijke scheurvorming. Het zal duidelijk zijn dat voor de vele soorten gegevens die een rol spelen in deze problematiek geen vaste cijfers gehanteerd mogen worden. De treksterkte van metselwerk bijvoorbeeld en de geometrie van de bouwwerken variëren aanzienlijk. Men ontkomt er dus niet aan om met gemiddelde waarden te werken: een gemiddelde waarde voor de treksterkte van metselwerk en een gemiddelde waarde voor de spanningen in het metselwerk. In verband met de benaderingen die bij dit type berekeningen onvermijdelijk zijn, is een zekere spreiding rond deze gemiddelden mede in de berekening opgenomen. Met behulp van deze uit de statistiek bekende techniek is het mogelijk de kans van het optreden van schade te berekenen. Aldus is de kans op schade ten gevolge van eigen gewicht alsmede de toename van die kans door een daling van de grondwaterstand bepaald. In navolging van wat in de civiele en bouwkundige techniek gebruikelijk is, is de maximaal toe te laten vergroting van die kans op 5% gesteld.

Bij het rijtje van 6 woningen gefundeerd op homogene kleiige grond is de kans op scheurvorming alleen ten gevolge van het eigen gewicht ca. 10%, dat wil zeggen dat van alle 100 vergelijkbare rijtjes woningen er al 10 scheuren vertonen voordat er sprake is van peilverlaging. Bij inhomogene grond is de kans op scheurvorming ten gevolge van het eigen gewicht ruim 30%. Een daling van het grondwaterpeil heeft bij homogene grond nauwelijks invloed op de kans op scheurvorming. Bij inhomogene grond neemt de kans op scheurvorming toe met maximaal 10% per 0,20 m grondwaterstands daling.

Als resultaat van de studie is onderstaande tabel ontstaan waarin globale criteria zijn gegeven om de vergroting van de kans op scheurvorming niet significant, dwz. kleiner dan 5% te doen zijn.

Bodem voornamelijk opgebouwd uit	Toelaatbare verlaging grondwaterstand in cm	Toelaatbare verlaging waterpeil in cm
zand	24	32
klei	10	20
veen met kleidek	7	13

De maximale relatieve peilverlagingen zijn gebaseerd op de meest ongunstige situatie met betrekking tot de grondgesteldheid.

Bij boerderijen is de situatie wezenlijk anders. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de toegepaste constructie van bedrijfsgebouwen in het onderzoeksgebied. De lange muur van het bedrijfsgedeelte blijkt erg kwetsbaar te zijn voor ongelijkmatige zetting. Daardoor is de kans op scheurvorming bij inhomogene grond in zeer vele gevallen al zodanig groot, dat een vergroting van deze kans door een grondwaterstands daling niet veel praktische betekenis heeft. Gezien de traditionele situatie van waterlopen parallel aan de muren van bedrijfsgebouwen, geldt bij homogene grond dat de toeneming van deze kans onder overigens dezelfde omstandigheden praktisch nihil is.

Een verkleining van de drooglegging zal in het algemeen niet tot scheurvorming leiden, alhoewel een vermindering van het draagvermogen van de ondergrond zal optreden. In die gebieden waar momenteel sprake is van een relatieve peilverhoging, omdat de peilen nog niet aangepast zijn aan de bodemdaling, is het onwaarschijnlijk dat aanwezige scheurvorming is toe te schrijven aan de tot op heden opgetreden bodemdaling door aardgaswinning van maximaal 0,15 m.

Vergroting van de drooglegging in verband met de bodemdaling is tot op heden slechts in geringe mate en in een klein gebied doorgevoerd, zodat de kans klein is, dat thans reeds schadelijke effecten van de bodemdaling merkbaar zouden zijn als gevolg van die verlagingen. In alle gevallen geldt dat voor op staal gefundeerde bouwwerken de mate van inhomogeniteit heel belangrijk is.

Aanbevolen wordt de plannen voor de indeling van de peilgebieden te zijner tijd te toetsen aan de resultaten van deze studie. Tenslotte zij opgemerkt, dat er veel andere factoren zijn die scheurvorming kunnen veroorzaken, maar die in deelstudie II verder niet zijn uitgewerkt, zoals:

- een onregelmatige belasting van de fundering
- een plaatselijke verandering van de funderingsbelasting
- en gebouwtijfheid door bijvoorbeeld verbouwingen
- grote plaatselijke belastingen naast de fundering
- bouwkundige gebreken
- daling van grondwaterstanden door aanhoudende droogte en andere vormen van wateronttrekking, zoals boomgroei nabij de fundering
- externe invloeden zoals krimp en grote temperatuurverschillen.

Volgnummer: 2	
Onderzoek: : Vervorming van de bovengrond door Nedmag zoutwinning en schade aan de bebouwing	
Onderzoeker: GeoDelft	
Nummer : CO352471/07	Datum: juli 2001
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	X

Algemeen

In deze studie heeft Geodelft bepaald wat de directe effecten zijn van een maximale bodemdaling van 110 cm bij de zoutwinning van Nedmag op de aanwezige bebouwing. Het bodemdalingsgebied heeft bij deze maximum bodemdaling een straal van ca. 3 km. Daarnaast is gekeken naar mogelijke bodemtrillingen. Dit onderzoek heeft veel overeenkomsten met de studie die is uitgevoerd voor FRISIA (zie onder 3 in deze literatuurstudie).

Samenvatting

Bij de dorpen Trips- en Borgercompagnie en de gemeente Veendam produceert NEDMAG INDUSTRIES magnesiumzouten sinds 1972. De zouten worden door oplosmijnbouw gewonnen, wat inhoudt dat er water onder hoge druk in de diepe zoutlagen wordt geïnjecteerd, alwaar de zouten oplossen tot een pekkel met hoge zoutconcentratie (voornamelijk magnesium-chloridezouten). Hiertoe heeft NEDMAG tussen 1972 en 1991 twaalf putten geboord tot in de magnesiumzouten, die zich op een diepte van ongeveer 1500 meter onder het maaiveld bevinden. Water wordt geïnjecteerd en pekkel wordt naar boven gehaald via in deze putten afgehangen buizen.

Sinds 1995 wordt het zout gewonnen met behulp van de zogenaamde squeeze-methode. De methode komt erop neer dat men de magnesiumzouten de gelegenheid geeft naar de cavemes toe te stromen. De redelijk vloeibare (laag-visceuze) magnesiumzouten worden door het gewicht van de bovengrond naar de cavernes toegeperst, zoals men een tube tandpasta uitperst. Omdat de magnesium-zoutlagen dunner worden zakt ook de bovengrond als gevolg van zwaartekracht. De daling is het grootst boven de cavemes en loopt langzaam af met de afstand tot het caverneveld. Bij deze squeeze-methode treedt bodemdaling versneld op.

GeoDelft heeft de vervorming van de bovengrond door zoutwinning uitgerekend voor een bodemdalingkom met een diepte van maximaal 110 cm. Hiervoor is de scheefstand, de relatieve rotatie (kromming) en de horizontale rekken berekend. Deze berekende waarden zijn vervolgens vergeleken met schadecriteria, zoals deze in de literatuur zijn beschreven. Wanneer de berekende vervormingen worden vergeleken met de schadecriteria blijkt dat de vervormingen van de bovengrond als direct gevolg van de zoutwinning veel lager zijn dan de waarde voor de schadecriteria.

De scheefstelling bij een bodemdaling van 110 cm bedraagt maximaal: 0,00068 ofwel 6,8 mm op 10 m; De grootste scheefstand komt voor op een afstand van ca. 900 m van het centrum van de bodemdalingkom. Het strengste criterium voor schade door scheefstelling (Krarzsch 1974) is 0,0025 ofwel 25 mm per 10 m. De maximale scheefstelling door de zoutwinning is aanzienlijk kleiner dan dit criterium.

De kromming bij een bodemdaling van 110 cm bedraagt maximaal: hol: $0,0000013 \text{ m}^{-1}$ (= straal 769 km), bol: $0,0000005 \text{ m}^{-1}$ (= straal 2.000 km). De maximale holle kromming treedt op voor in het centrum van de bodemdalingkom. De maximale bolle kromming treedt op ca. 1.500 m van het centrum van de bodemdalingkom. Voor de kromtestraal wordt als strengste minimumwaarde 20 km gehanteerd. De minimum kromtestraal van 769 km als gevolg van de bodemvervorming door de zoutwinning is veel groter dan deze waarde.

De rek bij een bodemdaling van 110 cm bedraagt maximaal:

- trek-rek: 0,0002 ofwel 2 mm op 10 m op ca. 2.400 m van het centrum van de bodemdalingkom;
- stuik-rek: 0.0005 of wel 5 mm op 10 m in het centrum van de bodemdalingkom.

De trek-rek blijft ruim onder het criterium voor horizontale rek van [Sambeek 2000]. Die stelt dat de horizontale trek-rek kleiner moet zijn dan 0,0005 ofwel 5 mm op 10 m om geen scheuren te veroorzaken in pleister of mortel. Voor stuik-rek ligt de grenswaarde hoger omdat steen en beton beter bestand is tegen drukkrachten dan tegen trekkrachten.

Een gebouw zal de vervorming in de bodem deels volgen, maar doordat de fundering van een gebouw over het algemeen veel stijver is dan de bodem zullen met name de kromming en horizontale rek in het gebouw significant kleiner zijn dan de kromming en rek in de bodem. Met de berekeningen van de bodemdaling kan de vervorming van de bodem worden bepaald en de totale vervorming van de gebouwen is dan altijd kleiner.

Algemeen kan geconcludeerd worden, de ervaringen van elders beschouwend, dat de kans op schade aan bebouwing (inclusief huizen) als direct gevolg van de bodemdaling zeer gering is bij een bodemdaling van 110 centimeter. Hierbij is de meest ongunstige ligging van de bebouwing ten opzichte van de vervorming beschouwd.

Het dient echter duidelijk te zijn dat een kleine kans geen absolute zekerheid betreft. Waar andere oorzaken mede een rol spelen, kan de bodemdaling mogelijk de bekende druppel zijn, die de emmer doet overlopen. Een huis met een reeds zwakke constructie en dat mogelijk reeds te lijden heeft gehad van grondwaterwisselingen, natuurlijke klink, graafwerkzaamheden, verbouwingen, ouderdom, enzovoorts, kan -mede- door toedoen van de bodemdaling schade oplopen.

Voor specifieke gevallen geldt dat alleen een schade-expert, mogelijk geholpen met grondonderzoek, de oorzaak van de schade kan vaststellen (vaak alleen met redelijke maar geen volledige zekerheid). In overleg zal moeten worden bepaald welk deel van de schade redelijkerwijze door bodemdaling als direct gevolg van de zoutwinning is veroorzaakt en welk gedeelte andere oorzaken heeft.

Het vaststellen van de eventuele ontwikkeling van schade aan bebouwing in het betreffende gebied in de winningperiode kan ondersteund worden met kennis van de huidige toestand van de bebouwing. Het vaststellen van de thans aanwezige toestand van elk pand in het betreffende gebied met voldoende detail is zo goed als onmogelijk voor het gebied. Bovendien zijn er behalve bodemdaling veel invloeden die over de verwachte winningperiode een rol spelen (veroudering, verbouwingen, grondwerking, grondwaterschommelingen, etc.) en die onafhankelijk van de bodemdaling door mijnbouw de toestand van de bebouwing kunnen beïnvloeden. Mogelijk kan er wel met een aantal daartoe geselecteerde gebouwen en huizen in de wat sterker door vervorming beïnvloede gebieden een referentiebasis worden vastgesteld die dient om mogelijke schadeontwikkeling op reguliere basis vast te stellen.

Ten aanzien van de kans op schade door aardtrillingen als gevolg van zoutwinning geeft Geodelft aan dat er is tot op heden geen enkele trilling in het gebied van de zoutwinning gerapporteerd. GeoDelft heeft reeds in 1995 een studie gemaakt naar de kans op een aardtrilling of aardbeving door zoutwinning. Conclusie van dat onderzoek is dat de kans op schadeveroorzakende bevingen klein is. Het zich voordoen van voelbare bevingen bij oplosmijnbouw is overigens heel ongebruikelijk, waarschijnlijk omdat het zout zelf te plastisch is om schokken te genereren en omdat de zoutwinning niet vaak plaats vindt bij grotere breuken. Gas- en oliewinning treedt vaak juist wel op bij grotere breuken, omdat juist bij deze breuken het gas zich ophoopt.

Volgnummer: 3	
Onderzoek: : Bodemvervorming door diepe zoutwinning en effecten op gebouwen in de Barradeel concessie van FRISIA Zout definitief	
Onderzoeker: Geodelft	
Nummer : co400130/05 versie 1	Datum: november 2001
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	x
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	x

Samenvatting

In het gebied ten noordoosten van Harlingen (Harns) wordt zout gewonnen door FRISIA zout. De zouten worden door oplosmijnbouw gewonnen, wat inhoudt dat er water onder hoge druk in de diepe zoutlagen wordt geïnjecteerd, alwaar de zouten oplossen tot een pekkel met hoge zoutconcentratie (voornamelijk natrium-chloridezout, ofwel keukenzout). Op dit moment wint FRISIA uit twee putten, BAS-1 en BAS-2, in de buurt van Sexbierum (Seisbjerrum), die zich op een diepte van ongeveer 2500 - 3000 meter onder het maaiveld bevinden. Water wordt geïnjecteerd en pekkel wordt naar boven gehaald via in deze putten afgehangen buizen.

Doordat het zout oplost ontstaan ondergrondse holtes (cavernes), die gevuld zijn met pekkel. Deze cavernes zijn 200-350 meter hoog en bereiken in de praktijk een volume van 250.000 - 300.000 m³. Bij de winning treedt bodemdaling op, die het gevolg is van de toestroming van zout in de richting van de cavernes. Als gevolg van de hoge temperatuur en drukken in de ondergrond, wordt de zoutmassa relatief vloeibaar, waardoor het zout vergelijkbaar wordt met kaarsvet of asfalt op een warme zomerdag en kan gaan vloeien. Het volume zout dat richting de cavernes stroomt wordt opgevuld door de bovenliggende gesteentes die naar de beneden zakken, wat aan het maaiveld tot bodemdaling leidt.

GeoDelft heeft met een aan deze waterpasmetingen geijkt berekeningsmodel de bodemdalingssom berekend bij een zakking in het diepste punt van 35 cm bodemdaling. De waterpasmetingen zijn uitgevoerd door het bureau Oranjewoud, dat hiertoe een dicht net waterpaspunten heeft aangebracht in de omgeving van de winninglocatie. Algehele conclusie is dat de bodemdaling een zeer gelijkmatig verloop heeft en goed te correleren is aan de productie van zout. Er blijkt een direct verband te zijn tussen de bodemdaling en de ondergrondse convergentie (het volume zout dat naar de caverne geperst is).

GeoDelft heeft de vervorming van de bovengrond door zoutwinning uitgerekend voor een bodemdalingssom met een diepte van maximaal 35 cm. Daarbij zijn de aspecten scheefstand, relatieve rotatie (kromming) en horizontale rekken nagegaan. Deze berekende waarden zijn vervolgens vergeleken met schadecriteria, zoals deze in de literatuur zijn beschreven. Wanneer de berekende vervormingen worden vergeleken met de schadecriteria blijkt dat de vervormingen van de bovengrond als direct gevolg van de zoutwinning veel lager zijn dan de waarde voor de schadecriteria.

De scheefstelling bij een bodemdaling van 35 cm bedraagt maximaal: 0,00018 ofwel 1,8 mm op 10 m; De grootste scheefstand komt voor op een afstand van ca. 1200 m van het centrum van de bodemdalingkom. Het strengste criterium voor schade door scheefstelling (Krarzsch 1974) is 0,0025 ofwel 25 mm per 10 m. De maximale scheefstelling door de zoutwinning is aanzienlijk kleiner dan dit criterium.

De kromming bij een bodemdaling van 35 cm bedraagt maximaal: hol: $0,00000026 \text{ m}^{-1}$ (= straal 3.846 km), bol: $0,00000011 \text{ m}^{-1}$ (= straal 9.091 km). De maximale holle kromming treedt op in het centrum van de bodemdalingkom. De maximale bolle kromming treedt op ca. 2000 m van het centrum van de bodemdalingkom. Voor de kromtestraal wordt als strengste minimumwaarde 20 km gehanteerd. De minimum kromtestraal van 3.846 km als gevolg van de bodemvervorming door de zoutwinning is veel groter dan deze waarde.

De rek bij een bodemdaling van 35 cm bedraagt maximaal:

- trek-rek: 0,00006 ofwel 0,6 mm op 10 m op ca. 2.400 m van het centrum van de bodemdalingkom;
- stuik-rek: 0,00017 ofwel 1,7 mm op 10 m in het centrum van de bodemdalingkom.

De trek-rek blijft ruim onder het criterium voor horizontale rek van [Sambeek 2000]. Die stelt dat de horizontale rek (bij trek) kleiner moet zijn dan 0,0005 ofwel 5 mm op 10 m om geen scheuren te veroorzaken in pleister of mortel.

Een gebouw zal de vervorming in de bodem deels volgen, maar doordat de fundering van een gebouw over het algemeen veel stijver is dan de bodem zullen met name de kromming en horizontale rek in het gebouw significant kleiner zijn dan de kromming en rek in de bodem. Met de berekeningen van de bodemdaling kan de vervorming van de bodem worden bepaald en de totale vervorming van de gebouwen is dan altijd kleiner.

Algemeen kan geconcludeerd worden, de ervaringen van elders beschouwend, dat de kans op schade aan bebouwing (inclusief huizen) als direct gevolg van de bodemdaling zeer gering is bij een bodemdaling van 35 centimeter. Hierbij is de meest ongunstige ligging van de bebouwing ten opzichte van de vervorming beschouwd.

Het dient echter duidelijk te zijn dat een kleine kans geen absolute zekerheid betreft. Waar andere oorzaken mede een rol spelen, kan de bodemdaling mogelijk de bekende druppel zijn, die de emmer doet overlopen. Een huis met een reeds zwakke constructie en dat mogelijk reeds te lijden heeft gehad van grondwaterwisselingen, natuurlijke klink, graafwerkzaamheden, verbouwingen, ouderdom, enzovoorts, kan -mede- door toedoen van de bodemdaling schade oplopen.

Voor specifieke gevallen geldt dat alleen een schade-expert, mogelijk geholpen met grondonderzoek, de oorzaak van de schade kan vaststellen (vaak alleen met redelijke maar geen volledige zekerheid). In overleg zal moeten worden bepaald welk deel van de schade redelijkerwijze door bodemdaling als direct gevolg van de zoutwinning is veroorzaakt en welk gedeelte andere oorzaken heeft.

Geodelft geeft aan dat het voordoen van voelbare bevingen bij oplosmijnbouw heel ongebruikelijk is, waarschijnlijk omdat het zout waar de cavernes door omringd zijn zodanig plastisch is dat er geen schokken optreden bij de vervorming en omdat zulke zoutwinning niet vaak plaatsvindt bij grotere breuken. Gas- en oliewinning is juist wel vaak bij grotere breuken, omdat bij onder andere zulke breuken zich juist aardgas ophoopt. Er is tot op heden geen enkele trilling in het gebied van de zoutwinning gerapporteerd.

Volgnummer: 4	
Onderzoek: : Second Opinion Ontginningsplan NEDMAG 2001	
Onderzoeker: prof. dr. ir. A. Verruijt	
Nummer :	Datum: 21 december 2001
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	X

Algemeen

Op 25 oktober 2001 hebben Gedeputeerde Staten der provincie Groningen aan Prof. dr. ir. A. Verruijt verzocht om een second opinion over het onderzoek en het rapport over de bodemdaling en de eventuele schade ten gevolge van de voortzetting van de zoutwinning ten westen van Veendam door Nedmag Industries, volgens het door Nedmag ingediende Ontginningsplan vanaf 2001.

In deze second opinion is vooral aandacht besteed aan:

1. De onderbouwing van de voorspelling van de verwachte bodemdaling,
2. De gevolgen van de bodemdaling voor eventuele schade van gebouwen,
3. De afspraken met betrokken overheidsinstanties en burgers,
4. Mogelijke extrapolatie naar een verdere toekomst.

In deze literatuurstudie wordt met name ingegaan op de gevolgen van de bodemdaling voor eventuele schade van gebouwen (punt 2).

Samenvatting

Bodemdaling kan in principe op een aantal manieren tot schade aan gebouwen of aan gewassen leiden. Deze zijn :

- Scheefstand van een gebouw door ongelijkmatige bodemdaling,
- Kromming van een gebouw door ongelijkmatige bodemdaling,
- Rek aan het bodemoppervlak,
- Wijziging van de relatieve grondwaterstand bij een gebouw of een perceel,
- Aardschokken.

De conclusies uit het rapport van Geodelft (zie hoofdstuk 2) m.b.t. de scheefstand, kromming en rek aan het oppervlak worden door berekeningen door Verruijt bevestigd. Bij een bodemdaling van maximaal 1,10 m is de kans op schade aan gebouwen als direct gevolg van bodemdaling gering.

Verruijt is van mening dat een verandering in de relatieve grondwaterstand (grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld) de belangrijkste oorzaak is van mogelijke schade aan gebouwen en percelen, met als mogelijke tweede de schade door aardschokken.

Volgens Verruijt hangen de belangrijkste oorzaken van schade bij bodemdaling waarschijnlijk samen met veranderingen in de grondwaterstand ten opzichte van het grondoppervlak (maaiveld). Als de bodem daalt en de grondwaterstand blijft gelijk, kan er schade aan percelen grond optreden door vernatting, en door een verminderde begaanbaarheid, en kan het draagvermogen van een fundering op staal afnemen. Dat laatste kan tot schade leiden als de fundering nog maar weinig veiligheid bezit doordat bijvoorbeeld de belasting in de loop der tijd is toegenomen. Ook kan schade optreden aan bijvoorbeeld houten beschoeiingen.

Om dit alles tegen te gaan wordt in het algemeen afgesproken dat de waterstanden (inclusief grondwaterstanden) zullen worden aangepast aan de bodemdaling, zodanig dat de relatieve verandering van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld beperkt blijft tot 5 cm, of eventueel 10 cm.

Een mogelijk probleem kan zijn dat het voor de waterhuishouding wellicht niet zo nodig is dat de grondwaterstand de bodemdaling met tamelijk grote nauwkeurigheid volgt. Om schade aan bebouwing te voorkomen is dat echter wel nodig. Weliswaar zal de schade aan gebouwen meestal beperkt zijn (extra zakkingen in de orde van grootte van de helft van het niet vereffende verschil tussen grondwater en maaiveld) en zich beperken tot gebouwen die al dicht bij de grens van veiligheid tegen schade zijn gekomen, maar de bodemdaling door de zoutwinning kan net tot overschrijding van de grens leiden. Het is daarom van groot belang dat de waterstanden de bodemdaling goed volgen, in de ruimte en in de tijd. Dat kan betekenen dat het gebied moet worden opgedeeld in deelgebieden met verschillende waterstand.

Een ander mogelijk probleem hierbij kan zijn dat het niet is uitgesloten dat ook om andere redenen dan aanpassing aan de bodemdaling door zoutwinning de (grond)waterstand in de toekomst wordt aangetast. Het is denkbaar dat om landbouwkundige redenen, of waterstaatkundige redenen, polderpeilen zullen veranderen. Het is ook denkbaar dat er andere vormen van bodemdaling zijn, bijvoorbeeld door samendrukking of uitdroging van landbouwgronden, die nopen tot aanpassing van de grondwaterstand, die zich dan ook doet gevoelen bij de bebouwing. Indien dit samengaat met relatieve bodemdaling door zoutwinning (of gaswinning) is het moeilijk eventuele schade toe te schrijven aan een van de oorzaken.

Hoewel er in de literatuur geen gevallen van aardbevingen bij zoutwinning te vinden zijn is het risico ervan toch niet helemaal uit te sluiten. Het lijkt daarom aan te bevelen seismische registratieapparatuur te installeren, en continu te meten. Bij een eventuele aardbeving kan dan de gebeurtenis (de aardbeving) gekoppeld worden aan zijn gevolgen: plotselinge schade.

Conclusies:

- De rapporten van GeoDelft geven een goed inzicht in de te verwachten bodemdaling, en geven een wetenschappelijk verantwoorde voorspelling van de te verwachten gevolgen.
- De kans op schade aan gebouwen zal naar verwachting gering zijn. Voor de eventueel toch optredende schade is een goede procedure voorgesteld, die de bewoners van het gebied voldoende zekerheid biedt dat schade veroorzaakt door de zoutwinning daadwerkelijk vergoed wordt.
- Het ontginningsplan voorziet door de bepaling dat de omvang van de zoutwinning niet alleen beperkt wordt door een grens aan de te winnen hoeveelheid zout, maar ook door een grens aan de bodemdaling, in een belangrijke vorm van beperking van de effecten van de zoutwinning.
- Het voorgestelde protocol voor de schadebehandeling geeft voldoende zekerheid voor een zorgvuldige afhandeling van eventuele schadegevallen.
- Het uitzicht op een eventuele volgende periode van zoutwinning geeft Nedmag de plicht zorgvuldig om te gaan met schadegevallen, en geeft de burgers en de betrokken overheidsinstanties een goede mogelijkheid zorgvuldige behandeling af te dwingen.
- In navolging van andere adviezen wordt ook hier aanbevolen de gevolgen van de zoutwinning zorgvuldig te volgen, en te trachten de voorspellingstechnieken verder te verbeteren.

Volgnummer: 5	
Onderzoek: : Oorzaak schade aan gebouwen nabij Grou	
Onderzoeker: TNO -NITG	
Nummer : NITG 03-062-B	Datum: 31 maart 2003
Schadeoorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	X

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken is een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van schade aan panden nabij Grou in de provincie Fryslân. In die regio bestaat al geruime tijd ongerustheid met betrekking tot waargenomen schade aan gebouwen en ongelijkmatige bodemverzakkingen. In het verleden is regelmatig geopperd dat er een relatie zou bestaan tussen de schade en de winning van aardgas in het gebied. De conclusie van eerder onderzoek in opdracht van het Ministerie in 1990 luidde dat aardgaswinning slechts een verwaarloosbare invloed kon hebben gehad op de schade aan gebouwen. Omdat deze conclusie ter discussie is blijven staan, onder andere vanwege het feit dat het eerdere onderzoek niet heeft vastgesteld wat de oorzaak wel zou kunnen zijn, is door het Ministerie eind 2001 om een nieuw onderzoek gevraagd.

Het nieuwe onderzoek is in 2002 uitgevoerd door TNO en GeoDelft en had als doelstelling het geven van duidelijkheid omtrent de oorzaak van schade aan panden nabij Grou. De centrale vraag naar de oorzaak van de schade is hiermee breder dan de onderzoeksvraag voor het eerdere onderzoek. Om deze bredere vraag te kunnen beantwoorden heeft de opdrachtnemer gekozen voor een multidisciplinaire aanpak van het onderzoek waarbij onderzoekers samenwerkten met expertise op de gebieden van de diepe en ondiepe ondergrond, effecten van gaswinning, waterbeheer, geomechanica en schade aan gebouwen en funderingen.

In de eerste fase van het onderzoek zijn zo veel mogelijk hypothesen met betrekking tot de oorzaken voor schade aan de panden in midden Friesland geformuleerd. Daarna zijn in de eerste fase van het onderzoek verschillende deelonderzoeken met een regionaal karakter uitgevoerd. Hierbij werden aspecten bestudeerd die relevant zouden kunnen zijn voor de gehele regio en die niet slechts specifiek voor een individueel pand gelden. Zulke aspecten konden veelal bestudeerd worden met behulp van bestaande gegevens. Het grootste deel van de benodigde gegevens was reeds in beheer bij het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen (TNO-NITG). Waar nodig zijn deze gegevens aangevuld met informatie verkregen van olie- en gasmaatschappijen, waterschappen, provincie Fryslân, gemeenten en de Dienst Landelijk Gebied. Alle benaderde instanties hebben hun volledige medewerking verleend aan het beschikbaar stellen van aanvullende informatie. Uit de analyse van deze gegevens konden conclusies getrokken worden omtrent de opbouw van de diepe en van de ondiepe ondergrond in de regio, de effecten van gaswinning uit de diepe ondergrond, het waterbeheer gedurende de laatste decennia en de wisselwerking van dat waterbeheer met de ondergrond. Hieruit ontstond een beeld dat geldigheid heeft in geheel midden Friesland. Een aantal conclusies is overigens niet (zonder meer) geldig voor andere delen van Noord Nederland.

De tweede fase van het onderzoek bestond uit een vergelijkend onderzoek aan tien geselecteerde panden in de regio. Deze panden zijn zodanig gekozen dat hieruit vijf zogenaamde pandenparen konden worden gevormd. Per paar was sprake van een min of meer gelijke bouwstijl, waarbij het ene pand wel schade had en het andere pand relatief schadevrij was. Bij de selectie van de tien panden voor gedetailleerd onderzoek is ervoor gekozen om vier van de panden te kiezen in een referentiegebied waar geen sprake is geweest van aardgaswinning. Dit referentiegebied moest voor wat andere factoren betreft, zoveel mogelijk gelijkenis vertonen met het gebied nabij Grou. Als referentiegebied is een gebied rondom IJlst gekozen. Daar heeft - in tegenstelling tot het gebied rond Grou- geen gaswinning plaatsgevonden, maar bevinden zich goed vergelijkbare panden, waaronder ook panden met schade. De opbouw van de ondiepe ondergrond en de geohydrologische situatie zijn goed vergelijkbaar met die in de omgeving van Grou.

Ter plaatse van alle tien geselecteerde panden is op lokale schaal aanvullend gedetailleerd onderzoek uitgevoerd. Dit lokale onderzoek behelsde onder andere een grondige bouwkundige inspectie en een analyse van de vervormingen die zich aan de panden hebben voorgedaan. Vervolgens zijn de verkregen bouwkundige gegevens geanalyseerd in samenhang met de gegevens omtrent bodemopbouw en grondwaterstanden op de lokale schaal. Het resultaat van het lokale onderzoek voor elk pand was de vaststelling van de meest waarschijnlijke oorzaak van schade aan de geselecteerde panden.

Door de overeenkomsten en de verschillen tussen de panden binnen een pandenpaar te beschouwen, maar ook die tussen panden uit het ene paar en panden uit andere paren, kon een synthese gemaakt worden en conclusies getrokken worden, die voor de hele regio geldig zijn.

De resultaten van het onderzoek geven een gedetailleerd beeld op regionale schaal van een aantal belangrijke factoren zoals: de opbouw van en variaties in de diepe ondergrond, de effecten van de opsporing en winning van aardgas hierop, de opbouw van en variaties in de ondiepe ondergrond (de holocene slappe bodem karakteristiek voor dit veenweidegebied), het waterbeheer en de zettingsgevoeligheid van de bodem. Het onderzoek van de panden heeft uitgewezen dat bij de onderzochte panden de waargenomen schade voor het overgrote deel het gevolg is van ongelijkmatige zettingen, die verband houden met variaties in de opbouw van de ondiepe ondergrond en met verlaging van de grondwaterstanden. In het referentiegebied rondom IJlst komt dezelfde soort schade voor als rondom Grou. De bodemdaling ten gevolge van de winning van aardgas uit diepe reservoirs bij Grou is maximaal 3,5 cm en deze daling is op de schaal van een pand als gelijkmatig te beschouwen. Een dergelijke bodemdaling kan niet de oorzaak van de schade zijn. De opbouw van de diepe ondergrond in midden Friesland is in vergelijking tot andere delen van Nederland zeer stabiel en maakt het voorkomen van aardbevingen die schade kunnen veroorzaken onwaarschijnlijk. Deze vaststelling geldt overigens specifiek voor de situatie in midden Friesland.

De eindconclusie van het onderzoek is dat, hoewel op lokale schaal aan individuele panden verschillende oorzaken van schade zijn te vinden, op regionale schaal beschouwd de oorzaak van het hoge aantal schadegevallen gelegen is in de opbouw van de ondiepe ondergrond - met name in de inherente kwetsbaarheid van het holocene pakket met zijn zettingsgevoelige slappe bodem - in combinatie met en versterkt door de daling van de grondwaterstanden gedurende de laatste decennia. De opsporing en winning van aardgas heeft geen bijdrage aan de schade geleverd.

Volgnummer: 6	
Onderzoek: : Bodemdaling Groningen Effecten peilverhoging op fundering op staal Relatie afname draagvermogen en zakking fundering	
Onderzoeker: Gemeentewerken Rotterdam	
Nummer : 2000-005/B 7	Datum: januari 2004
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

In het kader van het onderzoek naar de effecten van bodemdaling op funderingen op staal is door het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam op verzoek van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning onderzoek verricht naar de gevolgen van een relatieve stijging van de grondwaterstand.

Samenvatting

Een verhoging van de grondwaterstand heeft twee tegengestelde effecten op een fundering op staal, enerzijds neemt de effectieve spanning in de bodem enigszins af waardoor wat uitzetting optreedt en de fundering rijst, anderzijds neemt ook het grensdragvermogen enigszins af, waardoor, in geval van een fundering met een marginale veiligheid, zakking optreedt. Bij funderingen op staal met een normale veiligheid, veiligheidsfactor in de orde van grootte van 2,5, is de rijzing dominant en treedt dus geen zakking op.

Alle funderingen op staal van recente data beschikken, op basis van het Bouwbesluit en de daaraan gekoppelde normen, in ieder geval over een ruime veiligheid. Ook de funderingen die eerder gerealiseerd zijn onder professioneel toezicht, bezitten een vergelijkbare veiligheid. Bovendien blijkt uit de berekeningen dat staalfunderingen op een kleibodem een ruime veiligheid hebben omdat ten gevolge van het consolidatieproces de sterkte van de grond onder de fundering in de loop van de tijd verder is toegenomen. De situatie met de kleinste veiligheid trad dus op direct na het gereedkomen van het bouwwerk, daarna is de veiligheid geleidelijk alleen maar toegenomen.

Bij oude en historische funderingen kan het in bijzondere gevallen anders liggen. Vaak is de bouwgeschiedenis niet goed te achterhalen of blijkt dat de bouw in fasen is verlopen, dat latere aan- of opbouwen hebben plaats gevonden. Bij dat soort gefaseerde uitgevoerde bebouwing is het niet uit te sluiten dat de werkelijke veiligheid laag is en de marge ten opzichte van het grensdragvermogen gering. De rijzing ten gevolge van de grondwaterstandsverhoging kan dan omslaan in zakking. Ten gevolge van een stijging van de grondwaterstand met 0,15 m kunnen in dit soort uitzonderlijke gevallen (veiligheidsfactor net groter dan 1) zakkingen in de orde van 10 mm optreden. De kans op schade is overigens ook dan nog uiterst gering.

In geval van een claim zal in ieder geval een zorgvuldig onderzoek moeten plaats vinden. Dat onderzoek zou van geval tot geval verschillend kunnen zijn en opgebouwd worden uit opeenvolgende stappen. Na elke stap kan worden besloten of een vervolg noodzakelijk is.

1. Nagaan of ter plaatse van het gebouw, als resultaat van bodemdaling door aardgaswinning en eventuele aanpassing van het boezem- of polderpeil daaraan, wijziging van de drooglegging (afstand tussen maaiveld en peil) is opgetreden. Bij afname van de drooglegging wordt verdergegaan met stap 2, bij toename van de drooglegging wordt getoetst aan het rapport "Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband aardgaswinning in Groningen" (zie onder 2 in deze literatuurstudie) .
2. Nagaan of in de historie van het gebouw aanwijzingen liggen dat de fundering een zeer lage veiligheid heeft tegen bezwijken. Voorbeelden hiervan zijn o.a. (zwaardere) nieuwbouw op bestaande fundering en toename van belastingen door verbouwingen enz. Als blijkt dat een zeer lage veiligheid tegen bezwijken kan bestaan voor het betreffende gebouw, wordt in de volgende stap de veiligheid bepaald.
3. In deze stap dient de veiligheid te worden bepaald (stap 3a) en dient te worden nagegaan of de grondwaterstand t.g.v. de bodemdaling door aardgaswinning (relatief) is verhoogd (stap 3b). Tot nu toe is alleen gekeken naar de drooglegging. Afname van de van de drooglegging hoeft niet te betekenen dat de grondwaterstand is verhoogd (stap 3b). De stappen 3a en 3b kunnen in volgorde worden omgewisseld.

3a. Bepalen veiligheid tegen bezwijken:-

- vaststellen van de belastingen op de fundering(en);
- vaststellen van de afmetingen van de fundering(en);
- vaststellen van de eigenschappen van de bodem ter plaatse met behulp van standaard onderzoek;
- berekening van het grensdragvermogen van de staalfundering conform NEN 6744.

3b. vaststellen van de situatie van het grondwater ter plaatse. Dit omvat tenminste het bepalen van de natuurlijke variatie van de grondwaterstand en de mate waarin de grondwaterstand is verhoogd.

4. Als de grondwaterstand is verhoogd en de veiligheid tegen bezwijken blijkt zeer laag te zijn (veiligheidsfactor 1,2 of minder), dan is het denkbaar dat de bodemdaling schade heeft veroorzaakt. De volgende stap dient om na te gaan in welke mate dit inderdaad het geval is.
 - nauwkeurig vaststellen van de eigenschappen van de bodem ter plaatse met behulp van boringen, laboratoriumonderzoek en plaatdrukproeven;
 - berekeningen met een geavanceerd numeriek model, waarin de vastgestelde eigenschappen van de bodem zo goed mogelijk worden geïmplementeerd en waarin de werkelijke grondwaterstandsverhoging ter plaatse wordt ingevoerd.

Hierna kan een definitieve evaluatie plaats vinden, waarin kan worden bepaald of en in welke mate de geclaimde schade het gevolg is van een verhoging van de grondwaterstand.

Volgnummer: 7	
Onderzoek:: Gebouwschade t.g.v. peilverhoging, Geocheck rap. 2000-005/B GW Rotterdam + woning	
Onderzoeker: Geodelft	
Nummer : CO-414940-009	Datum: januari 2005
Schadeoorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

In dit rapport beoordeelt Geodelft het rapport "Bodemdaling Groningen, Effecten peilverhoging op fundering op staal, Relatie afname draagvermogen en zakking fundering" van Gemeentewerken Rotterdam (zie onder 8 in deze literatuurstudie). Hierbij is ook gekeken naar de artikelen van Prof. dr. ir. A. Verruijt die de aanleiding vormde voor het onderzoek naar de effecten van peilverhoging op staal gefundeerde gebouwen. Verder wordt de door GW Rotterdam voorgeschreven procedure toegepast op een woning in Noord-Groningen.

Samenvatting

Zowel op basis van de oorspronkelijke artikelen van Verruijt als het rapport van Gemeentewerken Rotterdam trekt Geodelft de volgende conclusies:

- ten gevolge van een relatieve peilstijging kan reductie van de draagkracht van een staalfundering optreden en daardoor een toename van de zettingen plaatsvinden
- alleen in zeer bijzondere gevallen zal dit tot schade leiden; het betreft dan: funderingen die vrijwel tot de uiterste draagkracht zijn belast, waarbij de grondwaterstand juist onder, op of boven het funderingsniveau staat.
Hierbij moet worden bedacht dat een fundering die vrijwel tot de draagkracht is belast daardoor al relatief grote vervormingen heeft ondergaan.
- de extra zakkingen die optreden ten gevolge van een peilstijging zijn maximaal ongeveer gelijk aan de helft van de peilstijging
- het is aan te bevelen om eerst andere, vaker voorkomende, oorzaken van schade uit te sluiten zoals:
 - niet uniforme verandering van de grondwaterstand (denk aan sloten met verschillende peilen, maar ook lokale begroeiing zoals grote bomen, kapotte rioolleidingen, gedempte greppels/sloten etc.).
 - niet uniforme bodemgesteldheid en of belasting
 - verschillende constructieperiode van diverse delen van het gebouw
 - verschillende funderingseigenschappen van diverse delen van het gebouw (bijv. aanlegbreedte en/of diepte).

Aandacht verdient verder het al dan niet voorkomen van kruipruimten en het mogelijke effect dat de sterkte van de grond afneemt in de zone die volledig verzadigd geraakt.

In het onderzoek van Geodelft is tevens de procedure voor het bepalen van schade door grondwaterstandstijging, die in het rapport van Gemeentewerken is aangegeven, toegepast op een woning waar schade is opgetreden. Het betreft een historische pand in Noord-Groningen. Bij de betreffende woningen is met name schade ontstaan tussen het voorste en het achterste deel van de woning. Bij de aansluiting van beide delen is een verticale scheur ontstaan die naar boven steeds wijder wordt.

Aan de betreffende woning is uitgebreid onderzoek verricht naar :

- het schadebeeld
- de fundering
- de lokale bodemopbouw en de bodemeigenschappen
- ongelijkmatige zettingen door waterpassing van de vloeren en een lintvoegwaterpassing
- het verloop van de grondwaterstand

Op basis van de verzamelde gegevens is het aannemelijk dat de woning in totaal een zetting van 0,1 tot 0,2 m heeft ondergaan. Om de invloed van grondwaterstandverhoging op de zetting te bepalen zijn berekeningen uitgevoerd met de grondmechanische modellen NEN en Plaxis. Uit de berekeningen met NEN komt naar voren dat de fundering een aanzienlijke reserve bezit ten opzicht van bezwijken

Ook uit de berekeningen met Plaxis blijkt dat de fundering voldoende sterkte bezit om een relatieve grondwaterstijging van 0,13 m te kunnen opnemen. Het opgetreden vervormingspatroon kan op basis van de beschikbare gegevens niet geheel verklaard worden.

Op basis van de verzamelde gegevens en de modelberekeningen komt Geodelft tot de volgende conclusies:

- het zakking/schadebeeld aan de woning komt overeen met dat van een in meerdere fasen gebouwde woning
- ter plaatse van diverse delen van de woning is een verschil in bodemgesteldheid aanwezig dat bijdraagt aan het optredende vervormingsbeeld: de bodemgesteldheid ter plaatse van het achterhuis is onder de fundering wat slapper dan ter plaatse van het voorhuis. Dat betekent dat daar in principe, voor gelijke omstandigheden, wat meer vervorming te verwachten valt.
- de fundering ter plaatse van het achterste deel van de woning is ongelijk aan dat van het voorste deel van de woning. De funderingsbreedte is hier 0,86 m bij een funderingsdiepte van 0,62 m -maaiveld terwijl die waarden voor het voorhuis respectievelijk 0,86 m en 0,75 m zijn. Een lagere aanlegdiepte resulteert, bij gelijke breedte van de fundering, in een lagere draagkracht. In dit geval wordt dit echter gecompenseerd doordat de belasting ter plaatse van het achterhuis ook lager is.
- Het grondwaterpeil ter plaatse van de woning bevindt zich op ongeveer NAP -0,77 m. (= 1,32 m onder maaiveld)
- Gebaseerd op dit alles wordt de conclusie getrokken dat de optredende schade niet te wijten is aan een relatieve peilstijging van het grondwater maar veroorzaakt wordt door de andere oorzaken.

De algemene conclusie van Geodelft is dat het rapport van gemeentewerken Rotterdam een goede basis vormt voor het analyseren van het effect van grondwaterspiegelstijgingen. De gepresenteerde procedure van aanpak is, met enkele kleine wijzigingen, goed toepasbaar. Voor de woning volgt uit het onderzoek dat de opgetreden schade niet kan worden toegeschreven aan een relatieve peilstijging van het grondwater.

Volgnummer: 8	
Onderzoek: : Onderzoek effecten peilverlaging Oude Pekela	
Onderzoeker: Geodelft	
Nummer : 414942-0012 02 definitief	Datum: Oktober 2007
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

In het onderzoek peilverlaging Oude Pekela is in opdracht van de Commissie Bodemdaling door gaswinning de kans bepaald op schade voor een deel van Oude Pekela bij een peilverlaging van 0,15 m in het Pekeler Hoofddiep. In de samenvatting in deze literatuurstudie is gebruik gemaakt van delen van de publieksvriendelijke samenvatting. De conclusies zijn rechtstreeks overgenomen uit het rapport.

Samenvatting

Het peil op het Eemskanaal en het Winschoterdiep wordt stapsgewijs verlaagd waarbij het uitgangspunt is dat de bodemdaling door aardgaswinning nabij de stad Groningen zoveel mogelijk wordt gevolgd. Het Pekeler Hoofddiep, dat door Oude Pekela loopt, staat in open verbinding met het Winschoterdiep zodat ook hier het waterpeil wordt verlaagd. Nabij de Oude Pekela daalt de bodem minder dan bij de stad Groningen. Hierdoor daalt het waterpeil in Oude Pekela op termijn 0,15 m meer dan de bodem. Er is sprake van een zogenaamde relatieve peilverlaging van 0,15 m.

De onderzoekers hebben zich gericht op een klein overzichtelijk gebied, te weten een deel van Oude Pekela waar de bebouwing grenst aan het Pekeler Hoofddiep. In dit gebied zijn veel woningen aanwezig met schade. Het betreft onder meer bolle voorgevels, voorgevels die los staan van de zijgevels en getrapt verlopende scheuren in de zijgevels. Allemaal schadegevallen die wijzen op de grootste zakking aan de kant van de woning die het verst afligt van het kanaal. Om deze schade te kunnen verklaren hebben de onderzoekers eerst een terreinverkenning gemaakt. Zo hebben ze gekeken naar de bodemdaling door de gaswinning zelf. Deze blijkt in Oude Pekela ongeveer twee centimeter te bedragen. Verder hebben ze de effecten van grootschalige grondwateronttrekking in het verleden bekeken, evenals de effecten van natte en droge jaren en wisselende peilen in het kanaal. Al deze lokale verschijnselen lijken slechts een geringe rol te spelen bij het ontstaan van schade. De bodemdaling door gaswinning verloopt bijvoorbeeld heel geleidelijk en vertoont lokaal geen grote verschillen. Daardoor kunnen gebouwen deze bodembewegingen volgen zonder dat er schade ontstaat.

Na de terreinverkenning heeft Deltares op drie plekken in Oude Pekela haaks op het kanaal grondonderzoek uitgevoerd. Dat hebben ze gedaan bij twee panden met relatief veel schade - waarbij ze vermoedden dat het ene pand op relatief stevige en het andere op relatief slappe grond was gebouwd - en bij een pand met nauwelijks schade. Bij deze panden hebben ze ook peilbuizen in de grond aangebracht om de grondwaterstanden te kunnen volgen. Vervolgens hebben de onderzoekers de fundering van de drie panden aan zowel de straatzijde als de achterkant van de woning blootgelegd. Dat leverde verrassende informatie op. Zo wees het grondonderzoek bij het pand met geringe schade op een relatief slechte ondergrond.

Dat dit pand desondanks vrijwel geen schade vertoont, heeft te maken met de kwalitatief goede fundering en de bodemverbetering die hier is toegepast. Zo is bij dit pand de slechte grond weggehaald en vervangen door zand voordat de fundering is gemaakt.

De twee panden met relatief veel schade hebben beide een matige fundering. Het pand op de slechte grond, een veenlaag van twee meter dik, is aan de voorzijde op staal gefundeerd en aan de achterzijde op kleine handgemaakte betonnen paaltjes. Deze paaltjes zijn meer verzakt dan de gemetselde fundering aan de voorzijde van het pand waardoor er scheuren in de gevels zijn ontstaan. Bij het andere pand, dat op steviger grond staat, is niet alleen de fundering slecht gemetseld maar is ook niet alle slappe grond onder de fundering vervangen door zand.

De grondwaterstandverandering als gevolg van de peilverlaging is berekend met behulp van een 2 dimensionaal grondwatermodel. Dit model is gebaseerd op de verzamelde gegevens m.b.t. de bodemopbouw en geijkt aan de gemeten grondwaterstanden. Uit de berekeningen blijkt dat bij een peilverlaging van 15 cm in het Pekeler Hoofddiep de grondwaterstand onder de geanalyseerde woningen ca. 4 cm wordt verlaagd.

Uit het onderzoek naar de drie panden blijkt dat voor de onderzochte panden geldt dat de aanwezige schade sterk samenhangt met de lokale ondergrond, het wel of niet toepassen van bodemverbetering en de kwaliteit en manier van funderen. Dat betekent dat schadegevallen eigenlijk alleen goed kunnen worden beoordeeld door ze van geval tot geval te bekijken. Om toch uitspraken te kunnen doen over de effecten van een peilverlaging voor een groter gebied heeft Deltares een model ontwikkeld waarmee de kans op schade aan bebouwing kan worden berekend. Uitgangspunt van dit model is dat schade ontstaat als de verschillende delen van een gebouw ongelijk verzakken. Dan komen er spanningen in het gebouw en kunnen er scheuren in gevels ontstaan. Het aantrekkelijke van het model is dat er niet alleen de kans op schade mee kan worden berekend, maar ook de kans dat bestaande schade verergert.

Om de betrouwbaarheid van de berekeningen te verifiëren is een toetsing van het rekenmodel uitgevoerd. De met het rekenmodel berekende schade beeld moet zoveel mogelijk overeenkomen met het huidige schadebeeld.

Met het model heeft Deltares berekeningen gemaakt voor het betreffende gebied langs het Pekeler Hoofddiep. Eerst hebben de onderzoekers de panden in het gebied ingedeeld in een aantal, zowel nationaal als internationaal erkende, schadeklassen. Vervolgens hebben ze het effect berekend van een relatieve peilverlaging van 15 centimeter. Hierbij hebben ze voor vijf factoren die van invloed zijn op de zakking van een gebouw door een peilverlaging - denk aan de afstand tot de sloot waarin het peil wordt verlaagd, de sterkte van de ondergrond en de kwaliteit van de fundering - steeds een hoge, een gemiddelde en een lage waarde gebruikt in de berekeningen. Uit de berekeningen blijkt dat de kans op schade door een relatieve peilverlaging van 15 centimeter in het algemeen verwaarloosbaar is. Alleen bij op staal gefundeerde panden die nu al veel schade hebben kan mogelijk wat extra schade ontstaan.

Volgens onderzoeker Jaap Bijngate van Deltares is deze uitkomst achteraf gezien niet vreemd. "Grond die onder het grondwaterniveau zit ondervindt een opwaartse kracht: de grond wordt door het water als het ware een beetje opgetild. Verlaag je het grondwaterpeil met vijf centimeter, dan ondervindt vijf centimeter grond deze opwaartse kracht niet meer. Gevolg is dat dit laagje grond iets harder op de onderliggende grond gaat drukken. De toename van deze druk is echter heel beperkt. Zo levert het betegelen van de bestaande slappe grond ongeveer evenveel extra druk op als een verlaging van de grondwaterstand met 12,5 cm. Als de slappe grond onder de tegels wordt vervangen door een laag zand is de extra druk nog aanzienlijk groter.

Aangezien uit de praktijk niet bekend is dat bij dit soort veranderingen schade ontstaat, is niet te verwachten dat een druktoename die veel kleiner is wel tot schade leidt.”

Conclusies

Het onderzoek naar de gevolgen van het toepassen van een polderpeilverlaging in het Pekeler Hoofddiep heeft de volgende conclusies opgeleverd:

- bij een relatief groot aantal woningen in Oude Pekela is in de huidige situatie sprake van duidelijke schade aan de panden;
- het schade beeld komt overeen met woningen die aan de achterzijde, dat wil zeggen de zijde die het verst verwijderd is van de kade, de meeste zakking vertonen. Dit uit zich onder meer in getrappt verlopende scheuren in de zijmuren van de panden alsmede in horizontaal lopende scheuren in de voorgevel en los staande/los gescheurde voorgevels.
- In het algemeen is sprake van staalfunderingen aangebracht op een grondverbetering bestaande uit in een sleuf aangebracht zand.
- De fundering van woningen kan sterk afwijken van wat op basis van bekende gegevens kan worden verwacht. In dit geval betrof
 - het aanwezig zijn van een, gedurende de gebruiksperiode van het pand, aangebrachte paalfundering;
 - toepassing van verschillende funderingsniveaus;
 - plaatselijk toepassen van funderingsbogen;
 - toepassen van verschillende dikten van grondverbetering onder de staalfunderingen.
- De verhouding tussen de maaiveldzakking en de zakking van de fundering kan sterk afwijken van een normale verhouding ten gevolge van de aanwezigheid van een grondverbetering.
- Een goede fundering op een goed uitgevoerde grondverbetering resulteert in een pand met nagenoeg geen schade.
- Heterogene funderingen komen voor, met name paalfunderingen gemaakt als kleine pulspalen.
- Er is sprake van een relatieve peilverlaging van maximaal 60 mm in 2009. Het effect van de peilverlaging op de grondwaterstanden ter plaatse van de woningen is beperkt (circa een vijfde tot kwart van de relatieve peilverlaging in de vaart).
- Uit de beschikbare meetgegevens van het peil in het Pekeler Hoofddiep blijkt dat de huidige peilaanpassing zeker niet hoger is dan was voorzien. Er lijkt eerder sprake te zijn van een wat geringere peilverlaging.
- Rekentechnisch draagt de bodemdaling ten gevolge van gaswinning niet bij aan het ontstaan van schade. De variatie in de zakking en daardoor de optredende hellingen van de woningen zijn daarvoor te klein. Dit geldt ook als die hellingen worden gecombineerd met overige effecten zoals de zakking van de fundering ander invloed van het eigen gewicht van de woningen en de voorgenomen peilverlaging.
- Het is onbekend, en in het kader van dit onderzoek ook niet te achterhalen, hoe groot de autonome bodemdaling door klink en oxidatie van organisch bodemmateriaal (o.a. veen) is. De grootte van deze autonome bodemdaling en de ruimtelijke spreiding daarvan bepalen echter in hoge mate de kans op schade. Het effect van andere zaken zoals de zakking van de fundering zelf en een peilverlaging wordt, bij een grote autonome bodemdaling, nagenoeg volledig overschaduwd door de effecten van de autonome bodemdaling.
- Ook bij het ontbreken van een autonome bodemdalingscomponent draagt de voorgenomen peilverandering, rekentechnisch, in het algemeen niet bij aan het optreden van schade aan de woningen. Dit wordt onder meer veroorzaakt door de remmende werking van de oeverbescherming en de intreeweerstand van de kanaalbodem. Daarnaast is er in het verleden sprake geweest van veel grotere grondwateronttrekkingen door (strokarton)industrie en is bij het vervangen van de kadeconstructie in de jaren tachtig van de vorige eeuw een zandpakket aangebracht onder de weg. Dit zandpakket zorgt voor een betere infiltratie van water vanaf de kade. Het gevolg is dat ter plaatse van de huizen in de huidige situatie sprake is van hogere grondwaterstanden dan in het verleden het geval was.

- Alleen in extreme gevallen waarbij bijvoorbeeld het achterste deel van de woning een stijve fundering heeft en de voorkant een slappe fundering op samendrukbare lagen zal er sprake zijn relevante zettingsverschillen tussen de voor- en de achterkant van de woning. In een dergelijk geval zal echter ook vrijwel altijd in de huidige situatie al sprake zijn van aanzienlijke schade. De extra schade ten gevolge van de peilverlaging zal dan ook in dergelijke gevallen beperkt zijn.
- Rekentechnisch kan de geconstateerde schade voor de onderzochte gevallen worden verklaard met beschikbare, gangbare, rekenmethoden.
- De afgeleide eenvoudige statistische analyse lijkt voor dit gebied reële resultaten op te leveren.

Eindconclusie

Het toepassen van de voorgenomen peilverlaging in het Pekeler Hoofddiep zal niet, of in verwaarloosbare mate, resulteren in een toename van schade aan panden in het onderzochte gebied grenzend aan het Pekeler Hoofddiep. Ook bij een absolute peilverlaging van 0,20 m (0,15 m relatief) wordt een verwaarloosbare toename van de kans op lichte schade berekend.

Volgnummer: 9	
Onderzoek: : Transparantie effecten Zoutwinning Fryslân	
Onderzoekers: Alterra en instituut voor Agrarisch Recht	
Nummer : 1264/01/2006	Datum: 2006
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

De zoutwinning ten noorden van Harlingen in de provincie Fryslân veroorzaakt bodemdaling, heeft effecten op de zoute kwel en zorgt voor maatschappelijke onrust. Naar de mogelijke effecten van de zoutwinning is in het recente verleden veel onderzoek verricht, maar er bestaat onduidelijkheid over de kwaliteit van dit onderzoek. Provinciale Staten van de provincie Fryslân hebben Alterra verzocht de bestaande onderzoeksresultaten te beoordelen aan de hand van 34 vragen rond de thema's waterhuishouding/verzilting, bodemdaling en schaderegeling. Op deze vragen zijn de commentaren van de voornaamste betrokkenen weergegeven, gevolgd door analyses van Alterra en het Instituut voor Agrarisch Recht (IAR) te Wageningen.

De vragen hebben betrekking op 3 thema's:

1. Aanpassen waterhuishouding / verzilting
2. Bodemdaling
3. Schadefonds / schaderegeling/ werking Tcbb

In deze literatuurstudie zijn alleen de vragen opgenomen die betrekking hebben op het thema 2: peilverlaging. De vragen van thema 1 hebben met name betrekking op verzilting. Dit speelt niet in het bodemdalingsgebied van Nedmag omdat hier tot op grote diepte zoet grondwater voorkomt. Ook de vragen van thema 3 m.b.t. de afwikkeling van schade vallen buiten de scope van dit literatuuronderzoek.

Vragen thema 2: bodemdaling

De antwoorden op de elf gestelde vragen m.b.t. thema 2 bodemdaling en daaraan gerelateerde zaken zijn hier samengevat.

Wat is de invloed van het (snellere) tempo van de bodemdaling en wat zijn de gevolgen hiervan in al zijn aspecten?

Naar aanleiding van deze vraag is uitgebreid gediscussieerd over vermeende schade aan huizen en rioolpersleidingen, het vertraagd doorvoeren van peilaanpassingen en dergelijke. De meningen zijn echter sterk verdeeld en het is bijzonder lastig gebleken te bewijzen dat geclaimde schades te wijten zijn aan de effecten van de zoutwinning.

Hoe is de monitoring van de bodemdaling geregeld en is dit voldoende (aantal meetpunten) en voldoende betrouwbaar?

De monitoring is goed geregeld en voldoende betrouwbaar gebleken.

In Barradeel I is de zoutwinning gestopt; is daarmee de bodemdaling ook volledig tot stilstand gekomen?

De bodemdaling lijkt nagenoeg tot stilstand te zijn gekomen, maar nog niet volledig; voortzetting van de metingen zal uitsluitend moeten geven.

Zo nee, welk naijleffect kan verwacht worden, zonder rekening te houden met evt. cumulatie van Barradeel II en door wel rekening te houden met evt. cumulatie van Barradeel II?

Sowieso zal sprake zijn van zogenaamde rebound (=terugverende bodemdaling in het centrum van de dalingskom). Door deze rebound kan in het centrum van de winning enige bodemstijging plaatsvinden, en is over enkele decennia een zekere spreiding van de dalingskom te verwachten. Verwacht wordt dat het gebied met bodemdaling groter wordt en dat buiten het centrum een kleine extra daling optreedt. De gecombineerde bodemdaling van twee dalingskommen is echter wel groter dan het effect van twee dalingskommen afzonderlijk. Theoretische prognoseberekningen tonen een extra daling van 2 cm, veroorzaakt door de maximaal toegestane winning in Barradeel II.

Wat zijn de voorwaarden aangaande het (na)zakken van de bodem op lange termijn?

'Voorwaarden' moeten worden gelezen als 'bepalende factoren'. Op de lange termijn speelt de natuurlijke, autonome bodemdaling in Fryslân, die in Noordwest-Fryslân volgens betrouwbare schattingen in 2050 maximaal 20 cm zal bedragen. Daarnaast is de mate van rebound, waarbij het zout in de diepe ondergrond wordt herverdeeld en waardoor in de randgebieden van de ontginningspunten een geringe bodemdaling optreedt, de belangrijkste bepalende factor betreffende het nazakken van de bodem. Dit effect is per definitie eindig, immers op een bepaald tijdstip is het zout herverdeeld. Het reboundeffect zal moeten worden gemonitord om de prognose te toetsen aan de werkelijkheid en om deze eventueel bij te stellen.

Er wordt gesproken over landerijen die 25 cm scheef verzakt zijn en woningen die op de ene zijde 2 cm meer verzakt zijn dan op de andere. Kunnen, bij een zoutwinning op 3 km diepte, aan de oppervlakte dergelijke gedetailleerde grondbewegingen plaats vinden?

Dat verschillen in zakking van de bodem van ca. 2 cm op een afstand van enkele tientallen meters of minder veroorzaakt zou kunnen worden door zoutwinningen moet uitgesloten worden geacht. Verschillen in zakkingen van 2 cm van woningen en de hierbij eventueel optredende schade kunnen daarom niet direct aan de effecten van zoutwinning worden toegeschreven. Indirect kunnen dergelijke bodemdalingen het gevolg zijn van verhoogde grondwaterstanden, in combinatie met statische belasting, veroorzaakt door het gewicht van gebouwen, maar alleen indien binnen eenzelfde gebouw sprake is verschillen in de constructie, en dus in de draagkracht van funderingen. Zulke verschillen binnen een fundering, die bijvoorbeeld kunnen zijn ontstaan bij ver-, en aanbouw van/aan bestaande woningen kunnen bij deze problematiek een belangrijke rol spelen. Het aantonen van causaliteit tussen grondwaterstandsverhogingen en ongelijke zakking van funderingen is overigens heel lastig.

Welke mate van klink kan veroorzaakt worden door uitdroging onder een woning (veroorzaakt door bijvoorbeeld een droge zomer of wijziging in peilbesluit waterschap)?

Bij uitdroging van grond kan beter van krimp en rijping worden gesproken in plaats van klink. In gebieden waar de grondwaterstand altijd vrij hoog is geweest, kan in de ondergrond halfgerijpte klei zitten. De dichtheid van ongerijpte of halfgerijpte kleien is laag; zulke gronden bevatten veel water. Indien zulke slecht gerijpte kleien uitdrogen en daardoor krimpen, kunnen afhankelijk van de dikte van de kleilaag en het lutumgehalte van de klei, de maaiveldalings vele centimeters tot decimeters bedragen. De krimp door rijping is voor een groot deel irreversibel. Ook gerijpte klei kan sterk krimpen (in de orde van centimeters). Veengronden kunnen nog veel meer water bevatten dan kleigronden en kunnen daarnaast nog oxideren. Woningen die niet op palen of 'op staal' (=draagkrachtige zandondergrond) zijn gefundeerd kunnen door rijping en krimp van de grond waarop ze zijn gefundeerd grote schade oplopen, vooral als de rijping en krimp plaatselijk sterke variatie vertonen.

Tijdens een droge zomer, of door de bewuste grondwaterstandverlagingen (verlagingen van polderpeilen) kunnen, tijdelijk en lokaal, grondwaterstands dalingen van enkele tientallen centimeters worden gerealiseerd, waarbij halfgerijpte kleilagen boven het grondwater komen. De hierdoor veroorzaakte maaiveld dalingen kunnen vele centimeters bedragen.

Welke gevolgen heeft het verlagen van het waterpeil op de terpen, de inhoud ervan en de bebouwing erop?

[1] Veel buurtschappen en dorpen in Fryslân zijn gebouwd op terpen. De gevolgen van waterpeilverlagingen voor terpen ligt voor een belangrijk deel aan de grond en het inhomogene ophoogmateriaal waaruit de terpen zijn opgebouwd. Een belangrijk deel zal vooral gerijpte of grotendeels gerijpte klei zijn. Deze klei kan echter ook flink krimpen bij droogte. Waterstandsverlaging kan dus tot gevolg hebben dat plaatselijk bomen dieper gaan wortelen en extra grote maaiveld dalingen veroorzaken. Waterschappen zullen door middel van inrichtings- en beheersmaatregelen bewaken dat de peilen van het oppervlaktewater in en rond bewoningscentra die op en nabij terpen zijn gelokaliseerd op de gewenste niveaus worden gehandhaafd. De zoutwinning heeft overigens tijdelijk geleid tot vernatting.

Onderzoek naar de validiteit van het afsluiten van cavernes onder zeer hoge druk in Barradeel I. Staatstoezicht op de Mijnen ziet wat dit betreft geen problemen. De uitvoering is niet experimenteel want er wordt gebruik gemaakt van een bewezen techniek. Om alles uit te sluiten is een 'worst case' beschouwd, waarbij de caverne wordt 'dichtgedrukt' en het pekelwater naar bovenliggende lagen wordt verdrongen. Volledig afsluiten van cavernes wordt onmogelijk geacht. Het pekelwater zou in dit geval in diepliggende lagen worden opgevangen en de bovengrond niet bereiken. Met de ervaringen uit de zoutwinning kan uit het volume van de caverne worden voorspeld hoeveel de bodem zal dalen: hooguit enkele centimeters op een termijn van honderden jaren. De consequenties van de zeer onwaarschijnlijke 'worst case' zijn dus naar verwachting zeer beperkt.

Wat zijn de juiste cijfers van de bodemdaling en hoe kunnen de verschillende cijfers (bijv. bij het huis achter Aeolus) worden verklaard?

Er zijn er geen redenen om te twijfelen aan de kwaliteit van de metingen. Naast waterpasmetingen wordt sinds mei 2004 met behulp van GPS de bodembeweging in het diepste punt in Barradeel I gemonitord, met een nauwkeurigheid van ± 2 mm. Deze metingen worden door de Adviesdienst Geo-Informatie en ICT (AGI) van Rijkswaterstaat getoetst; de resultaten van de metingen worden opgenomen in het NAP-register. Daarnaast is er toezicht van het Staatstoezicht op de Mijnen. Alterra beschikt over 'het huis achter Aeolus' niet over nadere gegevens. Dat de zoutwinning de verschillen in bodemdalingen rond het huis heeft veroorzaakt moet echter uitgesloten worden geacht.

Valt de gemeten huidige verzakking van de zeedijk binnen de vooraf berekende waarden en zo nee is verhaal van de extra schade mogelijk?

De huidige zakkingen van de zeedijk vallen binnen de vooraf berekende waarden. De waterpassing van 2004 toont een zakking van 7 cm bij de dijk, ruim binnen de richtwaarde van 10 cm. Wel moet bedacht worden dat in de toekomst mogelijk geringe bodemdaling in de randen van het gebied te verwachten is als gevolg van terugverende bodemdaling (rebound) in het centrum van de dalingskom. De metingen van de bodemdalingen ter plekke van de zeedijk moeten dus voorlopig doorgaan.

Volgnummer : 10	
Onderzoek: : Gebouwschade Loppersum	
Onderzoekers: Deltares en TNO-bouw	
Nummers : 1202097-000-BGS-0003 TNO-06-DTM-2011-02980	Data: februari 2011 9 september 2011
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	X
Gebouwschade door aardbevingen	X

Algemeen

Deltares en TNO-bouw hebben in opdracht van de provincie Groningen en de gemeente Loppersum onderzoek gedaan naar mogelijke schade aan gebouwen die kan ontstaan door aardbevingen. Ook is gekeken naar de relatie tussen bodemdaling en schade aan gebouwen. De hier opgenomen tekst is grotendeels overgenomen uit de publieksvriendelijke samenvatting

Samenvatting

Als gevolg van de gaswinning vinden regelmatig aardbevingen plaats in de omgeving van Loppersum. Onder de bewoners is onrust ontstaan over de kracht van toekomstige aardbevingen en de schade die deze aardbevingen kunnen veroorzaken. De provincie Groningen en de gemeente Loppersum hebben twee onderzoeken laten uitvoeren om de vragen van inwoners te beantwoorden. Deltares en TNO Bouw en Ondergrond voerden de onderzoeken uit. Een Stuurgroep begeleidde de onderzoeken. Een groep inwoners van Loppersum en omgeving vormden een klankbordgroep.

In het eerste onderzoek is gekeken naar de mogelijke schade aan gebouwen die kan ontstaan door aardbevingen. Ook is gekeken naar de relatie tussen bodemdaling en schade aan gebouwen. In het onderzoek is uitsluitend gebruik gemaakt van eerder uitgevoerd onderzoek. Voor de beschouwde onderzoeken is bekeken of gebruik is gemaakt van laatste stand van de techniek.

De gaswinning in Noord-Nederland veroorzaakt aardbevingen. Het aardgas zit ongeveer 3 kilometer diep in de bodem, in een poreuze zandsteenlaag. Door de gaswinning wordt deze zandsteenlaag heel langzaam in elkaar gedrukt en daardoor daalt de bodem langzaam. In de gashoudende zandsteenlaag zitten breuken. Op plekken waar de breuken zitten kan de bodem met een schok dalen. Men neemt aan dat dit de oorzaak van de aardbevingen is.

Het KNMI heeft bepaald dat de kracht van toekomstige aardbevingen in Noord-Nederland maximaal 3,9 op de schaal van Richter kan zijn. Dit wordt bepaald op basis van alle informatie die bekend is over aardbevingen in Nederland die zijn veroorzaakt door olie- en gaswinning. De krachtigste van deze aardbevingen vonden plaats in Bergermeer op 9 september 2001 en in Westeremden op 8 augustus 2006. Beide aardbevingen hadden een kracht van 3,5 op de schaal van Richter.

Het aantal aardbevingen verschilt per jaar en per regio. In een deel van Groningen nam het aantal aardbevingen toe. Voor Noord- Nederland als geheel is er geen duidelijke trend te zien in de totale energie die vrijkomt bij aardbevingen. De verwachting is dat er ten minste tot 2070 aardbevingen blijven voorkomen. De planning is dat in 2070 gestopt wordt met de gaswinning in het Groningen-veld.

Het is moeilijk om te voorspellen wat het effect van de krachtigste aardbeving van 3,9 op de schaal van Richter op gebouwen is. Bij de maximale beving komt 2,5 maal zoveel energie vrij als bij de sterkste beving tot nu toe (3,5 op de schaal van Richter). In het buitenland is er veel meer ervaring met het voorspellen van aardbevingsschade omdat aardbevingen daar al veel langer voorkomen. De methodes die in het buitenland worden toegepast zijn in Noord-Nederland niet goed bruikbaar. Dat komt bijvoorbeeld omdat de aardbevingen hier op slechts 3 km onder het aardoppervlak ontstaan (wat tamelijk ondiep is voor een aardbeving) en aardbevingen kort duren. Op basis van wat we nu weten kan door een aardbeving met een kracht van 3,9 op de schaal van Richter tot op ongeveer 15 km van het centrum van de beving schade ontstaan aan boerderijen. Voor nieuwbouwhuizen (na 1940) is dat ongeveer 5 km. Gezien de afstand kun je stellen dat nieuwbouwhuizen beter bestand zijn tegen de kracht die vrijkomt bij de aardbevingen. De schade die kan optreden bestaat over het algemeen uit scheurvorming in muren (lichte constructieve schade). In een beperkt aantal gevallen ontstaan ook diepe scheuren (matige constructieve schade). Het bezwijken van constructieve delen of het instorten van gebouwen wordt niet verwacht.

Door een aardbeving kan onder bepaalde omstandigheden ook verdichting van losgepakte zandige lagen ontstaan. Hierdoor kan ongelijkmatige zinking van de fundering optreden. Het is onduidelijk in hoeverre dit fenomeen in de praktijk ook daadwerkelijk optreedt.

Door gaswinning daalt de bodem in een groot gedeelte van de Provincie Groningen langzaam en gelijkmatig. De maximale bodemdaling bedraagt momenteel ongeveer 30 cm en treedt op in de omgeving van Loppersum. Uit de meest recente voorspellingen blijkt dat in 2070 de bodem waarschijnlijk maximaal 47 cm daalt. Doordat de bodem in een groot gebied langzaam en geleidelijk daalt, ontstaat hierdoor geen schade aan gebouwen.

Bodemdaling heeft wel gevolgen voor de waterhuishouding. Als er geen maatregelen worden getroffen, stijgt het waterpeil in sloten en kanalen. Om schade door vernatting te voorkomen zijn een groot aantal maatregelen genomen zoals het bouwen van nieuwe gemalen en het aanpassen van bestaande gemalen. De genomen maatregelen stellen de waterschappen in staat de waterpeilen aan te passen aan de opgetreden bodemdaling. In een aantal grotere watersystemen is het niet mogelijk om de waterpeilen aan te passen aan de bodemdaling omdat binnen deze watersystemen de daling niet overal even groot is. Hierdoor is op een aantal plaatsen sprake van een verhoging of verlaging van de waterpeilen. Op grond van bestaand onderzoek (zie onder 2, 4, 6, 7, 8 en 9 in deze literatuurstudie) is geen gebouwschade te verwachten door peilaanpassing in het kader van de bodemdaling door aardgaswinning.

Het tweede onderzoek gaat over een manier om te bepalen wat de oorzaak van schade aan een woning is. Er zijn meer dan 30 verschillende oorzaken bekend voor schade aan gebouwen. TNO Bouw en Ondergrond heeft een methode ontwikkeld waarmee kan worden bepaald waardoor schade aan gebouwen wordt veroorzaakt. Deze methode is toegepast op 5 woningen in Noord-Groningen. Bij alle vijf woningen bleek dat het verzakken van de fundering een belangrijke oorzaak van de schade was. Oudere gebouwen zijn vaak ondiep gefundeerd op slappe klei- en/of veenlagen en kunnen onder hun eigen gewicht wel 5 tot 15 cm zakken. Verder wordt schade veroorzaakt door verbouwingen en inwerking van het weer.

Schade door aardbevingen ontstaat op plaatsen waar de constructie al onder spanning staat (bijvoorbeeld door ongelijkmatige zinking van de fundering). Op plaatsen waar al eerder scheuren zijn ontstaan kunnen bestaande scheuren wijder worden. Schade door aardbevingen kan alleen kort na de beving worden vastgesteld, omdat de scheuren dan nog vers zijn. Vanwege de hoge kosten is de methode die door TNO Bouw en Ondergrond is toegepast om de oorzaken van gebouwschade te bepalen niet bruikbaar voor alle schadegevallen. Het schadebedrag is

vaak lager dan de kosten van het uitgebreide onderzoek. Daarom wordt er in veel gevallen gebruik gemaakt van standaardonderzoeken. Daarin wordt alleen gekeken of aardbevingen dan wel bodemdaling de oorzaak is van de schade.

Volgnummer: 11	
Onderzoek: : Raaien onderzoek Electraboezem 2^e schil	
Onderzoeker: Deltares	
Nummer : 1203377-000	Datum: november 2011
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	
Gebouwschade door peilverlaging	x
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

Deltares heeft in opdracht van de Commissie Bodemdaling door gaswinning onderzoek gedaan naar de effecten op bebouwing, van de peilverlaging op de 2^e schil van de Electraboezem.

Samenvatting

In de 2^e schil van de Electraboezem is in 2008 een peilverlaging van 14 cm doorgevoerd, om de bodemdaling ten gevolge van aardgaswinning te compenseren. Omdat in de 2^e schil de bodemdaling in 2008 varieert van 2 tot 18 cm is de bodemdaling niet overal exact gecompenseerd. In het westen van de 2^e schil waar de bodemdaling ca 2 cm bedraagt, is het waterpeil 12 cm verlaagd ten opzichte van het maaiveld (= relatieve peilverlaging). Als in de toekomst de bodemdaling toeneemt, zal de relatieve peilverlaging afnemen.

Omdat verandering van het peil van het oppervlaktewater ook een verandering van de grondwaterstand kan veroorzaken kan dit invloed hebben op bestaande bebouwing. Om een uitspraak te kunnen doen over het effect van een relatieve peilverandering zijn analyses uitgevoerd voor tien raaien in het Electraboezem gebied. Deze raaien zijn door Tauw in 6 woonkernen uitgezet waarbij peilbuizen zijn geïnstalleerd en gemonitord. Het betreft monitoring van zowel het niveau van het oppervlaktewater, als van het freatische en het diepe grondwater. Door de uitgevoerde boringen en sonderingen is de bodemopbouw ter plaatse in detail bekend.

Om de effecten van de relatieve peilverlaging op de grondwaterstand te berekenen is per raai een lokaal niet stationair grondwatermodel opgezet. Met deze grondwatermodellen kan de verandering van de grondwaterstand in de tijd nabij de boezemwatergangen in detail worden berekend. De modellen zijn geijkt aan de gemeten grondwaterstanden in zomerperiode van 2008. In de onderstaande tabel zijn berekende grondwaterstandverlagingen in een droge periode samengevat.

Berekende verlagingen v/h freatisch vlak bij 0,15 m boezempeilverlaging				
Raai	Afstand tot boezemwater m]			
	1	5	10	25
Winsum-Oost	0,11	0,06	0,03	0,003
Winsum-West	0,11	0,06	0,03	0,004
Warffum-Zuid	0,12	0,07	0,04	0,006
Warffum-Noord	0,12	0,07	0,04	0,006
Baflo-Oost	0,11	0,05	0,02	0,002
Baflo-W	0,10	0,05	0,02	0,002
Mensingeweer-Oost	0,12	0,08	0,05	0,013
Mensingeweer-West	0,12	0,08	0,05	0,012
Den Andel	0,13	0,09	0,06	0,02
Eenrum	0,13	0,09	0,06	0,02

Uit de berekeningen blijkt dat het invloedsgebied van de peilverlaging voor de onderzochte meetraaien relatief beperkt is. Op 25 m afstand van de boezem is meestal sprake van een verlaging van enkele millimeters tot maximaal 2 centimeter.

De kans op zettingen is bepaald met dezelfde statistische methode als in het onderzoek naar het effect van een peilverlaging in Oude Pekela (zie onder 6 in deze literatuurstudie). Voor het bepalen van de kans op schade zijn de volgende factoren van invloed.

1. De grootte van de peilverlaging.
2. De afstand van het gebouw tot het water waarin de peilverlaging optreedt.
3. De intreeweerstand van de waterbodem.
4. De doorlatendheid van de bodem tussen het water en het gebouw.
5. De stijfheid van de bodem (samendrukbaarheid).
6. De kwaliteit van de fundering van het gebouw.

Met behulp van de statistische methode is de toelaatbaarheid van 0,05, 0,10 en 0,15 m een relatieve peilverlaging bepaald. Hieruit komt naar voren dat het effect van een relatieve peilverlaging van 0,15 m praktisch gezien verwaarloosbaar is voor wat betreft het optreden van extra schade aan aanwezige bebouwing. Geconcludeerd wordt dat de onderzochte relatieve peilverlagingen van 0,05 tot 0,15 m als toelaatbaar kunnen worden beschouwd.

Dit resultaat is aannemelijk wanneer bedacht wordt dat:

- De variatie tussen winter en zomer niveau van de grondwaterstanden, gebaseerd op metingen van de 10 raaien, in de situatie voor de peilverlaging, afhankelijk van de locatie, al maximaal circa 0,7 tot 1,9 m is geweest. Dit is aanzienlijk meer dan de peilverlaging die 0,05-0,15 m bedraagt (en op enige afstand van de watergangen slechts gedeeltelijk doorwerkt in de grondwaterstanden).
- Het aanbrengen van een betegeling, bijvoorbeeld ten behoeve van een terras, een spanningstoename in de ondergrond kan veroorzaken van circa 1,2 kN/m² (uitgaand van een betonnen tegel met een dikte van circa 5 cm en het niet vervangen van aanwezige grond door zand). Dit komt overeen met spanningstoename die het gevolg is van een grondwaterstandsverlaging van circa 0,12 m. Uit ervaring is duidelijk dat dit in het algemeen niet leidt tot schade aan het gebouw waarbij het terras wordt aangelegd.

Gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde analyses wordt geconcludeerd dat het effect, op gebouwen, van een relatieve peilverlaging van 0,05 tot 0,15 m een gebied betreft met een beperkte breedte. Het gebied dat wordt beïnvloed ligt binnen 25 tot maximaal 40 m afstand van

de boezem waarin de peilverlaging wordt aangebracht. Zelfs binnen deze smalle strook is het effect in de meeste gevallen, praktisch gezien, verwaarloosbaar voor wat betreft het optreden van extra schade aan aanwezige bebouwing.

Mogelijke uitzonderingen, waaraan in voorkomende gevallen aandacht moet worden besteed, zijn:

- Gebouwen met gemengde funderingen; bijvoorbeeld gebouwen die gedeeltelijk op palen en gedeeltelijk ondiep op een strook gefundeerd zijn. Vaak zullen dit soort gebouwen al schade hebben. De toename van de kans op schade, of de schade zelf, is dan navenant groter.
- Gebouwen met houten paalfunderingen waarbij het hout komt droog te vallen.

Op basis van de beschreven schadeverwachting worden relatieve peilverlagingen van 0,05 tot 0,15 m toelaatbaar geacht aangezien die, praktisch gezien, resulteren in een verwaarloosbare toename van de kans op schade voor op staal gefundeerde gebouwen.

Volgnummer: 12	
Onderzoek : Stabiliteit peilmerken	
Onderzoeker: Commissie Bodemdaling	
Nummer :	Datum: 26 juni 2018
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

Naar aanleiding van de omkering van de bewijslast voor schade door gaswinning uit het Groningenveld en diverse vragen over ongelijkmatige bodemdaling heeft de Commissie besloten de werkwijze met betrekking tot het bepalen van de bodemdaling door gaswinning nader te beschouwen. De aandacht gaat hierbij met name uit naar zogenaamde instabiele peilmerken. Deze peilmerken worden om diverse redenen niet in beschouwing genomen bij het bepalen van bodemdaling door de gaswinning. De Commissie wil kunnen beoordelen of bij het bepalen van de bodemdaling door gaswinning op een correcte wijze wordt omgegaan met de stabiliteit van peilmerken.

Samenvatting

Bij leveren van bewijslast voor het niet ontstaan van gebouwschade a.g.v. bodemdaling door de gaswinning is de aanname m.b.t. stabiliteit van peilmerken een zwak punt. Er is namelijk sprake van een cirkelredenering:

- Vooraf wordt aangenomen dat *bodemdaling door gaswinning een gelijkmatige bodemdalingssnelheid veroorzaakt =>*
- *Peilmerken met een afwijkende bodemdalingssnelheid worden instabiel verondersteld en worden daarom niet meegenomen bij het vaststellen van de bodemdaling door gaswinning. =>*
- *Op grond van de stabiele peilmerken ontstaat als gevolg van de bodemdaling een gelijkmatige bodemdalingssnelheid.*

De problematiek m.b.t de stabiliteit van peilmerken wordt vanuit 2 richtingen benaderd:

1: Instabiliteit wordt veroorzaakt door andere oorzaken dan bodemdaling door gaswinning

Om te bepalen of de gehanteerde werkwijze m.b.t. stabiliteit van peilmerken correct is, is in eerste instantie onderzocht of instabiliteit van peilmerken wordt veroorzaakt door bodemdaling als gevolg van andere oorzaken dan de gaswinning. Hierbij wordt met name gedacht aan bodemdaling door ondiepe processen.

Onderzocht wordt of instabiliteit wordt veroorzaakt door andere oorzaken dan bodemdaling door gaswinning.

2: Gaswinning veroorzaakt gelijkmatige bodemdaling

Als redelijkerwijs aannemelijk kan worden gemaakt dat instabiliteit van peilmerken wordt veroorzaakt door andere oorzaken, kan nog niet worden uitgesloten dat bodemdaling door gaswinning hier ook aan bijdraagt. Om dit te kunnen uitsluiten moet aannemelijk worden gemaakt dat bodemdaling door gaswinning een gelijkmatige bodemdaling veroorzaakt.

Onderzocht wordt of gaswinning gelijkmatige dan wel ongelijkmatige bodemdaling veroorzaakt.

Per onderzoeksrichting worden 3 sporen gevolgd:

1: Instabiliteit wordt veroorzaakt door andere oorzaken dan bodemdaling door gaswinning

a. Fysische instabiliteit

In eerste instantie is gekeken naar instabiliteit met een fysische oorzaak. Hiervan is sprake als een peilmerk sneller daalt dan zijn omgeving omdat het bijvoorbeeld is bevestigd aan een object dat ondiep is gefundeerd op samendrukbare bodemlagen.

b. Historische instabiliteit

In 1991 is door NAM een uitgebreid onderzoek gedaan naar de stabiliteit van peilmerken in de periode vóór aanvang van de gaswinning. Hieruit bleek dat ook voor aanvang van de gaswinning een groot aantal peilmerken instabiel was. De resultaten van het onderzoek uit 1991 zijn vergeleken met de stabiliteitsanalyse uit het meetregister 2014.

c. Niet-fysische gronden voor instabiliteit

Het gaat hier met name over discontinuïteiten, identificatiefouten, waarnemingsfouten, verwerkingsfouten en het niet meenemen van peilmerken met een te korte meetreeks.

2: Gaswinning veroorzaakt gelijkmatige bodemdaling

a. Geomechanisch onderzoek

Met behulp van geomechanische rekenmodellen kan de bodemdaling als gevolg van gaswinning worden berekend. Ingegaan wordt op de gebruikte rekenmethodes, de aannames en resultaten.

b. Meetnetten in gebieden zonder ondiepe klei- en of veenlagen

In Groningen zijn veel peilmerken bevestigd aan gebouwen die ondiep gefundeerd zijn op slappe klei- en/of veenlagen. Deze peilmerken zijn mogelijk instabiel omdat ze niet alleen kunnen zakken door de gaswinning maar mogelijk ook door zetting en ondiepe bodemprocessen. In gebieden zonder klei- of veenlagen wordt de hoogtemeting niet of in ieder geval veel minder verstoord door ondiepe bodemdaling en kan de bodemdaling door gaswinning directer uit de metingen worden afgeleid. Hoogtemetingen in gebieden zonder slappe klei- en/of veenlagen geven dus een directer zicht op de gelijkmatigheid dan wel ongelijkmatigheid van de bodemdaling door gaswinning.

c. Bodemdaling op basis van diep / stabiel gefundeerde peilmerken

In het Groningse meetnet is een deel van de peilmerken bevestigd aan diep/stabiel gefundeerde objecten zoals viaducten en hoogspanningsmasten. Aangenomen mag worden dat deze objecten niet zakken door zetting en ondiepe bodemprocessen maar alleen door bodemdaling a.g.v. gaswinning. Bekeken is of de gemeten bodemdaling bij de diepgefundeerde peilmerken past binnen de gelijkmatige bodemdalingskom. Overigens peilmerken zakken ook in geringe mate als gevolg van middeldiepe compactie (zie paragraaf 2.1). De daling door middeldiepe compactie wordt door NAM toegerekend bodemdaling door gaswinning.

Hieronder zijn de belangrijkste conclusies van het onderzoek weergegeven. De conclusies zijn opgesplitst naar de 2 richtingen van waaruit de problematiek is benaderd:

1: Instabiliteit wordt veroorzaakt door andere oorzaken dan bodemdaling door gaswinning

- Een groot deel van de peilmerken in kaartblad 7B en 7G (zowel stabiel als instabiel) is bevestigd aan objecten met een ondiepe fundering op zettingsgevoelige bodemlagen. Bij al deze peilmerken kan sprake zijn van enige ondiepe bodemdaling.
- Voor het overgrote deel van de niet stabiel veronderstelde peilmerken is binnen het kader van dit onderzoek een bevredigende verklaring gevonden voor "instabiliteit".
- De belangrijkste oorzaak van afwijkend dalingsgedrag is dat peilmerken zijn bevestigd aan objecten die ondiep zijn gefundeerd op zettingsgevoelige lagen,
- In gebieden met een zandige ondergrond komen substantieel minder instabiele peilmerken voor dan in gebieden met ondiepe klei- en veenlagen. Dit is een aanwijzing dat ondiepe klei- en veenlagen een belangrijke reden zijn voor instabiliteit van peilmerken.
- Ondiepe bodemdaling en instabiliteit van peilmerken trad ook op bij een groot aantal peilmerken voor aanvang van de gaswinning
- Het grootste deel van de peilmerken die voor aanvang van de gaswinning niet stabiel waren, zijn ook tijdens de gaswinning niet stabiel.
- Er zijn redenen aan te geven waarom historisch instabiele peilmerken, stabiel worden en omgekeerd. Aan het vergelijken van de historische stabiliteit en de stabiliteit volgens het meetregister 2014 zijn geen algemene conclusies te verbinden. Per peilmerk is een aparte analyse nodig.
- Peilmerken kunnen om diverse niet fysische redenen niet-stabiel worden verondersteld. De werkwijze met betrekking tot het instabiel aanmerken van peilmerken om niet-fysische redenen kan nog sterk worden verbeterd.
- Door de huidige werkwijze is een deel van de gerapporteerde bodemdaling door gaswinning in werkelijkheid toe te schrijven aan ondiepe en middeldiepe bodemdaling. Uitgaande van de grens van 1,5 mm per jaar zoals gehanteerd bij het onderzoek naar historische stabiliteit zou dit in een periode van 50 jaar maximaal 8 cm kunnen zijn. Voor middeldiepe compactie zou dit maximaal 4 cm kunnen zijn.

Al met al zijn er zeer veel aanwijzingen dat fysische instabiliteit van peilmerken wordt veroorzaakt door ondiepe bodemprocessen. Daling van peilmerken door ondiepe bodemprocessen treedt op in het bodemdalingsgebied zowel voor als tijdens de gaswinningsperiode en ook elders in de lage delen van Nederland.

2: Gaswinning veroorzaakt gelijkmatige bodemdaling

- Alle gangbare geomechanische modellen berekenen gelijkmatige bodemdalingskommen met zeer geringe gradiënten. Ongelijkmatige bodemdaling (grote verschillen op korte afstand) worden nooit berekend.
- Uit de "Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen" komt naar voren dat het uitgesloten moet worden geacht dat een breuk vanuit het gashoudend gesteente tot aan de oppervlakte doorloopt.
- In het gashoudend gesteente is op breukvakken in de loop van de tijd een verzet opgetreden van tientallen meters. De breuken zijn echter niet zichtbaar aan maaiveld en het gas is niet via breuken naar het oppervlakte ontsnapt. Dit is o.a. het gevolg van de plastische eigenschappen van de bovenliggende zoutlaag
- Peilmerken die zijn bevestigd aan diep gefundeerde objecten zoals viaducten en hoogspanningsmasten worden niet beïnvloed door ondiepe bodemdalingsprocessen. De hoogtemetingen bij deze diep gefundeerde peilmerken bevestigen de door NAM afgeleide gelijkmatige bodemdalingskom.

Al met al zijn er voldoende aanwijzingen om er redelijkerwijs vanuit te gaan dat bodemdaling door gaswinning een gelijkmatige bodemdalingskom veroorzaakt. Uit het onderzoek komen geen aanwijzingen van het tegendeel.

Volgnummer: 13	
Onderzoek: : Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen	
Onderzoeker: TU Delft faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen	
Nummer : CM-2018-01 / C31H16	Datum: 11 juli 2018
Schadeoorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	X
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	X

Algemeen

De TU Delft heeft het onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in de provincie Groningen afgerond en gepubliceerd. Voor het onderzoek zijn 69 panden van uiteenlopende typen bestudeerd in negen gebieden in Groningen. Het betreft 6 gebieden buiten de voormalige aardbevingscontour in de omgeving van Ulrum, Grijpskerk, Groningen, Veendam, Winschoten, Woldendorp en 3 gebieden binnen de contour in de omgeving van Bedum, Slochteren en 't Zandt. Eigenaren van panden deden op vrijwillige basis mee aan het onderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Nationaal Coördinator Groningen (NCG).

De 69 onderzochte panden bevatten in totaal ruim 2400 schades. Doel van het onderzoek was om inzicht te krijgen in de oorzaken die ten grondslag liggen aan gebouwschade in de provincie.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek

Aantal, mate en type schade is afhankelijk van bouwtype, bouwjaar en ligging t.o.v. epicentra

Het aantal schades, de mate van schade (scheurwijdte) het type schade (scheurtype) en de locatie van schade (binnen- of buitenzijde van het gebouw) heeft een verband met het bouwtype en met de bouwjaarklasse:

- Wanneer onderscheid wordt gemaakt naar bouwjaarklasse, zijn er in alle vier gehanteerde bouwjaarklassen gemiddeld meer schades per pand in gebieden op kleine afstand tot de epicentra van zware bevingen dan in de gebieden op grote afstand tot de epicentra.
- Panden van na 1970 blijken relatief meer schade aan de binnenzijde van de woning te hebben dan aan de buitenzijde. Dit verschil wordt ook aangetroffen bij twee-onder-een-kap woningen. Dit houdt verband met de constructiewijze van deze (veelal) nieuwere panden en houdt geen verband met hun ligging ten opzichte van de epicentra.
- Panden van voor 1940 vertonen in de regel meer schades dan panden van na 1940. Boerderijen (woonhuis inclusief de daaraan gekoppelde schuur) vertonen in de regel meer schades dan vrijstaande woningen en twee-onder-een-kap woningen, hetgeen verklaarbaar is vanwege de grotere omvang van boerderijen.

De oorzaak van het optreden van de schade kan bij ongeveer 70 % van de schades worden vastgesteld

In gemiddeld 70 % van de schades kon op basis van beschikbare schadeopname rapporten een best verklarend scenario worden geformuleerd. In de overige gevallen waren er te veel opties of was de kwaliteit van de informatie over de schade onvoldoende om tot een oordeel te komen. Deze score geeft een inzicht in de mate waarin op basis van schadeopname rapporten tot een uitspraak over de causaliteit kan worden gekomen. Nader onderzoek aan het schadeobject zou deze score nog kunnen verbeteren.

Toerekening van aandeel van oorzaken aan schade is slechts indicatief mogelijk

In deze studie is het begrip (technische) toerekenbaarheid gehanteerd. De toerekenbaarheid van de schade betreft het aandeel van een oorzaak in de spanningen of rekken van een bouwdeel of constructiedeel, wanneer de schade is ontstaan. Een nauwkeurige kwantitatieve vaststelling hiervan blijkt binnen het proces van de beoordeling niet mogelijk te zijn. Dit is te bewerkelijk en er blijven te veel onzekerheden. Over de technische toerekenbaarheid kunnen daarom alleen indicatieve en kwalitatieve uitspraken worden gedaan.

Gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen vormen voornaamste bestanddeel in de scenario's

De mogelijke oorzaken van schade zijn in drie hoofdcategorieën onderverdeeld: 1) gebouwgebonden oorzaken, 2) bevingen en 3) ongelijkmatige zettingen. De meerderheid van de schades heeft een best verklarend scenario, waarin gebouwgebonden oorzaken en zettingsverschillen als oorzaken voorkomen. Veel van de best verklarende scenario's voor het ontstaan van de schade in de onderzochte panden bevatten ook de bevingen als medeoorzaak.

Gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen zijn in termen van technische toerekenbaarheid de belangrijkste schadeoorzaken, gezien over alle schades bij de onderzochte panden. Het aandeel van gebouwgebonden oorzaken en ongelijkmatige zettingen in de spanningen die tot schade leiden is voor beide typen oorzaken *middelmatig* (middelmatig betekent een orde van grootte tussen 33 % en 66 %). Trillingen door bevingen hebben bij de onderzochte panden een kleiner aandeel.

Indien naar gebouwtype of bouwjaarklasse wordt gekeken, wijken alleen 'Twee onder één kap woningen' en gebouwen van na 1970 van dit beeld af: de toerekening van de schade aan zettingen is hier aanzienlijk geringer en wordt als klein gekwalificeerd (orde van grootte 10 % tot 33 %). Gebouwen van na 1970 zijn mede op basis van beter grondonderzoek beter gefundeerd.

Gebouwgebonden oorzaken zijn niet specifiek voor de onderzochte panden of voor de provincie Groningen

Gebouwgebonden oorzaken zijn die oorzaken, die uitsluitend samenhangen met het gebouw, de geometrie, de toegepaste bouwmaterialen en constructiewijzen en met de krachtswerking in het gebouw en staan los van de lokale situatie. Deze bevinding over de mate van toerekenbaarheid aan gebouwgebonden oorzaken heeft brede geldigheid voor gebouwen in de provincie Groningen.

Zettingen en zettingsverschillen zijn sterk bepaald door specifieke lokale omstandigheden

Zettingen en zettingsverschillen kennen een breed spectrum van achterliggende of dieper liggende oorzaken, die worden bepaald door lokale omstandigheden.

- Gebouw en fundering: in vrijwel alle onderzochte gevallen is de situatie van de fundering in combinatie met de lokale ondiepe ondergrond de belangrijkste factor bij het ontstaan van zettingen en zettingsverschillen. Voor de verklaring van de bouwkundige schade speelt deze oorzaak een grote rol. De meeste onderzochte panden staan niet op palen en zijn zgn. 'op staal' gefundeerd. Dan speelt het ontwerp van de fundering een rol, de eigenschappen van de bodem en ook de grondwaterstand en het vochtgehalte van het bodemmateriaal. Ook de ligging van panden op een talud of op de rand van een wierde heeft invloed op zettingen en zettingsverschillen.

- Diepe bodemdaling: deze speelt geen rol bij het ontstaan van schade door zettingen in de onderzochte gevallen, althans niet in termen van door de bodemdaling veroorzaakte hellingen, krommingen en rekken in de bodem en in een gebouw. Dit geldt ook voor locaties met een zeer lokale diepe bodemdaling en zogenaamde gestapelde mijnbouwactiviteiten, zoals nabij Veendam en nabij Winschoten.
- Peilaanpassingen en wijziging grondwaterstanden: in enkele afzonderlijke gevallen hebben aanpassingen van oppervlaktepeilen verband houdend met diepe bodemdaling door mijnbouwactiviteiten mogelijke wel een invloed gehad op de grondwaterstand. Deze oorzaak speelt alleen in zeer specifieke situaties een rol. Er kunnen dan ongelijkmatige zettingen in de ondiepe ondergrond ontstaan.

Onzekerheid in historische grondwaterstanden en seizoensgebonden variaties is zeer groot

Geconstateerd wordt dat de dichtheid van het meetnet van de grondwaterstanden vooral in het noordelijk deel van de provincie Groningen zeer grofmazig is. Ook is de compleetheid van de data en van de bemonsteringsperioden vaak zodanig beperkt, dat geen goed oordeel kan worden geveld over de grondwaterstanden in het verleden. Het invullen van deze lacunes vereist het uitvoeren van lokale of regionale grondwaterstudies waarin ook gegevens over historische neerslag en verdamping worden meegenomen. Dergelijke studies zijn in het onderhavige onderzoek niet uitgevoerd, als gevolg waarvan de onzekerheid in de lokale grondwaterstand bij veel panden aanzienlijk is.

Oorzakelijke verband tussen schade en bevingen moeilijk uit te sluiten of te bewijzen

Bevingen zijn als schade-bijdragende factor moeilijk uit te sluiten van de best verklarende scenario's, maar vallen tegelijk ook moeilijk te bewijzen. Het schadebeeld biedt hiervoor meestal onvoldoende aanknopingspunten. Waar combinaties van bevingen met andere oorzaken optreden, lijkt bij lichte bevingen het schadebeeld vooral gerelateerd te zijn aan de andere onderliggende oorzaak. Voor het betrouwbaarder bepalen van de invloed van de beving op de schade is kennis van het moment van het ontstaan van de schade essentieel. Deze conclusie heeft bredere geldigheid voor schades bij andere gebouwen in de provincie.

Slechts bij een zeer beperkt aantal afzonderlijke schades is vastgesteld dat deze uitsluitend door de bevingen kunnen zijn veroorzaakt. Deze schades komen voor bij enkele cases binnen de voormalige contour, daar waar in het verleden sterkte trillingen als gevolg van de bevingen zijn opgetreden.

Triggerwerking kan bij bevingen schade laten ontstaan bij betrekkelijk lage trillingssterkte

De studie heeft nader inzicht gegeven in de schadelijke werking van trillingen door bevingen. Door middel van simulatieberekeningen is de invloed van trillingen door bevingen in combinatie met spanningen door andere belastingen onderzocht. Daarbij is gekeken naar de spanningen in het vlak van gevels en muren als gevolg van de trillingen uit de bodem. Speciaal is gekeken naar de mogelijkheid dat een beving van geringe sterkte schade kan laten ontstaan in een situatie dat een bouwdeel al spanningen bevat als gevolg van een andere belasting, zoals door een gebouwgebonden situatie of door een zettingsverschil. Deze zgn. triggerwerking is op basis van modelvorming rekenkundig onderbouwd. Het moment waarop de beving plaatsvindt, in relatie tot de opgebouwde spanningen door de andere mechanismen is bepalend is voor de triggerwerking. De triggerwerking is een belangrijke omstandigheid dat bij veel panden schade door bevingen kan ontstaan, ondanks de geringe invloed van de trillingen op de spanningen in de desbetreffende gebouwen. Deze inzichten zijn meegenomen bij de beoordeling en de kwalitatieve toerekening van de schade.

Bij bijzondere gebouwen en in bijzondere situaties kan interactie van bouwdelen als gevolg van bevingen aanleiding zijn tot schade

Bij een aantal cases in de studie, zoals boerderijen en bijzondere gebouwen, zijn er indicaties dat de bevingen interacties tussen gebouwdelen hebben veroorzaakt, die op een andere manier tot schade hebben geleid dan de spanningen in het vlak van de gevel of muurdelen als gevolg van de bevingen. Dergelijke interacties blijken vooral aan de orde bij grote dakconstructies (met name schuren/stallen van boerderijen) en bij bijzondere constructies (zoals bijv. een korenmolen).

De mate van toerekenbaarheid van schade aan bevingen ligt voor veel cases op een laag niveau

Met de verkregen inzichten is een indicatieve en kwalitatieve schaal van toerekenbaarheid gebruikt bij beoordeling van de invloed van bevingen.

Gemiddeld over alle gebouwen op kleine afstand tot de epicentra van geïnduceerde bevingen – dit betreft de onderzoeksgebieden binnen de voormalige contour – is de technische toerekenbaarheid van de schade aan bevingen gekwalificeerd als *klein* tot *middelmatig* (orde van grootte 33 %). Omdat het een gemiddelde over alle onderzochte gebouwen betreft, zullen voor afzonderlijke schades deze percentages afwijken.

Op grote afstand tot de epicentra van zware bevingen – dit betreft de onderzoeksgebieden buiten de voormalige contour – is de technische toerekenbaarheid gekwalificeerd als (*vrijwel*) *geen* (orde van grootte: minder dan 1 %) tot *zeer klein* (orde van grootte 1 % tot 10 %).

Deze verschillen tussen de onderzoeksgebieden buiten de contour ontstaan vooral, doordat bij sommige kleinere gasvelden of lokale winningsactiviteiten (lichte) geïnduceerde bevingen blijken op te treden, die bij panden in de directe nabijheid sterkere trillingen veroorzaken dan de zwaardere bevingen op grote afstand. De invloed van deze lichterbevingen op zeer kleine afstand is in veel eerdere schadeonderzoeken niet beschouwd.

De aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek

Verbeter de kwaliteit van de bouwkundige schadeopname. Deze is sterk bepalend voor de kwaliteit en betrouwbaarheid van de beoordeling. Om de beoordeling in complexe gevallen te faciliteren, zou overwogen moeten worden voor specifieke gebieden of voor specifieke kwetsbare panden alsnog een bouwkundige vooropname uit te voeren, waarbij alle reeds aanwezige schade eenduidig wordt vastgelegd.

Voeg de lintvoegwaterpassing toe als element bij de beoordeling van belangrijke en/of complexe schades waar ongelijkmatige zettingen mogelijk een rol spelen. De informatie uit de lintvoegwaterpassingen is cruciaal voor een goede beoordeling van de invloed van zettingen.

Maak de onzekerheden in de vaststelling van het oorzakelijk verband beter zichtbaar en expliciet. Dit zal op termijn de kwaliteit van de beoordelingen vergroten en leiden tot betere gegevensverzameling of onderzoek om de gesignaleerde onzekerheden te verminderen.

De modelvorming van gebouwen moet verder worden uitgebreid voor meer bouwtypen en ondergrondsituaties, om beter inzicht te krijgen in de invloed van bevingen en andere belastingen op de spanningen in gebouwen. Hierdoor kunnen kansen op het ontstaan van schade in diverse omstandigheden en situaties beter worden onderbouwd.

Breid bestaande monitoringprogramma's voor bodemdaling uit, individualiseer de resultaten daarvan en maak meer gebruik van beschikbare nieuwe monitoringtechnologie, bijvoorbeeld op basis van satellietwaarnemingen. Dit vergroot het inzicht in de effecten van diepe bodemdaling aan het aardoppervlak.

Maak beter gebruik van de beschikbare sensornetwerken voor het meten van trillingen (waaronder het KNMI en het TNO netwerk) om de schatting van de trillingssterkte per beving per pand te optimaliseren en de resterende onzekerheid in de modellen te verminderen.

Verbeter het inzicht in actuele grondwaterstanden bij kwetsbare panden of panden op gevoelige locaties zoals taluds, hellingen (wierden). Hiertoe zou het meetnet van grondwaterstanden aanzienlijk moeten worden verdicht. Waar zulke lacunes bestaan, zullen lokale of regionale grondwaterstudies uitgevoerd moeten worden, waarin invloed van peilveranderingen, grondwateronttrekkingen, neerslag en verdamping moet worden meegenomen.

Verbeter het inzicht in de complexe wisselwerking tussen grondwaterstanden, ondiepe en diepe bodemdaling en bevingen en de effecten hiervan op bodem en gebouwen. Dit geldt ook voor het inzicht in vervormingen van massieven met taluds onder invloed van de wisselwerking van deze omstandigheden. De relatie tussen deze fenomenen en bouwkundige schade kan hierdoor in deze specifieke situaties beter worden onderbouwd.

Volgnummer: 14	
Onderzoek: : Literatuuronderzoek naar relatie tussen peilverlaging en gebouwschade	
Onderzoeker: Deltares, Sterk Consulting, Colibri Advies	
Nummer : 11203367-002-GEO-0001, Versie 1.0	Datum: augustus 2019
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	
Gebouwschade door peilverlaging	X
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

Naar aanleiding van de regeling tot omkering van bewijslast in het Burgerlijk Wetboek is in opdracht van Commissie Bodemdaling door Deltares, Sterk Consulting en Colibri Advies onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen peilverlaging en gebouwschade. Om de gevolgen van bodemdaling te mitigeren worden door de waterschappen de waterpeilen in de polders en de boezem veranderd. In het onderzoek wordt ingegaan op de vraag of uit de bestaande literatuur en jurisprudentie is af te leiden welke mate van peilverandering en de daarbij behorende (kans op) schadetoename in (geo)technisch en in juridisch opzicht als verwaarloosbaar is te beschouwen.

Samenvatting

Volgens het uitgevoerde geotechnisch onderzoek (deel I) zijn meerdere rapporten beschikbaar waarin onderzoek naar het effect van een peilverlaging op de schade aan gebouwen is beschreven. In deze onderzoeken zijn gedegen analyses uitgevoerd:

- Het groene boek (officiële titel: “Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen, maart 1987) komt tot een maximaal toelaatbare relatieve peilverandering van 0,13 m (bij een ondergrond bestaande uit veen), 0,2 m (bij een ondergrond bestaande uit klei) en 0,32 m (bij een ondergrond bestaande uit zand). Door de conservatieve aannamen is de toename van de kans op scheurvorming voor het grootste deel van de bebouwing lager dan 5% bij deze waarden van peilverandering.
- Uit het onderzoek naar de effecten van de peilverlaging bij Oude Pekela (bij een ondergrond bestaande uit zand en veen) blijkt dat bij een relatieve peilverlaging van 0,15 m de toename van de kans op lichte schade verwaarloosbaar is.
- In het rapport van het “Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in de provincie Groningen” [23] is aangegeven dat door een combinatie van kromming en horizontale rek van de bodem schade aan bouwwerken in metselwerk kan ontstaan. Uit diverse literatuurbronnen blijkt dat de schade verwaarloosbaar is als de rek in het gebouw beperkt blijft tot circa $0,5 \cdot 10^{-3}$ m/m. Indien de rek alleen is veroorzaakt door een zettingsverschil (kromming van de bodem) komt dit overeen met een hoekvervorming in de orde van $1 \cdot 10^{-3}$ rad. Als er sprake is van een horizontale bodemvervorming in combinatie met een zettingsverschil (kromming van de bodem) moeten beide effecten worden opgeteld.
- Uit het raaienonderzoek Electraboezem 2^e schil (bij een ondergrond bestaande uit enkele meters dikke, slappe holocene lagen) blijkt dat het effect van relatieve peilverlaging op de grondwaterstand beperkt blijft tot een gebied met beperkte afstand tot de boezem (25 meter). Zelfs binnen dit gebied is het effect van een relatieve peilverlaging van 0,15 m op de aanwezige bebouwing (kans op schade) verwaarloosbaar.

- Het rapport over de analyse van het hydrologisch meetnet bevestigt de conclusies van het raaienonderzoek.
- Uit de berekeningen aan op staal gefundeerde boerderijen bij Grou in Friesland met een zettingsgevoelige slappe bodem blijkt dat de invloed van een grondwaterstandverlaging van 0,20 m weinig invloed heeft op de berekende zettingen. De invloed is minder dan 10% van de invloed van het eigen gewicht van de boerderijen. Bij een grondwaterstands daling van 1,0 m wordt de invloed wel significant (20 à 50 % van de zetting door het eigen gewicht). Bij deze gegevens moet bedacht worden dat de grondwaterstanddaling niet hetzelfde is als de peilverlaging.

In deze rapporten zijn berekeningen voor gevallen beschreven die voorkomen in het aardgaswinningsgebied in de Provincie Groningen en in de Gemeenten IJlst en Grou in Friesland. De berekeningsgevallen en methoden ter bepaling van een kans op schade zijn verschillend. Met het groene boek wordt de grootste kans op schade berekend.

Uit het (geo)technisch onderzoek (deel I) naar de relatie tussen peilverlaging en gebouwschade op basis van bodemdalingsliteratuur wordt het volgende geconcludeerd:

- Bij een relatieve peilverlaging van 0,15 m in een gebied met zettingsgevoelige ondergrond is de toename van de kans op schade <5%. Onder schade wordt hier verstaan lichte scheurvorming (scheuren van 1 mm). In de praktijk wordt deze schade acceptabel geacht.
- Schade aan metselwerk in gebouwen kan ontstaan door een combinatie van horizontale bodemvervorming en zettingsverschillen. In de praktijk wordt een rek in het metselwerk van circa $5 \cdot 10^{-4}$ m/m acceptabel geacht. De buigtrekspanning in het metselwerk is dan overschreden maar de schade is verwaarloosbaar en niet of nauwelijks met het blote oog te zien.
- In de meeste gevallen (bij voornamelijk kleiige ondergrond) zal bij een relatieve peilverlaging van 0,25 m de toename van de kans op schade ook acceptabel zijn.
- Mogelijke uitzonderingen op bovenstaande regels zijn gebouwen met gemengde funderingen (fundering op staal en palen) en gebouwen met houten paalfunderingen waarbij het hout komt droog te vallen.
- De invloed van boezempeilverlaging op de grondwaterstand werkt bij een relatieve peilverlaging van 0,15 m in kleigronden niet verder door dan 25 meter vanaf de boezem. Hieruit kan geconcludeerd worden dat op een afstand van meer dan 25 meter van de boezem geen schades door een relatieve peilverlaging van 0,15 m op kunnen treden.
- Als het waterpeil minder wordt verlaagd dan de opgetreden bodemdaling is er sprake van een relatieve peilverhoging. Door een relatieve peilstijging kan reductie van de draagkracht van een staalfundering optreden en daardoor een toename van de zettingen plaatsvinden. Alleen in zeer bijzondere gevallen (met een sterk heterogene bodemopbouw, zeer slappe ondergrond en variatie in de belasting op de fundering) zal dit tot schade leiden.
- Gebouwschade door peilverlaging kan met verschillende lokale aspecten samenhangen. Indien verschillende oorzaken een rol kunnen spelen moeten deze bij een beoordeling van schade in samenhang worden beoordeeld.

Uit het juridisch onderzoek (deel II) komt het volgende beeld naar voren.

Er zijn in de regel verschillende oorzaken van bodemdaling. Behalve door polderpeilverlaging kan bodemdaling ontstaan door gaswinning, zoutwinning en grondwaterwinning, maar ook door

inklinking van klei en oxidatie van veen. Voor de eerste groep van oorzaken wordt in de technische wereld gesproken van door de mens veroorzaakte (antropogene) factoren.

De bestuursrechter bestempelt deze 'antropogene' factoren als natuurlijke veroorzaking maar dat is slechts ten dele juist. Bestuursorganen worden door de rechter niet verplicht tot vergoeding van schade door die natuurlijke oorzaak. Die schade wordt gerekend tot het 'normaal maatschappelijk risico'.

De verschillende oorzaken leiden in de juridische praktijk, door de scheidslijn tussen het privaatrecht (BW-regeling) en het bestuursrecht (schadevergoedingsregeling Waterwet), tot een voor alle partijen complexe situatie. Het zijn gescheiden werelden waarbij het Burgerlijk Wetboek de schade ontstaan door mijnbouw (aardgaswinning) als onderwerp heeft (onrechtmatige daad) en de Waterwet schade veroorzaakt door peilbesluiten en onttrekkingsvergunningen (schadevergoeding voor rechtmatig overheidshandelen). De omkering van de bewijslast voor schade door aardgaswinning (in het Groningenveld) kan er toe leiden dat perceeleigenaren met schade de voorkeur geven aan de burgerlijke rechter (of bemiddeling door de Nationaal Coördinator Groningen of de Arbitrer Bodembeweging). Zij hoeven dan immers niet te bewijzen wat de oorzaak van de schade is.

Sinds 19 maart 2018 is de Tijdelijke Commissie Mijnbouwschade Groningen (TCMG) actief. De TCMG is werkzaam totdat de wet Instituut mijnbouwschade Groningen van kracht wordt die de oprichting regelt van het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG). De in ontwikkeling zijnde wet geeft een exclusief bestuursrechtelijke regeling voor de afhandeling van "schade die is ontstaan door beweging van de bodem als gevolg van de aanleg of exploitatie van een mijnbouwwerk ten behoeve van het winnen van gas uit het Groningenveld of als gevolg van de gasopslag Norg." Onderdeel van deze behandelingsprocedure is het civielrechtelijke aansprakelijkheids- en schadevergoedingsrecht waartoe de voor gedupeerden belangrijke omkering van de bewijslast ('bewijsvermoeden') behoort. Voor gedupeerden zou het een grote vooruitgang zijn als zij voortaan bij één loket terecht zouden kunnen voor al hun schade. Het IMG biedt hiertoe een grote verbetering.

Dat in principe alle soorten van schade door bodembeweging voor vergoeding in aanmerking komen, roept wel een vraag op, zeker als wordt bedacht dat schade aan woningen e.d. ook, dan wel mede veroorzaakt kan zijn door andere activiteiten zoals het wijzigen van een peilbesluit (peilverlaging oppervlaktewater) of door een (vergunde) grondwateronttrekking (i.v.m. bijvoorbeeld een bouwputbemaling). Gezien de redelijke toepassing van het bewijsvermoeden zal de NAM vrijwel steeds schade moeten vergoeden.

Waar peilaanpassingen worden doorgevoerd om mee te bewegen met de bodemdaling, blijkt het in grote boezemgebieden of grootschalige watersystemen moeilijk om een peilverandering precies af te stemmen op de lokale bodemdaling die samenhangt met gaswinning. In die situatie is sprake van een peilwijziging. Hierdoor kunnen er lokaal relatieve peilverhogingen of -verlagingen optreden. Van een 'relatieve peilverlaging' is sprake als het polderpeil (aanzienlijk) meer daalt dan de bodem. In de praktijk zijn relatieve peilveranderingen veelal zo gering van omvang dat gebouwschade niet te verwachten is. Waar gebouwschade wel te verwachten is door een relatieve peilverlaging, kan het zijn dat deze schade juridisch voor vergoeding in aanmerking komt dan wel dat er op voorhand mitigerende maatregelen genomen moeten worden om schade te voorkomen.

De algemene beginselen van behoorlijk bestuur (verankerd in de Algemene wet bestuursrecht) spelen een belangrijke rol in de omgang met mogelijke schade. Overheden moeten zich bij het nemen van besluiten en bij het uitvoeren van feitelijke handelingen houden aan de algemene beginselen van behoorlijk bestuur. Uit deze beginselen vloeit voort dat het waterschap bij de voorbereiding van een peilbesluit de nodige kennis over de relevante feiten en de af te wegen belangen moet verzamelen, een zorgvuldige belangenafweging moet maken en het besluit goed moet motiveren. Het waterschap zal daarom onderzoek moeten doen naar de kans op schade aan gebouwen ten gevolge van het te nemen peilbesluit, en als die kans aanwezig is, moeten bekijken of er maatregelen mogelijk zijn om die schade te voorkomen. Als schade niet voorkomen kan worden, moet deze worden vergoed, voor zover de schade niet tot het normale maatschappelijke risico behoort.

In de rechtspraak wordt onderscheid gemaakt tussen een **peilwijziging** (niet natuurlijk) en een **peilaanpassing** (wel natuurlijk). Een peilwijziging verandert bewust de drooglegging, terwijl een peilaanpassing de natuurlijke bodemdaling volgt en per saldo de drooglegging niet wijzigt. Schade als gevolg van een peilaanpassing behoort tot het normaal maatschappelijk risico. De jurisprudentie (zie bijlage 1) is hier helder over.

Vergelijkbaar met wat waterschappen moeten doen als het om een dergelijk formeel besluit over peilverandering gaat, moet de NAM op grond van de Mijnbouwwet alle maatregelen nemen die redelijkerwijs gevraagd kunnen worden om te voorkomen dat door aardgaswinning nadelige gevolgen voor mens en milieu worden veroorzaakt of schade door bodembeweging wordt veroorzaakt.

In relatie tot **peilaanpassing** is geconcludeerd dat het niet eenvoudig is om vast te stellen wat 'natuurlijk' is. Feit is wel dat de rechtspraak c.q. de juridische praktijk hier anders mee omgaat dan de technische wereld waar bodemdaling in veel gevallen als een antropogeen fenomeen wordt beschouwd. In de wereld van de rechtspraak – overigens ingegeven door wat elkaar bestrijdende partijen de rechter voorleggen – wordt bodemdaling als een autonoom proces beschouwd, daar waar technisch wel vaststaat dat het antropogene factoren zijn die de bodemdaling veroorzaken. In veel gevallen is bodemdaling een gevolg van het waterbeheer (peilbesluiten aanpassen), maar het waterbeheer faciliteert nu eenmaal verschillende maatschappelijke functies. Sinds jaar en dag worden polderpeilen hierdoor aangepast ('peil volgt functie').

Bij een **peilwijziging** kan, met een beroep op art. 7.14 Waterwet, eventuele schade wel voor rekening van het waterschap komen. Van belang is dat voor het eventuele recht op schadevergoeding gekeken moet worden naar de oorzaak / reden van de peilverandering. Afhankelijk van de oorzaak moet een waterschap wel of geen compenserende c.q. mitigerende maatregelen treffen om schade als gevolg van de peilverandering zoveel mogelijk te voorkomen. Uit de onderzochte jurisprudentie is niet af te leiden welke mate van peilverandering en daarbij horende (kans op) schadetoename juridisch beschouwd verwaarloosbaar is. Steeds weer moet van geval tot geval worden beoordeeld – voorafgaand aan de besluitvorming – of er schade zou kunnen optreden door het peilbesluit. Zo ja, dan is mitigatie in de vorm van technische maatregelen vereist.

Het jurisprudentie-onderzoek naar de wijze waarop de rechter omgaat met schade door peilbesluiten, grondwateronttrekkingen en bouwputten laat zien dat de rechter zich niet uitlaat over de vraag welke peilverandering in juridische zin verwaarloosbaar is. De rechter kijkt per geval of er een oorzakelijk verband is tussen de gestelde schade en een peilbesluit of ander (rechtmatig of onrechtmatig) overheidsbesluit. De rechterlijke toets die wel steeds terugkomt is de toets aan de algemene beginselen van behoorlijk bestuur: heeft het bestuursorgaan voldoende onderzoek gedaan, heeft het alle betrokken belangen voldoende afgewogen en heeft het zijn besluit voldoende gemotiveerd?

Uit de hierboven beschreven vaststelling in het onderzoek volgt de aanbeveling om in de rechtsspraak de aanduiding "natuurlijke oorzaak" anders te gaan hanteren en antropogene en autonome processen te onderscheiden.

Een tweede aanbeveling is om bij peilaanpassing meer onderzoek naar lokale risico's te verrichten als de effecten van bodemdaling in een groter gebied moeten worden gecompenseerd. Cumulatieve effecten door herhaalde aanpassingen moeten niet worden verwaarloosd.

Volgnummer: 15	
Onderzoek: : Bodemdaling door gaswinning veroorzaakt geen schade	
Onderzoeker: Maarten Huijgen, Gijs Remmelts en Joost Roholl allen TNO	
Nummer : Artikel Bodembreed 2020 nr. 3 p. 26 e.v.	Datum: juni 2020
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	x
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

Bodemdaling heeft de afgelopen decennia in ons land geleid tot schade aan de bovengrondse infrastructuur. Regelmatig duikt gaswinning in het publieke en politieke debat op als vermeende veroorzaker van schade aan huizen en gebouwen door bodemdaling. Grofweg zijn twee soorten bodemdaling door menselijk handelen te onderscheiden, met hun eigen ondergrondse processen en gevolgen. In het artikel wordt onderscheid gemaakt tussen diepe en ondiepe bodemdaling en wordt uitgelegd wat de gevolgen zijn van beide soorten bodemdaling.

Integrale artikel

Oorzaak van onnodige onrust bij bewoners

Bodemdaling door gaswinning veroorzaakt geen schade

Bodemdaling heeft de afgelopen decennia in ons land geleid tot schade aan de bovengrondse infrastructuur. Regelmatig duikt gaswinning in het publieke en politieke debat op als vermeende veroorzaker van schade aan huizen en gebouwen door bodemdaling. Grofweg zijn twee soorten bodemdaling door menselijk handelen te onderscheiden, met hun eigen ondergrondse processen en gevolgen.

Door: Maarten Huijgen, Gijs Remmelts en Joost Roholl

Over de auteurs:

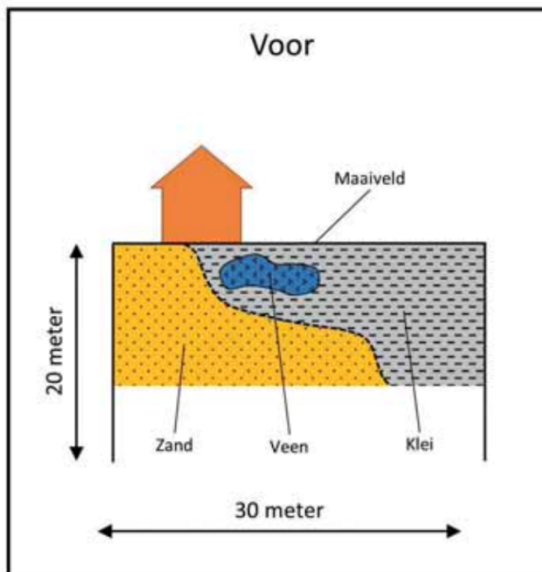
Maarten Huijgen, Gijs Remmelts en Joost Roholl werken als geoloog en onderzoeker bij TNO Adviesgroep Economische Zaken.

In grote delen van Nederland daalt de bodem. En met gevolgen: onder andere wegen, dijken en gebouwen kunnen (deels) verzakken en de grondwaterstand kan veranderen. In sommige gebieden leidt bodemdaling zelfs tot significante schade. De oorzaken voor bodemdaling spelen zich af op verschillende diepten. Dit artikel zal ingaan op bodemdaling door 1) kleirijping en veenoxidatie dicht aan de oppervlakte, en 2) compactie van zandsteen door gaswinning op grote diepte.

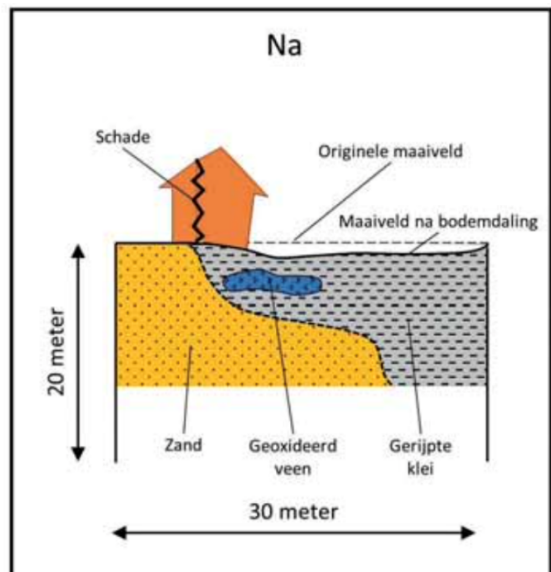
KLEIRIJPING EN VEENOXIDATIE

In de eerste plaats denken we vanzelfsprekend aan de processen in de bodem zelf. In Nederland houden we het grondwaterpeil kunstmatig laag. We willen immers geen natte voeten krijgen en bovendien kunnen we er de draagkracht van de bodem mee verhogen. Als gevolg van deze activiteiten oxideert organisch materiaal in veenlagen en ontstaat klei rijping, een chemisch en mechanisch proces dat resulteert in inklinking van klei.

Samen maken die twee de bovenste grondlagen compacter, met als gevolg dat de bodem daalt. De snelheid van dit type bodemdaling kan fors zijn: delen van Flevoland zijn in vijftig jaar tot 1,5 meter gezakt, wat neerkomt op drie centimeter per jaar.^{1,2}



FIGUUR 1A: VOOR ONDIEPE BODEMDALING.



FIGUUR 1B: NA ONDIEPE BODEMDALING.

Plannen voor gaswinning: voorspellen en meten

Voordat een gasbedrijf kan starten met de productie uit een gasveld, moet de minister van Economische Zaken en Klimaat het winningsplan eerst goedkeuren. Dat plan omvat onder meer een berekening van de maximaal te verwachten bodemdaling. Controle van de bodemdaling gaat volgens het wettelijk vereiste meetplan (Industrieleidraad, 2011).⁵ Daartoe meet het gasbedrijf voordat de productie start eerst de maaiveldhoogte om de beginsituatie vast te leggen. Vervolgens meet men gedurende de gasproductie periodiek de werkelijke bodemdaling. Gewoonlijk gebeurt dit met waterpassingen, maar ook steeds vaker met GPS en InSAR satellietmetingen (NAM, 2015; Vermilion 2019).^{6,7} Staatstoezicht op de Mijnen controleert de bodemdalingsvoorspellingen en het meetplan op basis van de meetgegevens. Het gasbedrijf actualiseert zo nodig de voorspellingen en het meetplan. Wanneer de bodemdaling hoger uitvalt dan oorspronkelijk in het winningsplan is vergund, zal ook het winningsplan moeten worden aangepast en voor goedkeuring moeten worden voorgelegd aan de minister. De meetplannen en metingen zijn publiek toegankelijk via www.nlog.nl.⁸

SPANNING

De Nederlandse bodem heeft geen homogene samenstelling: op geringe afstand van elkaar kunnen zand, klei en veen voorkomen (figuur 1a). Bodemdaling door oxidatie van veen is sterker dan die door het rijpen van klei, terwijl bodemdaling door het ontwateren van zand verwaarloosbaar is (figuur 1b).

Zo ontstaan naast elkaar verschillen in ondiepe bodemdaling. Wanneer een bouwwerk bijvoorbeeld deels op zand staat en deels op veen, kan daling in verschillende mate en met verschillende

In Nederland houden we het grondwaterpeil kunstmatig laag

snelheden plaatsvinden. Dat leidt tot spanning in het gebouw en mogelijk tot scheuren in de constructie.

COMPACTIE VAN ZANDSTEEN

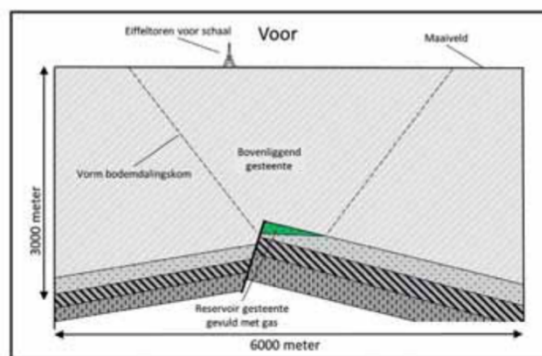
Voor de andere oorzaak van bodemdaling moeten we veel dieper kijken: het winnen van delfstoffen zoals aardgas, aardolie en

TABEL: OVERZICHT VAN DE OORZAAK VAN SCHADE, SNELHEID VAN BODEMDALING, DE VERSPREIDING EN SCHEEFSTELLING VAN BODEMDALING VEROORZAAKT DOOR ONDIEPE OORZAKEN EN GASWINNING

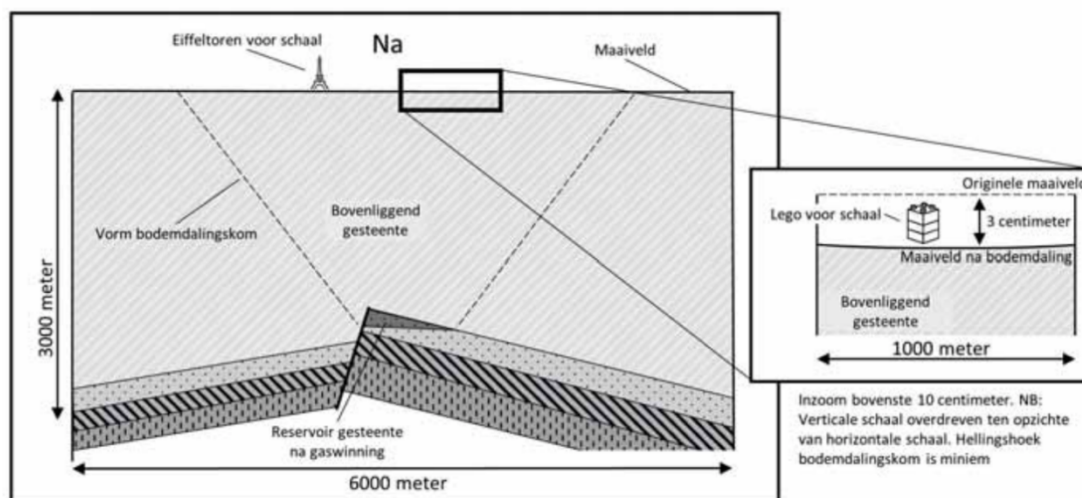
	Bodemdaling ondiepe oorzaken	Bodemdaling gaswinning
Oorzaak schade	Ongelijkmatige zettingen	Niet van toepassing
Snelheid bodemdaling	Tot centimeters per jaar	Millimeters tot centimeter per jaar
Verspreiding	(Zeer) lokaal (meters)	Regionaal (kilometers)
Scheefstelling	Relatief groot	Relatief klein

steenzout op twee tot vier kilometer diepte leidt óók tot daling van de ondiepe bodem. In het politieke en publieke debat komt bodemdaling door gaswinning regelmatig naar voren als vermeende oorzaak van bovengrondse schade. De gedachte komt wellicht voort uit de angst voor schade door aardbevingen door gaswinning, zoals in Groningen.

Aardgas in Nederland zit opgeslagen in reservoirgesteentes, in Nederland meestal zandsteen. Zo'n zandsteen is opgebouwd uit samengepakte zandkorrels, met daartussen ruimte (de poriën) waarin het aardgas zich bevindt. Dit gas staat onder hoge druk, waardoor de poriën openblijven. Wanneer gas wordt gewonnen,



FIGUUR 2A: VOOR DIEPE BODEMDALING.



FIGUUR 2B: NA DIEPE BODEMDALING.

BodemBreed

Waterhuishouding aanpassen

Diepe bodemdaling zal niet direct leiden tot schade, maar zorgt wel voor een verandering van waterpeil, wat zonder aanpassing zou kunnen leiden tot schade. Bij een totale daling van meer dan ongeveer vijf centimeter, kan de noodzaak ontstaan om de waterhuishouding aan te passen, onder andere door het peil te verlagen, stuwen te plaatsen of dijken te verhogen. Dit gebeurt op last van het waterschap, waarbij de veroorzaker, ofwel het bedrijf dat het gas produceert, de kosten draagt. De minister van Economische Zaken en Klimaat vraagt de waterschappen om advies bij de goedkeuring van een winningsplan en betreft de waterschappen vroegtijdig bij deze planvorming.

daalt de druk in de poriën waardoor het reservoirgesteente compacteert: het wordt iets (0,1 tot 0,2 procent) in elkaar gedrukt (figuur 2a). Hierdoor dalen de lagen boven en rondom het reservoir ook voor een deel mee, wat aan de oppervlakte, zo'n drie kilometer boven het gasreservoir, resulteert in een ondiepe, komvormige daling van de bodem (figuur 2b).

Bodemdaling door gaswinning treedt geleidelijk en gelijkmatig op

De daling door compactie is afhankelijk van de diepte, drukafname, dikte, oppervlak en soort van het reservoirgesteente. Bij de kleine gasvelden in Nederland – en dat zijn alle velden behalve het Groningenveld – varieert door bodemdaling het diepste punt van minder dan één centimeter tot ongeveer 30 centimeter bij bijvoorbeeld Harlingen en Tietjerksteradeel.

DE FACTOREN BODEMDALINGSKOM EN TIJD

Maar wat voor impact heeft dat nu eigenlijk? Daarop zijn twee factoren van invloed. In de eerste plaats de spreiding van de daling aan de oppervlakte, de bodemdalingskom. De diameter van zo'n dalingskom is ongeveer tweemaal de diepte van het onderliggende gasveld en strekt zich in Nederland, met gaswinning op twee tot vier kilometer diepte, dus uit over vier tot acht kilometer aan het oppervlak. De kom loopt dan ook zeer geleidelijk af van de rand naar het diepste punt in het centrum: de daling is uiteindelijk op alle locaties minder dan een à twee millimeter per 100 strekkende meter.

Daarnaast is er de factor tijd. De bodemdaling volgt over het algemeen, met een vertraging van enige maanden tot enkele ja-

ren, de verlaagde druk in het gasveld. Daardoor treedt bodemdaling door gaswinning niet alleen zeer geleidelijk en gelijkmatig op over een groot gebied, het voltrekt zich bovendien over een relatief lange periode. Kenmerkende snelheid voor de bodemdaling ligt in de orde van enkele millimeters tot een centimeter per jaar voor de daling in het diepste punt, met de kanttekening dat gedurende de eerste paar jaar het meeste gas wordt geproduceerd, waardoor de druk in het reservoir in die beginfase dus wel iets sneller zal afnemen en de bodem iets sneller zal dalen.

ONNODIGE ONRUST

Het effect van bodemdaling door gaswinning op infrastructuur is in vergelijking met de bodemdaling door ondiepe activiteiten met een objectieve blik ronduit weinig te noemen. Dat minieme aandeel van gaswinning op de scheefstelling van de bodem veroorzaakt dan ook geen wezenlijke spanningen in wegen, gebouwen en dijken die tot schade zouden kunnen leiden. Ook bouwkundig onderzoek van onder meer de TU Delft (2018)³ en de werkgroep Nedmag (2012)⁴ bevestigt dat overigens. Lobbygroepen, bewoners en andere belanghebbenden wijzen de Nederlandse gaswinning regelmatig onterecht aan als oorzaak van schade door bodemdaling. We verwachten met dit artikel enige nuancering aan te kunnen brengen in de oorzaak en de gevolgen van bodemdaling door gaswinning, want deze discussie zorgt keer op keer onnodig voor onrust onder burgers.

NOTEN

1. Fokker et al, 2019; Bodemdaling, Deltafact, Stowa, 2020, <https://www.cambridge.org/core/journals/netherlands-journal-of-geosciences/article/differential-subsidence-in-the-urbanised-coastaldeltaic-plain-of-the-netherlands/463F541AA9C00D5B4EA8108D53261AFE>.
2. Bodemdaling Stowa. Deltafact, Stowa, 2020: <https://www.stowa.nl/deltafacts/ruimtelijke-adaptatie/adaptief-deltamanagement/bodemdaling>.
3. TU Delft. Onderzoek oorzaken bouwkundige schade Groningen - TU Delft CITG-CM-2018-01 11 juli 2018.
4. Werkgroep Nedmag 2012. Literatuuronderzoek naar de effecten van zout- en gaswinning op bebouwing, Werkgroep Bodemdaling Nedmag, 30 augustus 2012.
5. Industrieleidraad 2011. Industriëleidraad ter Geodetische bepaling van bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten. <https://www.tcbb.nl/file/download/57087332/Industrieleidraad%20Geodetische%20basis%20voor%20mijnbouw%20-%20V1.pdf>.
6. NAM 2015. Bodemdaling door aardgaswinning, statusrapport 2015 en prognose 2080.
7. Vermilion 2019. Bodemdaling Statusrapport 2019 - Drenthe Overijssel Friesland, Versie 1.0, 15-Oct-19.
8. NLOG, www.nlog.nl.

Volgnummer: 16	
Onderzoek: : Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging	
Onderzoeker: TNO en TU Delft	
Nummer : TNO 2021 R10325	Datum: 19 februari 2021
Schadeorzaken	
Gebouwschade direct door bodemdaling	x
Gebouwschade door peilverlaging	
Gebouwschade door peilverhoging	
Gebouwschade door aardbevingen	

Algemeen

In opdracht van het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG) heeft TNO en TU Delft onderzoek gedaan naar de effecten van de diepe bodemdaling en -stijging die optreedt door de mijnbouwactiviteiten uit het Groningenveld en de gasopslag Norg. De adviesvraag van IMG aan TNO en TU Delft, zoals door IMG gedefinieerd, luidt als volgt:

Het IMG zou van TNO en TU Delft graag advies ontvangen over of welke bodemdaling en -stijging plaatsvindt boven en in de nabijheid van het Groningenveld en de gasopslag Norg en of deze bodemdaling direct tot het ontstaan of het verergeren van schade aan gebouwen kan leiden.

Als TNO en TU Delft deze vraag bevestigend beantwoorden, 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 bodembeweging.

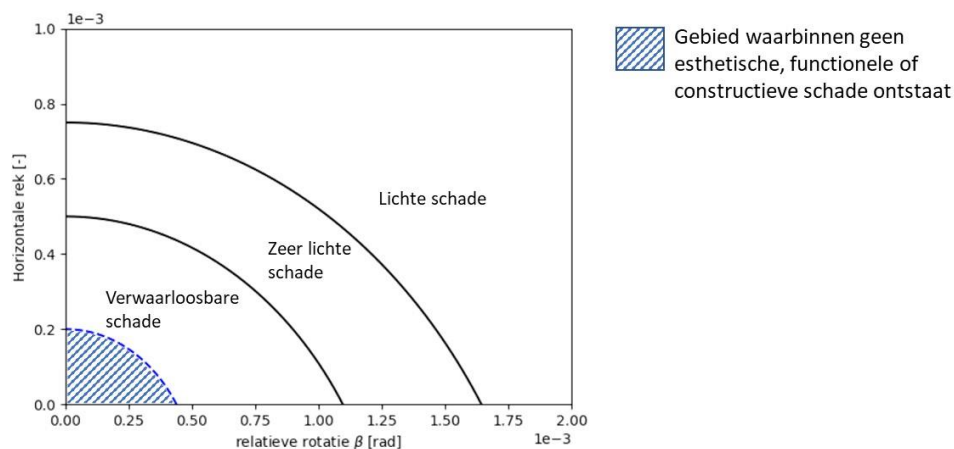
Samenvatting

Diepe bodemdaling en -stijging leidt tot een langzame beweging van het maaiveld, hetgeen naast zakkingen (of zettingen) leidt tot rotaties en krommingen van het maaiveld. Deze bewegingen hebben een invloed op (de fundering van) een gebouw. Ten gevolge van deze bodembewegingen zal een gebouw in zekere mate mee verplaatsen of vervormen. De mate waarin een gebouw in staat is dergelijke verplaatsingen of vervormingen op te nemen is in een literatuurstudie onderzocht.

De relevante indicator om de gevoeligheid van een metselwerkgebouw voor schade ten gevolge van zettingen te bepalen is de horizontale rek in het metselwerk. Deze horizontale rek kan worden veroorzaakt door de horizontale rek van de fundering (het gebouw kan een beetje worden uitgerekt of ingedrukt in horizontale richting), alsmede door een kromming of een verschilverplaatsing van de fundering (het gebouw gaat als gevolg daarvan vervormen, waardoor in het metselwerk horizontale rekken ontstaan). De totale rek in het metselwerk is de optelling van de horizontale rek in de fundering en de rek ten gevolge van de relatieve rotatie van de fundering. De relatieve rotatie wordt bepaald door de kromming en de eventuele verschilverplaatsing van de fundering. Het criterium voor het ontstaan van schade is daarom een combinatie van horizontale rek en de relatieve rotatie ter hoogte van de fundering.

Op basis van de literatuurstudie wordt geconcludeerd dat er geen esthetische, functionele of constructieve schade ontstaat als de combinatie van horizontale rek en relatieve rotatie in het gebied ligt dat in Figuur 2 gearceerd is weergegeven. De begrenzing van dit gebied komt

overeen met een maximaal optredende horizontale rek van $2 \cdot 10^{-4}$ in het metselwerk, wat als ondergrenswaarde kan worden beschouwd voor het ontstaan van zichtbare scheurvorming.



Figuur 2 Grenswaarden voor schade als gevolg van zettingen en zakkingen van de ondergrond [ref. 2].

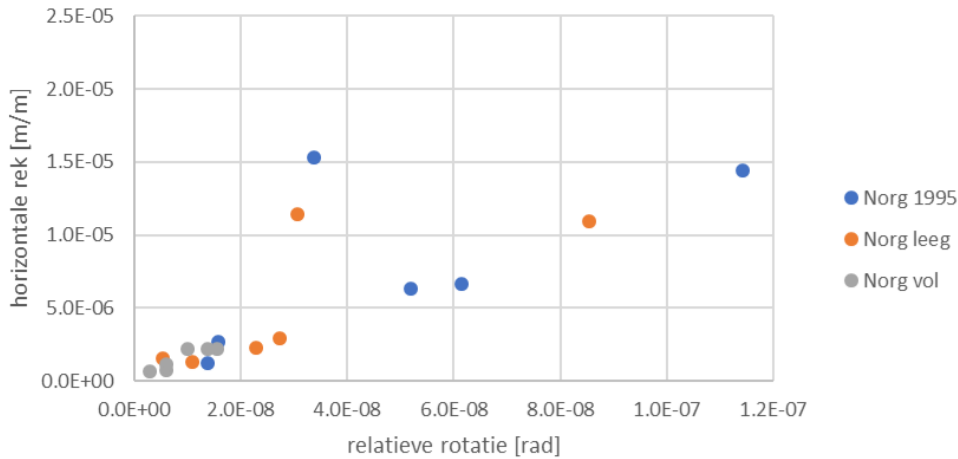
Uit de literatuurstudie volgt verder dat de grenswaarden voor metselwerk strenger zijn dan voor andere bouwmaterialen. Toepassing van de grenswaarden van Figuur 2 voor andere materialen wordt daarom als een veilige keuze beschouwd.

Bodemdaling en -stijging ten gevolge van de activiteiten in het Groningenveld en gasopslag Norg

Om te bepalen of de diepe bodemdaling en –stijging kan leiden tot schade aan gebouwen is de diepe bodemdaling van het Groningenveld en gasopslag Norg in het verleden bepaald, evenals de diepe bodemdaling en -stijging die te verwachten is tijdens het gebruik van Gasopslag Norg. De uitgevoerde berekeningen en bijbehorende resultaten zijn gegeven in [ref. 3]. Uit de berekende verplaatsingen zijn de resulterende horizontale rekken, de krommingen en daaruit voor een gebouw van 10 m lengte de relatieve rotaties bepaald. Dit is gedaan voor het maaiveld, dus zonder gebouw. Deze horizontale rekken en relatieve rotaties worden hierna vergeleken met de grenswaarden volgens [ref. 2]. Ten behoeve van deze vergelijking worden de voor de grond berekende rekken en relatieve rotaties gelijk gesteld aan die in de fundering van een gebouw. In werkelijkheid zal de fundering de beweging van de bodem slechts gedeeltelijk volgen, waardoor de resulterende relatieve rotaties in de fundering kleiner zijn dan in de bodem. De gehanteerde benadering kan daarom worden beschouwd als conservatief voor de optredende rekken in een gebouw. Hieronder worden de resultaten samengevat voor de gasopslag Norg en voor het Groningenveld.

Bodemdaling en -stijging boven gasopslag Norg

De maximaal opgetreden diepe bodemdaling van het Norgveld dateert van 1995, toen de productie van gas uit het veld werd gestopt. Thans is het Norgveld in gebruik als gasopslag, binnen wettelijk vastgelegde grenzen voor de druk in het reservoir. Voor zowel de onder- en bovengrens van deze reservoirdruk, als voor de situatie in 1995, is bepaald hoe groot de maaiveldbeweging als gevolg van de activiteiten in het Norgveld is. Hieruit zijn de maximaal optredende rekken en krommingen berekend. Uit de berekende krommingen zijn vervolgens de relatieve rotaties bepaald. Dit is gedaan langs een aantal lijnen over het Norgveld. De definitie van de lijnen en de resultaten zijn beschreven in [ref. 3]. De maximale absolute waarden voor de horizontale rekken en de relatieve rotaties zijn in Figuur 3 gegeven.



Figuur 3 Maximale horizontale rekken en relatieve rotaties voor elk van de beschouwde lijnen (zie ref. 3) voor gasopslag Norg.

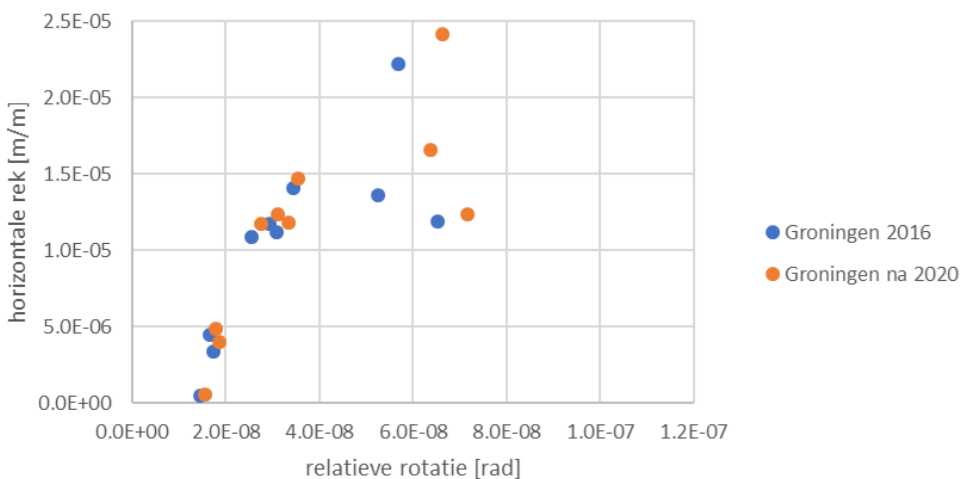
Uit deze figuur blijkt dat de maximaal optredende horizontale rekken gelijk zijn aan ongeveer $1.6 \cdot 10^{-5}$, en dat binnen de optredende horizontale rekken de maximale relatieve rotatie gelijk is aan $1.2 \cdot 10^{-7}$. Deze maxima behoren bij de situatie in 1995 toen de conventionele gasproductie beëindigd was. De waarden behorend bij de bodemdaling als gasopslag Norg leeg is, en de waarden bij de bodemstijging als gasopslag Norg vol is, liggen daar nog onder.

Bodemdaling boven Groningenveld

Voor het gehele Groningenveld is voor 2016 bepaald wat de diepe bodemdaling ten gevolge van de gaswinning is geweest. Daarnaast is een conservatieve waarde bepaald voor de diepe bodemdaling na 2020 op basis van de toenmalige productie- prognoses.

Hieruit zijn de maximaal optredende horizontale rekken en krommingen vastge- steld. Dit is gedaan langs een aantal lijnen over het veld. De definitie van deze lijnen en de resultaten zijn beschreven in [ref. 3].

Uit de krommingen zijn de relatieve rotaties bepaald, om deze te kunnen vergelijken met de grenswaarden die in [ref. 2] zijn gerapporteerd. De maximale absolute waarden voor de horizontale rekken en de relatieve rotaties zijn in Figuur 4 gegeven.

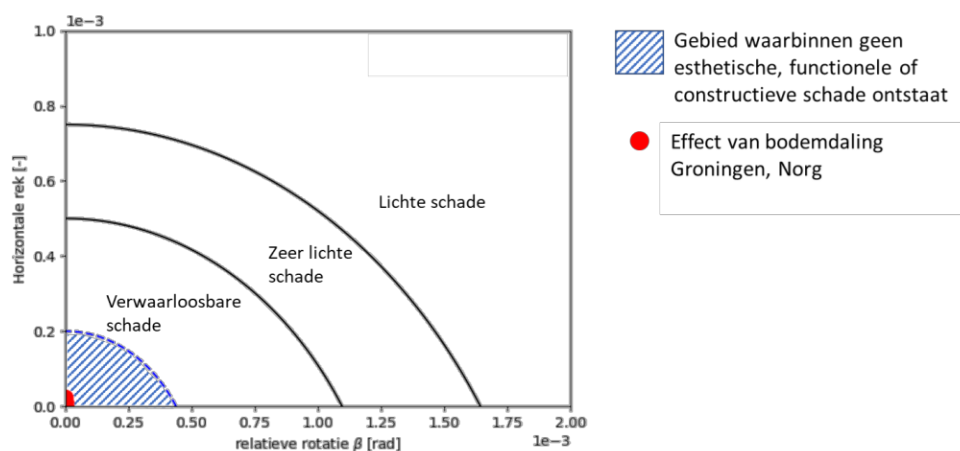


Figuur 4 Maximale horizontale rekken en relatieve rotaties voor elk van de beschouwde lijnen in het Groningenveld.

Uit deze figuur blijkt dat de maximaal optredende horizontale rekken gelijk zijn aan $2.5 \cdot 10^{-5}$, en dat binnen de optredende horizontale rekken de maximale relatieve rotatie gelijk is aan $7 \cdot 10^{-8}$. Deze maxima zijn een bovengrenswaarde voor de situatie bij het stoppen van de productie zoals voorzien in 2022. De maximale waarden voor de situatie in 2016 liggen daar enigszins onder.

Vergelijking van berekende waarden van bodemdalings-indicatoren met de grenswaarden voor schade uit de literatuurstudie

In Figuur 5 zijn de resultaten uit Figuur 3 en Figuur 4 uitgezet tegen de grenswaarden voor schade als gevolg van zettingen en zinkingen van de ondergrond zoals deze uit de literatuur volgen (zie Figuur 2). Figuur 5 maakt in één oogopslag duidelijk dat de horizontale rekken en relatieve rotaties van zowel gasopslag Norg als het Groningenveld zeer waarschijnlijk niet zullen leiden tot schade.



Figuur 5 Vergelijking tussen grenswaarden uit literatuur en berekende bodemdaling van Groningenveld en gasopslag Norg.

Analyse van INSAR data

Door TU Delft is een analyse uitgevoerd van de met satellieten waargenomen bodembewegingen aan het maaiveld van de gasopslag Norg in de periode 2015 – 2019. Deze meetdata zijn verwerkt tot verticale verplaatsingen en krommingen aan het maaiveld. Deze zijn vergeleken met de berekende resultaten uit [ref. 3] van de twee uiterste toestanden van de gasopslag: gevuld of leeg geproduceerd.

De omvang van de verticale bodembeweging afgeleid van InSAR waarnemingen is vergelijkbaar of kleiner ten opzichte van de TNO modelresultaten van de bodemdaling en -stijging van de gasopslag Norg. Hieruit volgt dat ook de opgetreden horizontale rekken en relatieve hoekverdraaiingen vergelijkbaar of kleiner zijn ten opzichte van de gemodelleerde waarden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de modelberekeningen een conservatief beeld geven van de werkelijk optredende vervormingen ten gevolge van diepe bodemdaling.

Naar aanleiding van deze bevindingen wordt verwacht dat een vergelijkbare analyse voor het Groningenveld niet tot andere conclusies zal leiden.

Modelstudies van het effect van bodemdaling op gebouwen

Door de TU Delft is een aanvullende modelstudie uitgevoerd naar de invloed van diepe bodemdaling op bovenliggende, kwetsbare metselwerk gebouwen. Deze modelstudie is uitgevoerd op basis van de eindige elementenmethode. Hierbij is een expliciet schade-criterium gehanteerd (de 'Psi'-benadering) die rechtstreeks scheurwijdte, scheurlengte en scheuraantal in zich bergt, in combinatie met conservatieve model-aannames.

In de modellering wordt een denkbeeldig gasveld leeggeproduceerd of een denkbeeldige gasopslag wordt gevuld dan wel leeggeproduceerd. Het model is gekalibreerd aan de uitkomsten voor de modelstudie voor het jaar 1995 dat de maximaal opgetreden daling bij gasopslag Norg representeert.

Voor de koppeling van ondergrond naar gebouw is onderzocht wat de invloed is van de mate van koppeling. De aanname van ontkoppelde berekeningen is de meest ongunstige en daarmee conservatief. Hierbij wordt verondersteld dat alle grondvervorming (zowel verticaal als horizontaal) volledig wordt doorgegeven aan het gebouw. In werkelijkheid heeft het gebouw stijfheid en massa en zal het daardoor aanmerkelijk minder vervormen dan de grond ter plaatse van het maaiveld. Daarnaast is uit literatuur bekend dat een beperkt percentage horizontale overdracht reëel is, een indicatie hiervan is 30%. Daarom zijn naast de meest ongunstige situatie van 100% koppeling ook variatiestudies uitgevoerd waarbij respectievelijk 75%, 50%, 25% en 0% van de horizontale grondvervorming wordt overgedragen op het gebouw.

Verder is de locatie van het gebouw op de meest ongunstigst denkbare plek in de dalingskom aangenomen, ter plaatse van de grootste kromming en horizontale rek, zowel voor neerbuiging (sagging, bij gasextractie) als opbuiging (hogging, bij gasinjectie). In de modelberekeningen is ook gekeken naar het cyclisch gedrag door afwisselend bodemdaling en -stijging van de gasopslag Norg. Tevens is de invloed van mogelijk reeds aanwezige schade onderzocht. Deze aspecten zijn aanvullend op de in de literatuurstudie waargenomen cases.

Drie verschillende gevels zijn onderzocht met eigenschappen representatief voor de Nederlandse situatie, een lange gevel met kleine openingen, een lange gevel met grote openingen en een korte gevel met openingen. In alle gevallen is eerst de daadwerkelijke bodemvervorming opgelegd, waarbij voor geen enkel geval scheurvorming werd geconstateerd. Vervolgens is de bodemvervorming steeds proportioneel opgeschaald totdat zichtbare schade optrad. Zichtbare schade komt overeen met een scheur met een breedte van 0.1 mm, conform genoemde 'Psi'-methodiek. De kritische horizontale rekken (waarbij zichtbare schade ontstaat) zijn in de orde van grootte van $1 \cdot 10^{-4}$. Deze waarde is lager dan de uit de literatuur afgeleide grenswaarde. Dit verschil is te verklaren door de gemaakte keuzes in de modelberekeningen waarbij extra zekerheid is ingebouwd.

De uitgevoerde berekeningen tonen aan dat de effecten van diepe bodemdaling en -stijging boven de gasopslag Norg niet leiden tot schade aan de beschouwde gevels. Ook bij het aannemen van een vooraf beschadigde gevel, als ook bij het doorrekenen van het cyclisch gedrag boven de gasopslag wordt geen zichtbare schade geconstateerd.

Uit de analyses van [ref. 2] volgt dat de optredende relatieve rotaties en horizontale rekken in het Groningenveld qua grootte vergelijkbaar zijn met die bij de gasopslag Norg. Daarmee kan bovengenoemde conclusie worden doorgetrokken naar het Groningenveld.

Samenvatting en conclusie

Door TNO en TU Delft is onderzocht of diepe bodemdaling in het Groningenveld en de gasopslag Norg kan leiden tot schade aan gebouwen. Hierbij zijn vier deelstudies uitgevoerd, die ten behoeve van het advies zijn samengebracht.

Ten eerste is op basis van een review van internationale literatuur nagegaan welke grenswaarden van toepassing zijn op het ontstaan van schade ten gevolge van bodembewegingen. Deze literatuur is vertaald naar een scherp criterium voor het ontstaan van schade. Uit deze literatuur blijkt dat metselwerk kwetsbaarder is dan andere bouwmaterialen.

De gevonden grenswaarden voor metselwerk zijn daarom veilige grenswaarden voor andere materialen.

In een tweede deelstudie zijn de effecten van de diepe bodemdaling en – stijging bij de gasopslag Norg en de diepe bodemdaling voor het Groningenveld berekend. Deze zijn vertaald naar de indicatoren die worden gebruikt om de grenswaarden voor gebouwen weer te geven. In een derde deelstudie zijn INSAR-data vergeleken met de resultaten van de tweede deelstudie. Daaruit volgt dat de meetdata overeenkomen of lagere waarden geven dan de modelstudie, waaruit geconcludeerd is dat de uitkomsten van de modelstudie aan de veilige kant zijn.

Uit een vergelijking tussen de grenswaarden op basis van de literatuur en de berekende effecten van diepe bodemdaling blijkt dat zowel voor de gasopslag Norg als het Groningenveld de effecten van diepe bodemdaling binnen de gestelde grenswaarden blijven en daarmee niet leiden of hebben geleid tot schade aan gebouwen.

Een vierde deelstudie is uitgevoerd waarbij op basis van de bodemdaling, die in de tweede deelstudie is bepaald, is berekend of er schade kan ontstaan. In deze deelstudie is gevarieerd in gevelopbouw en in materiaaleigenschappen. Er zijn ook variaties doorgerekend met reeds aanwezige schade en er is gekeken naar het effect van het cyclisch gedrag op de uitkomsten. In geen van de uitgevoerde berekeningen is schade ontstaan bij de rekken en krommingen zoals deze in de praktijk ontstaan.

Op basis van deze studie wordt geconcludeerd dat schade aan gebouwen ten gevolge van diepe bodemdaling in de gasopslag Norg en het Groningenveld niet leiden of hebben geleid tot schade aan gebouwen.