

Literatuuronderzoek naar de effecten van zout- en gaswinning op bebouwing

Werkgroep Bodemdaling Nedmag

30 augustus 2012



Aanleiding

In een enquête onder bewoners van Borgercompagnie en Tripscompagnie in het bodemdalingsgebied van de zoutwinning van NEDMAG is door de bewoners een toename van schade aan gebouwen geconstateerd. Op dit moment is niet duidelijk wat de oorzaak/oorzaken van de geconstateerde schade is/zijn.

Door de gemeenten Veendam en Menterwolde, het waterschap Hunze en Aa's, Nedmag en de provincie Groningen is een gezamenlijk onderzoek opgestart naar de mogelijke oorzaken van de gebouwschade in het bodemdalingsgebied van de delfstofwinning van Nedmag. Het onderzoek dient antwoord te geven op de volgende vraag: Wat is / zijn de hoofdoorza(a)k(en) van de gebouwschade in het bodemdalingsgebied van de delfstofwinning van Nedmag?

Literatuurstudie

Eén van de onderdelen van het bovengenoemde onderzoek is een literatuurstudie. In het verleden zijn reeds verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van zout- en gaswinning op bebouwing. Hierbij is specifiek gekeken naar de effecten van bodemdaling, peilverhoging en - verlaging als gevolg van bodemdaling en aardbevingen op bebouwing.

In dit literatuuronderzoek vindt u samenvattingen 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. Voor de volledigheid wordt ook een samenvatting gegeven van 2 onderzoeken die zijn uitgevoerd in het bodemdalingsgebied van Nedmag.

Onderzoeken en studies

In deze literatuurstudie zijn de volgende onderzoeken bestudeerd:

1. Oorzaak schade aan gebouwen nabij Grou, TNO-NITG, 31 maart 2003;
2. Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen, Diversen, maart 1987;
3. Bodemvervorming door diepe zoutwinning en effecten op gebouwen in de Barradeel concessie van FRISIA Zout definitief, Geodelft, november 2001
4. Transparantie effecten Zoutwinning Fryslan, Alterra, Oktober 2007
5. Gebouwschade Loppersum; Deltares en TNO-bouw, 2011
6. Onderzoek effecten peilverlaging Oude Pekela, Geodelft, Oktober 2007
7. Raaien onderzoek Electraboezem 2^e schil, Deltares, november 2011
8. Bodemdaling Groningen, Effecten peilverhoging op fundering op staal, Relatie afname draagvermogen en zakking fundering, Gemeentewerken Rotterdam, januari 2004
9. Gebouwschade t.g.v. peilverhoging, Geoscheck rap. 2000-005/B GW Rotterdam + woning, Geodelft, januari 2005.
10. Vervorming van de bovengrond door Nedmag zoutwinning en schade aan de bebouwing, GeoDelft, juli 2001
11. Second Opinion Ontginningsplan NEDMAG 2001, Prof. dr. ir. A. Verruijt, december 2001

Er is ook gezocht naar onderzoeken naar gebouwschade als gevolg van het dempen van wijken en kanalen in het veenkoloniaal gebied. Er zijn echter geen relevante, goed gedocumenteerde onderzoeken gevonden.

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
Gebouwschade direct door bodemdaling	x	x	x	x	x	x				x	x
Gebouwschade door peilverlaging	x	x		x	x	x	x				x
Gebouwschade door peilverhoging		x			x			x	x		x
Gebouwschade door aardbevingen	x		x		x					x	x

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. De onderzoekers geven echter aan dat het hier geen absolute zekerheid betreft.
- 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: : Oorzaak schade aan gebouwen nabij Grou	
Onderzoeker: TNO -NITG	
Nummer : NITG 03-062-B	Datum: 31 maart 2003
Schadeorzaken	
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: 2	
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: 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 geïkt 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: : Transparantie effecten Zoutwinning Fryslan	
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 : 5	
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 zakking 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 zakking 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: 6	
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 geeft 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 zinking 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 Bijnagte 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 peil aanpassing 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: 7	
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: 8	
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 gereed komen 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: 9	
Onderzoek:: Gebouwschade t.g.v. peilverhoging, Geocheck rap. 2000-005/B GW Rotterdam + woning	
Onderzoeker: Geodelft	
Nummer : CO-414940-009	Datum: januari 2005
Schadeorzaken	
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 ander, 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 zakkings/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: 10	
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: 11	
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.