

RAPPORT

Effect van bodemvervorming door zoutwinning

Zuidwending

Klant: Nobian Salt B.V.

Referentie: BI8380-107 Effect bodemdaling 20240322

Status: Definitief/01

Datum: 22 maart 2024

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherlands
Industry & Buildings

+31 88 348 91 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Effect van bodemvervorming door zoutwinning

Sub titel: Zuidwending

Referentie: BI8380-107 Effect bodemdaling 20240322

Uw kenmerk

Status: Definitief/01

Datum: 22 maart 2024

Projectnaam: -

Projectnummer: BI8380

Auteur(s): 5.1.2.e

Opgesteld door: 5.1.2.e

Gecontroleerd door: 5.1.2.e

Datum: 26 februari 2024

Goedgekeurd door: 5.1.2.e

Datum: 27 februari 2024

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

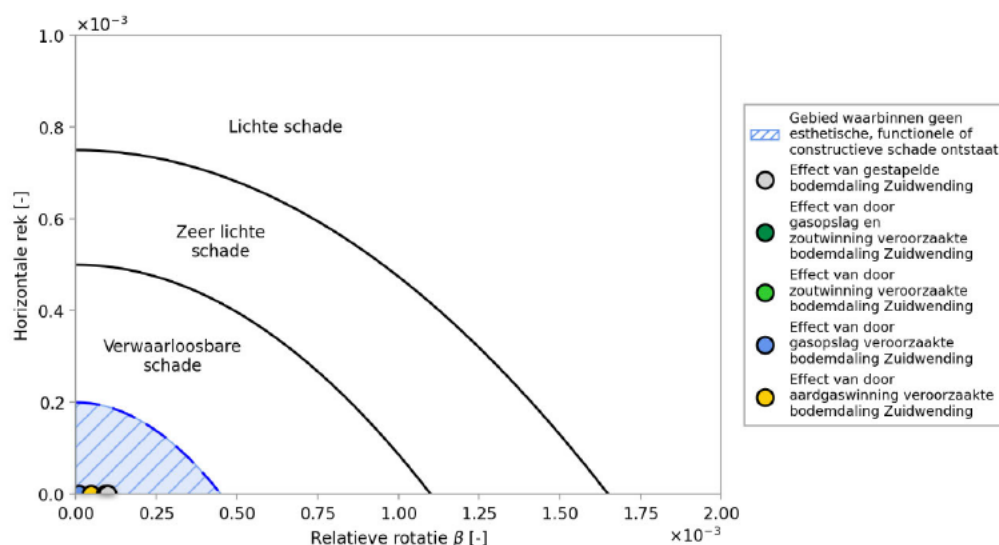
Managementsamenvatting

Bij Zuidwending, gemeente Veendam, wint Nobian pekkel door middel van oplossingsmijnbouw uit 9 zoutcavernes. Naast de cavernes van Nobian zijn er 6 cavernes in gebruik door Energystock voor de opslag van aardgas. Zoutcavernes verliezen in de loop van de tijd volume, omdat de druk in de caveerne lager is dan de spanning van de bovenliggende gesteentelagen. Hierdoor treedt zoutkruip op, wat resulteert in bodemdaling aan de oppervlakte.

Het huidige winningsplan voor de negen cavernes van de Zuidwending zoutwinning loopt af in november 2025. Door Nobian wordt een nieuw winningsplan opgesteld. Onderdeel van het winningsplan zijn voorspellingen ten aanzien van de bodemdaling als gevolg van mijnbouwactiviteiten (zoutwinning, gasopslag en gaswinning). Dit is voor Nobian reden om de effecten van die daling te bepalen op gebouwen en infrastructuur voor verschillende zichtjaren tot het jaar 2250. Voor het berekenen van de effecten worden twee scenario's gehanteerd: een conservatief en een verwacht scenario. Deze scenario's verschillen in de gehanteerde kruipsnelheid van het zout. Het verwachte scenario gaat uit van de meest waarschijnlijke kruipsnelheid en het conservatieve scenario beschouwt een relatief hoge kruipsnelheid. Beide scenario's worden beschouwd voor een 'hard shut-in' van de cavernes.

Het bureau DEEP.KBB heeft de bodemdaling als gevolg van mijnbouwactiviteiten in kaart gebracht voor de verschillende zichtjaren. Aan de hand van de bodemdaling zijn verschillende parameters berekend om te bepalen wat de gevolgen van de bodemdaling zijn voor gebouwen en infrastructuur. TNO heeft op basis van een literatuurstudie grenswaarden opgesteld voor twee relevante indicatoren om schade aan gebouwen te evalueren: horizontale rek en relatieve rotatie.

Voor het conservatieve scenario zijn deze waarden respectievelijk maximaal $2,7 \cdot 10^{-7}$ (m/m) en $9,9 \cdot 10^{-5}$ (voor het rekenjaar 2250). De berekende waarden zijn als grijze stip weergegeven in het door TNO gemaakte diagram met schade indicaties.



Figuur: Grenswaarden voor schade als gevolg van bodemdaling en berekende waarden voor het conservatieve scenario 2250

Bij de berekening van de effecten van bodemdaling is rekening gehouden met de gestapelde mijnbouwactiviteiten (zoutwinning, gasopslag en gaswinning).

In het licht van de door TNO opgestelde grenswaarden wordt geconcludeerd dat er door de mijnbouwactiviteiten bij Zuidwending geen esthetische, functionele of constructieve schade ontstaat aan gebouwen en infrastructuur (verwaarloosbaar) in de periode tot 2250.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Kenmerken van het gebied	3
3	Bodemvervormingen	4
4	Toetsing schade	6
4.1	Schade aan bebouwing	6
4.2	Bijzondere gebouwen en industrie	8
4.3	Kabels & leidingen en riolering	8
4.4	Wegen & spoorwegen	9
5	Conclusies	10

Tabellen

Tabel 3-1 Maxima van berekende vervormingsparameters, conservatieve prognose voor gestapelde mijnbouw.	4
Tabel 3-2 Maxima van de berekende vervormingsparameters, verwachte prognose voor gestapelde mijnbouw.	5
Tabel 4-1: Schade-criteria voor gebouwschade en hinder door grondvervorming [ref 3.]	7

Figuren

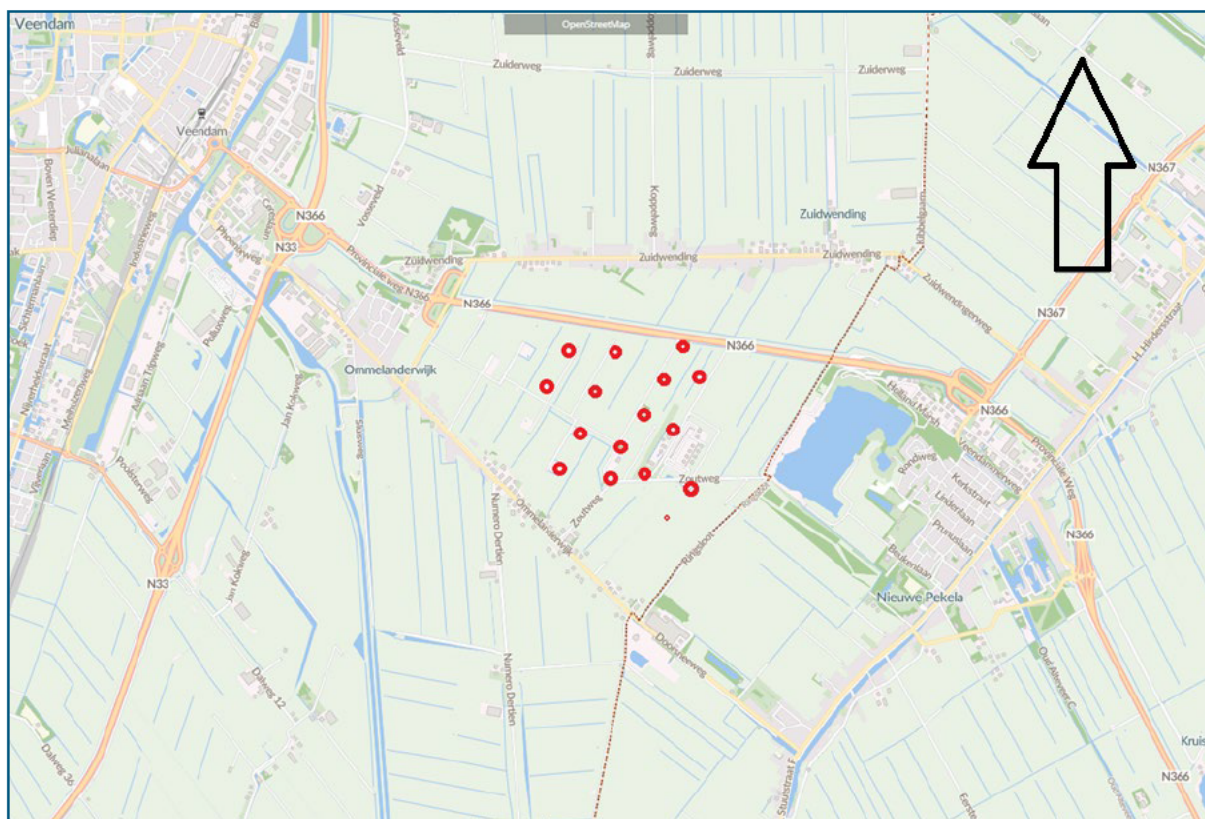
Figuur 2-1 locaties cavernes	3
Figuur 4-1 Schematische weergave van getrapte benadering schadevoorspelling.	6
Figuur 4-2: Grenswaarden voor schade als gevolg van zetting en zakkings van de ondergrond en berekening bodemdaling Zuidwending (gemodificeerd van [ref 7.]) en berekende maatgevende waarde voor een conservatief scenario Zuidwending 2250.	8

Bijlagen

A1	Literatuur referenties
A2	Resultaten berekeningen conservatieve scenario
A3	Resultaten berekeningen verwachte scenario

1 Inleiding

Bij Zuidwending, gemeente Veendam, wint Nobian pekel door middel van oplossingsmijnbouw uit 9 zoutcavernes. Door het onder druk injecteren van zoet water lost het zout op en ontstaat na verloop van tijd een caveerne. De pekel wordt vervolgens naar Nobian Delfzijl verpompt waar verwerking van de pekel plaatsvindt. Naast de zoutwinning zijn er in Zuidwending 6 zoutcavernes in gebruik voor gasopslag. De gasopslag wordt geëxploiteerd door EnergyStock, een onderdeel van N.V. Nederlandse Gasunie. In Figuur 1-1 zijn de locaties van de 15 cavernes weergegeven.



Figuur 1-1 Locaties cavernes

Het huidige winningsplan voor de negen cavernes van de Zuidwending zoutwinning loopt af in november 2025. Door Nobian is een nieuw winningsplan opgesteld voor de periode 2025-2040. Onderdeel van het winningsplan zijn voorspellingen ten aanzien van de bodemdaling als gevolg van gestapelde mijnbouwactiviteiten (zoutwinning door Nobian, gasopslag door EnergyStock en gaswinning door de NAM). Dit is voor Nobian reden om de effecten van die bodemdaling te bepalen. De bodemdaling als gevolg van de zoutwinning door Nobian verloopt zeer traag en gaat ook lang door. Om deze reden zijn bodemdalingsprognoses uitgevoerd voor verschillende zichtjaren tot het jaar 2250. De effecten zijn bepaald op basis van de door DEEP.KBB berekende bodemdaling.

Bij zoutcavernes treedt na verloop van tijd volumeverlies op, omdat de druk in de caveerne lager is dan de druk van de bovenliggende aardlagen. Die hogere druk leidt tot plastische vervorming van het steenzout. Er ontstaat zoutkruip. Zoutkruip verkleint het volume van een caveerne. Het optredende volumeverlies leidt tot bodemdaling waardoor na verloop van vele jaren aan de oppervlakte een verzakkingskom ontstaat. Er zijn twee verschillende scenario's gehanteerd bij het bepalen van de effecten van de bodemdaling. In het conservatieve scenario wordt uitgegaan van een conservatieve kruipsnelheid van het zout en een 'hard shut-in' van de cavernes. Het verwachte scenario gaat uit van een realistische kruipsnelheid van het

zout en eveneens een 'hard shut-in' van de cavernes. Bij een 'hard shut-in' van de cavernes worden de cavernes volledig afgesloten.

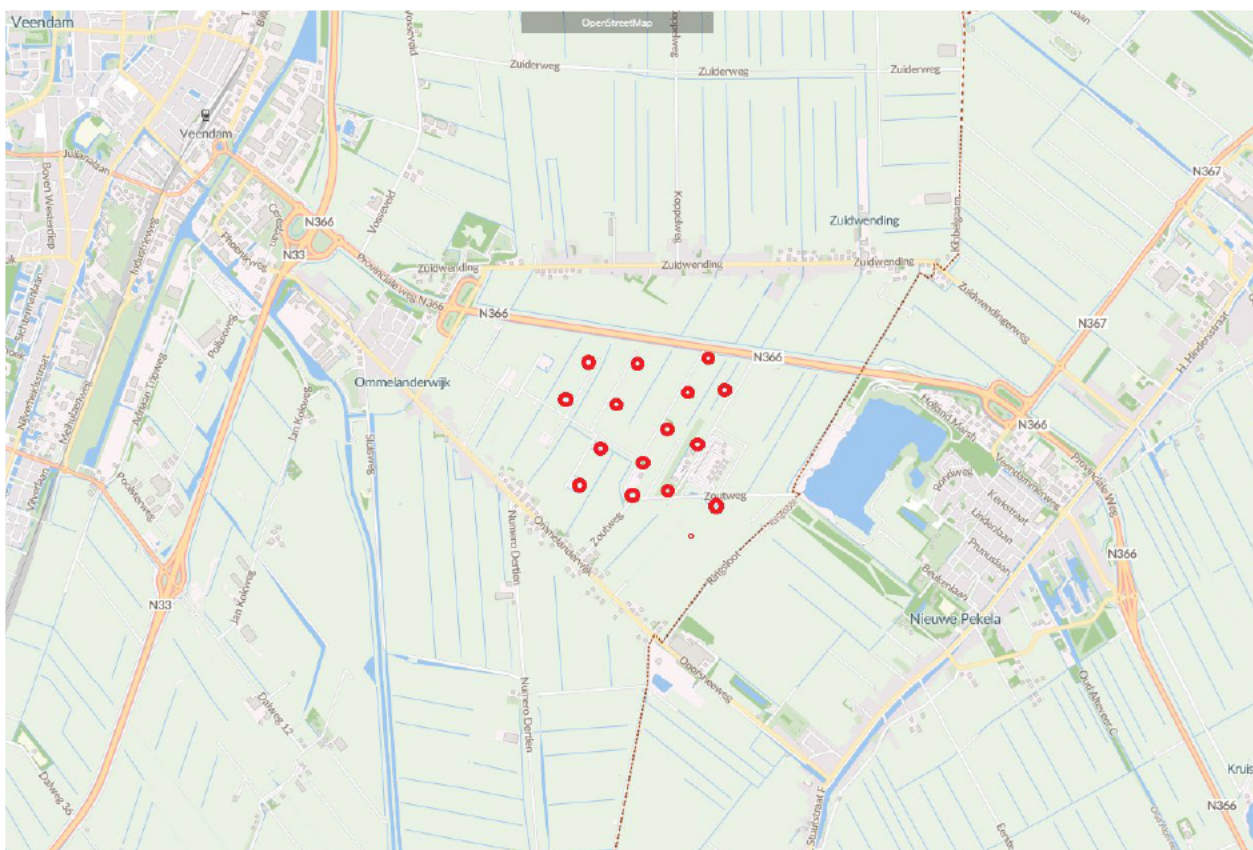
Deze bodemdaling kan effect hebben op de integriteit van gebouwen en infrastructuur. Om die reden is het voor landeigenaren, omwonenden en Nobian van belang dat het volumeverlies van cavernes en dus de bodemdaling beperkt blijft.

In opdracht van Nobian heeft Royal HaskoningDHV (RHDHV) de bodemvervorming als gevolg van de bodemdaling in beeld gebracht. Bodemvervorming behelst invloed van bodemdaling op gebouwen en infrastructuur (geotechnische effectstudie). Deze rapportage presenteert de in beeld gebrachte bodemvervorming en geeft een schadeprognose.

Hoofdstuk 2 licht de kenmerken van het gebied toe. In hoofdstuk 3 zijn de relevante vervorming parameters samengevat. In hoofdstuk 4 is de schadeprognose uitgevoerd. Hoofdstuk 5 geeft de conclusies weer.

2 Kenmerken van het gebied

De zoutcavernes bevinden zich bij Zuidwending, ten oosten van Veendam en ten westen van Nieuwe Pekela. In Figuur 2.1 zijn de locaties van de 15 cavernes weergegeven. Voor deze studie relevante gebruikstypen en objecten in het winningsgebied zijn: de bebouwing bij Zuidwending, Veendam en Nieuwe Pekela. Nabij het wingebied zijn de provinciale wegen N33, N366 en N367 aanwezig.



Figuur 2-1 locaties cavernes

In het gebied is naast bodemdaling als gevolg van zoutwinning en gasopslag ook sprake van bodemdaling als gevolg van gaswinning in Groningen.

3 Bodemvervormingen

Als gevolg van de zoutwinning treden verticale en horizontale grondvervormingen op. Deze vervormingen zijn niet overal even groot. Ze nemen af naarmate de afstand tot de winlocatie groter wordt. Voor de schadeprognose zijn de vervormingen aan het maaiveld van belang. Bodemdaling (of zetting) leidt aan de oppervlakte tot rotaties en krommingen welke invloed hebben op gebouwen en de fundering ervan. Ten gevolge van deze bodembewegingen zal een gebouw in zekere mate mee verplaatsen of vervormen.

In de literatuur worden verschillende toetsingsparameters gehanteerd voor de vervorming van gebouwen. Een onderverdeling kan daarbij worden gemaakt in:

- Zetting;
- Zettingssnelheid;
- Helling (scheefstand);
- Horizontale rek
- Kromming.

De data van DEEP.KBB betreft de zetting ten gevolge van de gestapelde mijnbouwactiviteiten: zoutwinning, gaswinning, en gasopslag voor de zichtjaren tussen 2025 en 2250.

De DEEP.KBB data zijn gebruikt voor een conservatief scenario met een relatief hoge kruipsnelheid en een verwacht scenario met de kruipsnelheid gebaseerd op bodemdalingsmetingen. In deze scenario's is uitgegaan van maximale zoutwinning uit de cavernes. Bij het afwijken van dit scenario is sprake van er minder zoutwinning uit de cavernes, met als gevolg minder bodemdaling.

Op basis van zetting data van het bureau DEEP.KBB zijn de relevante vervormingsparameters afgeleid en voor de beschouwde zichtjaren weergegeven in Tabel 3-1 en Tabel 3-2.

Tabel 3-1 Maxima van berekende vervormingsparameters, **conservatieve prognose** voor gestapelde mijnbouw.

jaar	Zetting* (mm)	Helling (mm/km)	Horizontale rek (m/m)	Kromming (1/km)	Max relatieve rotatie (gebouw 200m)
2025	213	96 (1:10442)	$4.59 \cdot 10^{-09}$	$1.24 \cdot 10^{-04}$	$1.24 \cdot 10^{-05}$
2050	459	230 (1:4346)	$2.65 \cdot 10^{-08}$	$2.97 \cdot 10^{-04}$	$2.97 \cdot 10^{-05}$
2075	669	347 (1:2882)	$6.02 \cdot 10^{-08}$	$4.55 \cdot 10^{-04}$	$4.55 \cdot 10^{-05}$
2100	801	418 (1:2392)	$8.74 \cdot 10^{-08}$	$5.49 \cdot 10^{-04}$	$5.49 \cdot 10^{-05}$
2125	897	473 (1:2115)	$1.12 \cdot 10^{-07}$	$6.26 \cdot 10^{-04}$	$6.26 \cdot 10^{-05}$
2150	990	526 (1:1902)	$1.28 \cdot 10^{-07}$	$7.02 \cdot 10^{-04}$	$7.02 \cdot 10^{-05}$
2200	1173	629 (1:1589)	$1.98 \cdot 10^{-07}$	$8.49 \cdot 10^{-04}$	$8.49 \cdot 10^{-05}$
2250	1351	730 (1:1369)	$2.67 \cdot 10^{-07}$	$9.93 \cdot 10^{-04}$	$9.93 \cdot 10^{-05}$

* Dit betreft de gestapelde zetting van gaswinning, gasopslag, en zoutwinning.

Tabel 3-2 Maxima van de berekende vervormingsparameters, **verwachte prognose** voor gestapelde mijnbouw.

jaar	Zetting* (mm)	Helling (mm/km)	Horizontale rek (m/m)	Kromming (1/km)	Max relatieve rotatie (gebouw 200m)
2025	181	77 (1:12953)	$2.98 \cdot 10^{-09}$	$9.88 \cdot 10^{-05}$	$9.88 \cdot 10^{-06}$
2050	283	130 (1:7711)	$8.41 \cdot 10^{-09}$	$1.58 \cdot 10^{-04}$	$1.58 \cdot 10^{-05}$
2075	371	177 (1:5658)	$1.56 \cdot 10^{-08}$	$2.18 \cdot 10^{-04}$	$2.18 \cdot 10^{-05}$
2100	424	204 (1:4913)	$2.07 \cdot 10^{-08}$	$2.51 \cdot 10^{-04}$	$2.51 \cdot 10^{-05}$
2125	457	221 (1:4519)	$2.45 \cdot 10^{-08}$	$2.75 \cdot 10^{-04}$	$2.75 \cdot 10^{-05}$
2150	489	238 (1:4193)	$2.84 \cdot 10^{-08}$	$2.99 \cdot 10^{-04}$	$2.99 \cdot 10^{-05}$
2200	552	273 (1:3667)	$3.72 \cdot 10^{-08}$	$3.46 \cdot 10^{-04}$	$3.46 \cdot 10^{-05}$
2250	616	307 (1:3262)	$4.70 \cdot 10^{-08}$	$4.71 \cdot 10^{-04}$	$4.71 \cdot 10^{-05}$

* Dit betreft de gestapelde zetting van gaswinning, gasopslag, en zoutwinning.

De relatieve rotatie (β_x) in Tabel 3-1 en Tabel 3-2 is uit de kromming voor een aantal typische gebouwlengten (L) bepaald aan de hand van een constante kromtestraal:

$$\sin(\beta_x) = \frac{0.5L}{R}$$

De relatieve rotatie in de bovengenoemde tabellen is voor een gebouwlengte van 200 meter. Voor gebouwen met een kortere lengte is de relatieve rotatie kleiner.

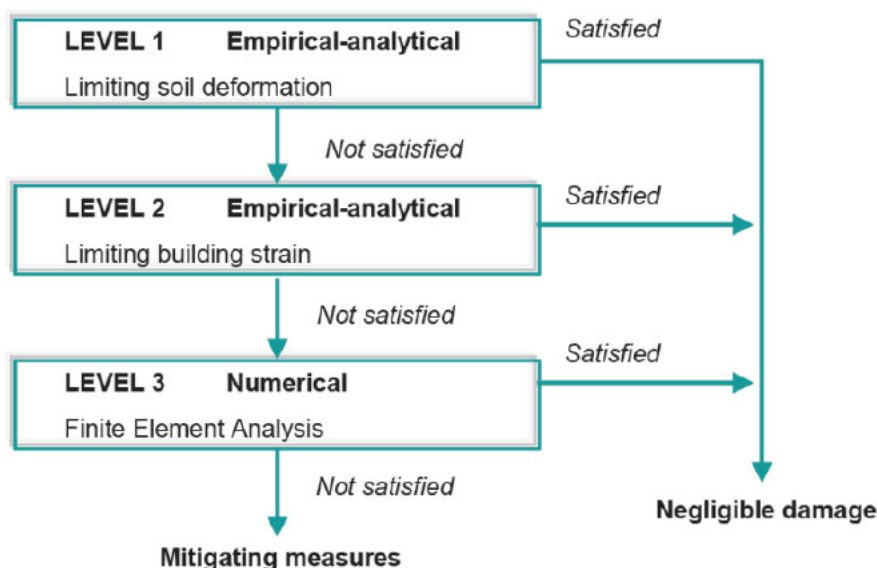
4 Toetsing schade

4.1 Schade aan bebouwing

Bij schadevoorspelling van gebouwen als gevolg van grondverplaatsingen kan een getrapte benadering worden gekozen, bestaande uit niveaus 1 tot en met 3 (Figuur 4-1). Deze niveaus kennen een toenemende nauwkeurigheid en locatie specifieke uitwerking [ref 2.]. Een niveau 1 benadering is een volledig empirische benadering waarbij de grondverplaatsingen worden getoetst aan grenswaarden van de relatieve rotatie en de zakking van de constructie of van constructieonderdelen.

Als hier niet aan wordt voldaan of als de verwachting is dat andere vervormings- kenmerken een grote rol spelen, zoals bijvoorbeeld horizontale rek, dan kan worden overgestapt op een niveau 2 benadering. Een niveau 2 uitwerking is de zogenaamde 'limiting tensile strain method'. Hierbij wordt op basis van sterke vereenvoudigingen gekeken naar rekken in het gebouw welke worden getoetst aan criteria voor bepaalde schade categorieën.

Als de niveau 2 benadering niet voldoet, kan worden overgestapt op de modellering van een specifiek gebouw of gebouwdeel, meestal op basis van eindige elementen berekeningen van gevels of dwarsmuren (niveau 3).



Figuur 4-1 Schematische weergave van getrapte benadering schadevoorspelling.

De volgende tabel (Tabel 4-1) geeft enkele in de praktijk gehanteerde grenswaarden voor een niveau 1 benadering [ref 3.].

Tabel 4-1: Schade-criteria voor gebouwschade en hinder door grondvervorming [ref 3.]

Parameter	Eenheid	Schadegradatie	Skeletbouw [v:h]	Stapelbouw [v:h]
Relatieve rotatie	Verhouding zetting [m]: horizontale afstand [m]	Architectonische schade	1:300 (algemeen)	1:600 (bol) 1:1200 (hol)
			1:600 (torenflats)	
			1:1000 (loodsen)	
		Constructieve schade	1:150 (algemeen)	1:300 (bol) 1:600 (hol)
		Instortingsgevaar	1:75 (algemeen)	1:150 (bol) 1:300 (hol)
Scheefstand	Verhouding zetting [m]: horizontale afstand [m]	merkbaarheid	1:100 à 1:150	
		Onbruikbaarheid niet-apart gefundeerde machines en apparaten	1:100 (intern transport & opslag)	
			1:300 (textiel machines en kraanbanen)	
		Instabiliteit tegen kantelen	1:5000 (turbogeneratoren)	
			1:250 (schoorstenen, silo's, watertorens)	

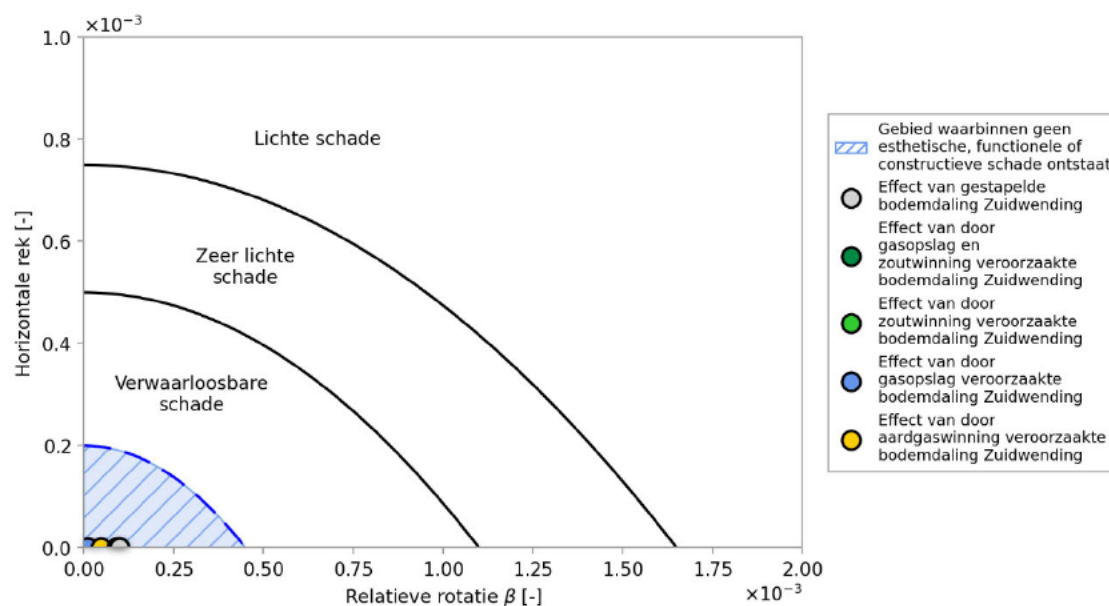
De berekende maximale relatieve rotatie voor het conservatieve scenario zichtjaar 2250 is $9.93 \cdot 10^{-05}$ ofwel 1:10071. Dit is ruim lager dan alle grenswaarden voor de niveau 1 schadevoorspelling. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de kans op schade als gevolg van de mijnbouwactiviteiten (inclusief zoutwinning) zeer klein is.

De effecten van bodemdaling op gebouwen is door TNO onderzocht in een literatuurstudie [ref 6.]. Op basis van de literatuurstudie zijn er twee relevante indicatoren geïdentificeerd om schade te voorspellen; horizontale rek en relatieve rotatie. Voor deze twee indicatoren zijn grenswaarden opgesteld. Deze benadering kan worden gezien als een combinatie van niveau 1 en 2, omdat zowel horizontale rek als relatieve rotatie worden toegepast.

Horizontale rek is vooral relevant om de schade aan metselwerkgebouwen te voorspellen als gevolg van bodemdaling. Metselwerk kan minder vervorming verdragen dan andere materialen (beton, staal, hout) voordat er schade ontstaat [ref 6.].

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 gearceerde deel van Figuur 4-2 ligt. De uitkomst voor het conservatieve scenario voor het zichtjaar 2250 is weergegeven in het figuur, de grijze stip in het figuur geeft de effecten als gevolg van de gestapelde activiteiten weer. De andere stippen in het figuur geven de effecten van de individuele mijnbouwactiviteiten; zoutwinning, gasopslag, en aardgaswinning. Voor de zichtjaren voorafgaande aan 2250 is de bodemdaling kleiner en daarmee zijn de effecten als gevolg van bodemdaling voor deze zichtjaren ook kleiner. De uitkomsten voor het verwachte scenario zijn kleiner dan die van het conservatieve scenario, en daarmee zijn de effecten hiervan ook geringer.

Figuur 4-2 maakt duidelijk dat bodemdaling als gevolg van gestapelde mijnbouw (inclusief zoutwinning) in de omgeving van Zuidwending niet leidt tot schade aan gebouwen.



Figuur 4-2: Grenswaarden voor schade als gevolg van zetting en zakkingen van de ondergrond en berekening bodemdaling Zuidwending (gemodificeerd van [ref 7.]) en berekende maatgevende waarde voor een conservatief scenario Zuidwending 2250.

De conclusie is dat er geen of nagenoeg geen schade aan gebouwen op zal treden als gevolg van de door DEEP.KBB berekende bodemdaling door de zoutwinning.

4.2 Bijzondere gebouwen en industrie

De berekende maximale scheefstand is 1:1369 (0.73 m/km) voor het conservatieve scenario met zichtjaar 2250. Deze waarde van scheefstand leidt niet tot instabiliteit als gevolg van kantelen. Niet-apart gefundeerde turbogeneratoren kunnen door deze scheefstand onbruikbaar worden. Turbogeneratoren worden voornamelijk ingezet bij grootschalige industrie. In het gebied waar scheefstand optreedt als gevolg van zoutwinning, is dergelijke industrie echter niet aanwezig. In sommige gevallen kan het zijn dat bepaalde industrie strengere eisen stelt aan vervormingen. Als deze industrie zich in de nabijheid van de winlocatie wil vestigen, dient men de voorspelde bodemvervorming te toetsen aan de eisen die deze industrie stelt.

4.3 Kabels & leidingen en riolering

Bij vervorming van kabels en leidingen moet worden getoetst op de volgende effecten:

- Voegrotatie;
- Uittrekken uit de koppelingen (Pull-out);
- Schade ter plaatse van huisaansluitingen;
- Vervorming.

Door verschillende onderzoekers zijn toelaatbare voegrotaties voor verschillende leiding systemen onderzocht. Deze variëren tussen 0,5° voor gietijzeren leidingen en 2,5° voor gas of waterleidingen met rubberen voegen [ref 4.]. De berekende waarden liggen ruimschoots onder deze voeg-rotaties.

Pull-out (losraken) ter plaatse van voegovergangen wordt veroorzaakt door horizontale verschilvervormingen die langs een buis kunnen optreden.

In [ref 4.] worden toelaatbare waarden van 10 tot 25 mm aangegeven afhankelijk van het buis- en voegtype. Bij de geprognosticeerde horizontale rek zal geen pull-out kunnen optreden. Schade bij huisaansluitingen zal niet optreden omdat de woningen evenveel zakken als de leidingen.

De invloed van de bodemvervorming op de bestaande riolering is in detail onderzocht en in een separate rapportage opgenomen [ref 8.].

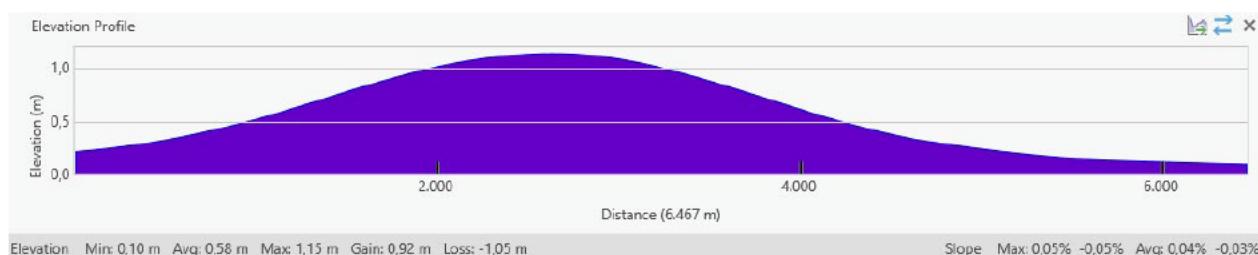
4.4 Wegen & spoorwegen

De wegen in het gebied waar bodemvervorming ten gevolge van de (gestapelde) winningen optreedt, zullen zakken. In Tabel 4-2 is de maximale daling (zetting) ter plaatse van de N366 (maatgevend) aangegeven. Ter plaatse van de provinciale wegen bedraagt de grootste zakking, in het conservatieve scenario, maximaal 1150 mm in 2250. De zakkingsstrook verloopt geleidelijk over een lengte van circa 2.8 km naar een zakking kleiner dan 10 mm, zie Figuur 4-3. De maximale helling die ontstaat ten gevolge van de bodemdaling is 500 mm/km (of 0,05%). Deze hellingen ten gevolge van de bodemvervorming zijn vergelijkbaar of kleiner dan de natuurlijke niveauverschillen in het gebied. De snelheid van de bodemdaling neemt in de loop van de tijd af en bedraagt maximaal circa 1 cm per jaar.

De levensduur van zeer open asfaltbeton (ZOAB), het meest toegepaste soort asfalt in Nederland, is gemiddeld 17 jaar. In een periode van 17 jaar neemt de helling met minder dan 100 mm/km toe, rekening houdend met een conservatief scenario. De berekende zettingen hebben naar verwachting geen invloed op het beheer van de wegen in de omgeving van Zuidwending.

Tabel 4-2 Bodemvervorming ter plaatse van N366

Scenario	Aspect	Zichtjaar							
		2025	2050	2075	2100	2125	2150	2200	2250
Verwacht	Bodemdaling [m]	0,16	0,25	0,33	0,38	0,40	0,42	0,49	0,52
	Daling per jaar		0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Conservatief	Bodemdaling [m]	0,19	0,40	0,57	0,67	0,75	0,82	1,00	1,15
	Daling per jaar		0,008	0,007	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003



Figuur 4-3 Zettingsprofiel ter plaatse van N366 zichtjaar 2250 (conservatief scenario)

5 Conclusies

Naast gaswinning en gasopslag kan zoutwinning in de omgeving van Zuidwending aanleiding zijn voor het optreden van bodemvervormingen. Bodemvervorming kan schade veroorzaken aan gebouwen en infrastructuur. Dit onderzoek is uitgevoerd om de effecten van bodemvervorming op gebouwen en infrastructuur te bepalen.

Op basis van het conservatieve scenario is de bodemvervorming als gevolg van mijnbouwactiviteiten (zoutwinning, gaswinning en gasopslag) voor het zichtjaar 2250 bepaald.

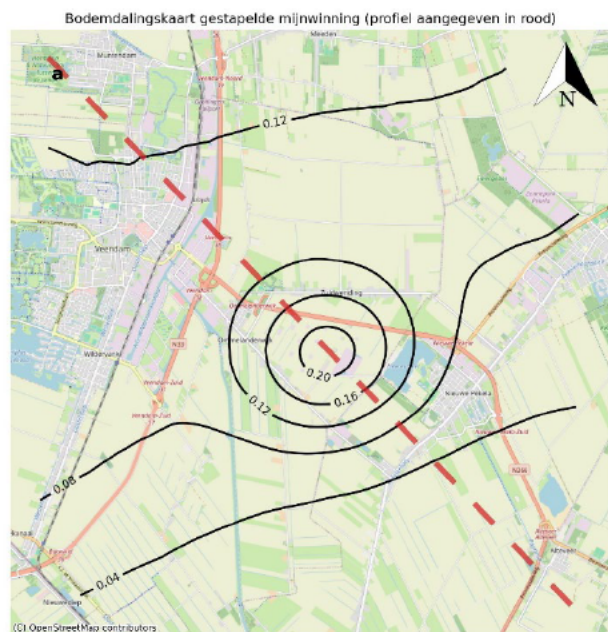
Uit de verzakkingsprognoses van de projectlocatie zijn maatgevende vervormingsparameters voor de schadeprognose bepaald en vergeleken met schadecriteria uit de literatuur. De berekende maximale relatieve rotatie is 1:10071 voor 2250. Dit is ruim kleiner dan de verschillende grenswaarden waarmee deze is vergeleken. Uit de door TNO opgestelde grenswaarden in Figuur 4-2 wordt geconcludeerd dat de bodemdaling als gevolg van mijnbouwactiviteiten (grijze stip) geen esthetische, functionele of constructieve schade veroorzaakt aan bebouwing. Ook voor de infrastructuur (ondergrondse leidingen en wegen) vindt naar verwachting geen schade plaats als gevolg van de mijnbouwactiviteiten.

A1 Literatuur referenties

- [ref 1.] KBB, Phase III – Update of the Subsidence Prediction according to the Production Planning 2012, September
- [ref 2.] Giardina & Rots, presentatie tunneling induced building damage, november 2010
- [ref 3.] De Kock, Polderpeilverlaging en schade aan een gebouw, Civieletechniek 1986
- [ref 4.] Attewell P.B., Yeates J., Selby A.R., Soil Movements induced by tunneling and their effects on pipelines and structures, 1986
- [ref 5.] Schultze Horn (1990), Grundbautaschenbuch, Teil 1
- [ref 6.] TNO Rapport 2020 R12073, Literature Review: Effects of subsidence on buildings
- [ref 7.] TNO Rapport 2021 R10325B, Schade aan gebouwen door diepe bodemdaling en -stijging
- [ref 8.] RHDHV, BI8380-110 Effect bodemdaling op riolering 20240322

A2 Resultaten berekeningen conservatieve scenario

Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2025 conservatieve scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2050 conservatieve scenario



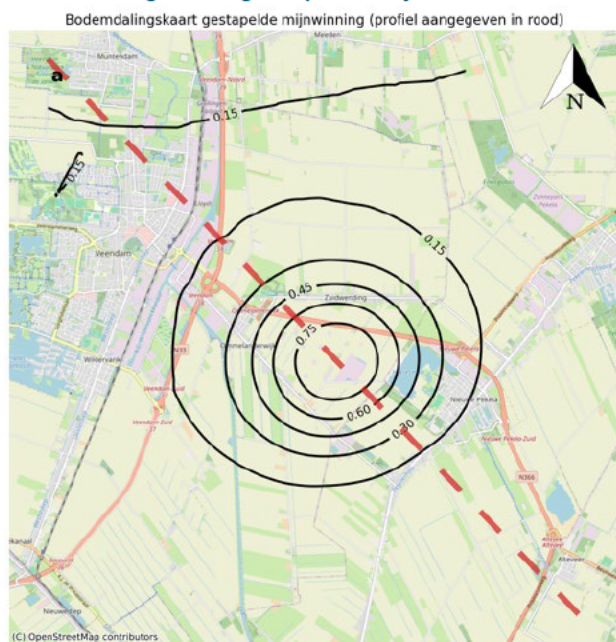
Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2075 conservatieve scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2100 conservatieve scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2125 conservatieve scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2150 conservatieve scenario

Bodemdalingskaart gestapelde mijnwinning (profiel aangegeven in rood)



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2200 conservatieve scenario

Bodemdalingskaart gestapelde mijnwinning (profiel aangegeven in rood)



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2250 conservatieve scenario



A3 Resultaten berekeningen verwachte scenario

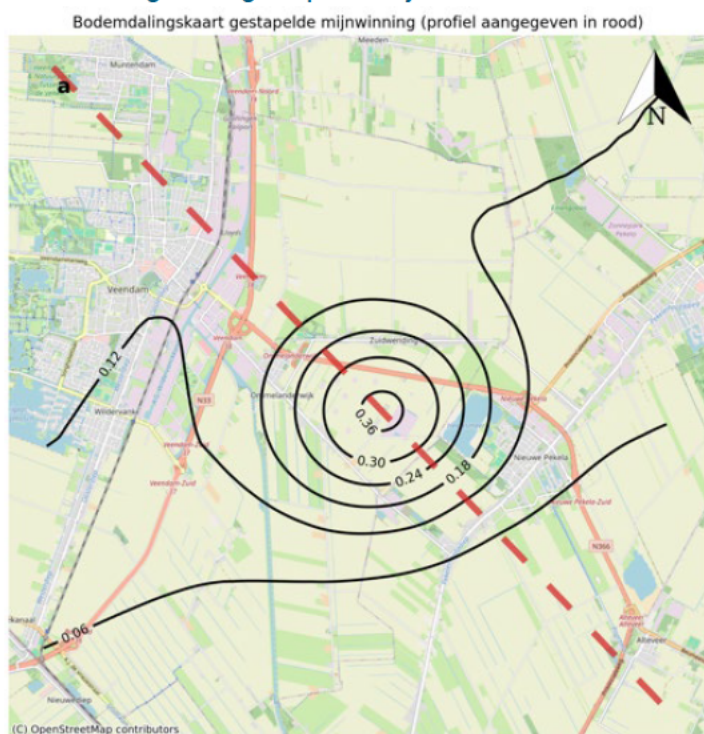
Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2025 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2050 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2075 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2100 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2125 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2150 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2200 verwachte scenario



Bodemdalingskaart gestapelde mijnbouw 2250 verwachte scenario

Bodemdalingskaart gestapelde mijnwinning (profiel aangegeven in rood)

