

Desk studie restzettingen



Desk studie restzettingen

Auteur(s)

Yaro Linnemann

Cor Zwanenburg

Desk studie restzettingen

Opdrachtgever	Gemeente Zuidplas
Contactpersoon	Ruud Steenbakkers
Referenties	106129
Trefwoorden	Zetting, restzetting, restzetting criterium, Zuidplas, slappe grond

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	27-08-2025
Projectnummer	11211840-000
Document ID	11211840-000-GEO-0002
Pagina's	30
Classificatie	
Status	Definitief

Auteur(s)		
	Yaro Linnemann Cor Zwanenburg	

Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Yaro Linnemann	Hans Landwehr	Aukje Baaijens

Samenvatting

De gemeente Zuidplas is bezig met de voorbereiding van de ontwikkeling van een nieuw woongebied. Het project heeft de naam Cortelande (het vijfde dorp) en is gelegen tussen Gouda aan de oostzijde, Zevenhuizen aan de westzijde en Nieuwerkerk aan den IJssel aan de zuidzijde. De gemeente Zuidplas onderzoekt het handelingsperspectief rondom de te hanteren restzettingseis. Om tot een goed beeld van historische eisen, ervaringen, nauwkeurigheden en haalbaarheid te komen heeft de gemeente Zuidplas aan Deltares gevraagd een inventarisatie en analyse te maken van de ervaringen en de restzettingseisen die gebruikt zijn voor woningbouwgebieden met zeer slappe grond.

Het gebied kenmerkt zich door een zeer slappe bodem en hoge grondwaterstanden. Bij het bouwen in dit soort gebieden worden vaak problemen met bodemdaling ervaren. Deze uiten zich bijvoorbeeld op de lange duur door de noodzaak voor meer onderhoud als gevolg van verzakte wegen, openbare nutsvoorzieningen zoals riolering, openbaar groen, sportparken etc. dan de gemeenten in Nederland gemiddeld nodig hebben. Het extra onderhoud leidt niet alleen tot extra kosten, maar ook tot hinder voor de bewoners.

Voor de ontwikkeling van woonprojecten, bedrijfsterreinen of wegen zullen ophogingen nodig zijn. Tijdens het bouwrijp maken zal als gevolg van het gewicht van de aangebrachte ophoging de ondergrond gaan samendrukken. Dit is een tijdsafhankelijk, geleidelijk proces. Bij het bouwrijp maken is het gebruikelijk maatregelen te nemen om de zettingen op termijn te minimaliseren. Hierbij valt te denken aan voorbelasten met een (tijdelijke) overhoogte, toepassen van vacuüm consolidatie etc. Het effect van deze maatregelen op de optredende zettingen wordt vooraf op basis van lokale grondinformatie (grondonderzoek en parameterbepaling) ingeschat. Het werkelijke zettingsverloop kan uiteindelijk afwijken van de verwachting. Dit wordt mogelijk pas na enkele jaren duidelijk. Derhalve dienen vooraf duidelijke eisen te worden gesteld waaraan de maatregelen moeten voldoen en deze dienen in de uitvoering te worden gecontroleerd.

Omdat het optreden van zettingen nooit volledig kan worden voorkomen, tenzij ingrijpende en kostbare maatregelen worden toegepast, wordt een eis gesteld aan de maximaal toelaatbare zetting. De uitgevoerde inventarisatie geeft inzicht in welke maximaal toelaatbare zetting is vastgesteld bij projecten bij een vergelijkbare ondergrond, over welke periode deze zettingseis betrekking heeft en in hoeverre deze eis ook daadwerkelijk is gehaald.

Inventarisatie van zeven bouwprojecten

De inventarisatie heeft 7 projecten uit het Deltares archief en aangeleverd door gemeente Zuidplas opgeleverd waarin het samendrukbare deel van de ondergrond enigszins overeen komt met de ondergrond ter plaatse van het project Cortelande (het vijfde dorp) en tevens voldoende informatie beschikbaar is voor nadere analyse. Reeds bij aanvang van de inventarisatie was duidelijk dat er cases zullen zijn waar niet alle gewenste informatie voor handen zal zijn. Dit heeft met name te maken met de tijdsperiode waarover de zettingseisen, in het algemeen, betrekking hebben. Dit ligt in de orde van een tiental of meerdere tientallen jaren. Het is niet gebruikelijk om de metingen gedurende deze periode te blijven meten of aan het einde van de periode de zettingen te analyseren en vast te stellen of voldaan is aan de zettingseis. De inventarisatie betreft dan ook vooral bouwprojecten waar relatief kort na oplevering duidelijk werd dat de zettingseis werd overschreden.

Analyse van gestelde eisen en conclusies

Uit de geïnventariseerde projecten volgt het beeld dat de gestelde eisen liggen tussen maximaal 0,05 m in 12 jaar, zoals bij de N11 bij Alphen aan den Rijn en 0,20 m in 30 jaar, zoals onder andere bij de Brinkhorst in Moordrecht. Bij alle cases was sprake van restzettingcriteria die is toegepast op de door de bouwwerkzaamheden veroorzaakte zettingen. Autonome bodemdaling was geen onderdeel van het criterium.

Van de projecten waarbij kort na de oplevering bleek dat de zettingseisen werden overschreden zijn de destijds opgestelde analyse rapporten nader bekeken. Het blijkt dat het overschrijden van de zettingseis vaak kan worden verklaard met onvolkomenheden in de controle op de uitvoering. Het is gebruikelijk om de zettingen die tijdens de uitvoering optreden te meten. Vervolgens kunnen de invoerparameters van voorspellingsberekeningen worden geijkt met deze metingen. Daarna kan met de geijkte parameters een (rest)zettingsverwachting worden opgesteld voor de nog te verwachten zettingen. In de projecten waar vroegtijdig de zettingseis werd overschreden stonden of de metingen of de analyse en daaraan gekoppelde controle op de gestelde eis ter discussie.

Verder laat de analyse zien dat in de bouwprojecten geen rekening wordt gehouden met de onzekerheden in de ondergrond. De zettingsberekeningen worden veelal uitgevoerd met verwachtingswaarde van de grondeigenschappen. Door de parameters te optimaliseren aan de hand van metingen tijdens de uitvoering kan de onzekerheid in de primaire zetting verminderd worden, maar het biedt minder zekerheid over de secundaire zetting. Dit betekent dat als er een klein verschil zit tussen de voorspelde zetting en de zettingseis, er een niet verwaarloosbare kans bestaat dat de zettingseis (lokaal) wordt overschreden. Het is niet gebruikelijk deze kans inzichtelijk te maken.

Aanbevelingen

Op basis van de ervaringen uit de inventarisatie wordt het volgende aanbevolen:

- Sluit bij het opstellen van de restzettingseis zoveel als mogelijk aan bij de eisen van de infrastructuur, wegen, riolering etc. Echter, restzettingseisen strenger dan nu in de inventarisatie worden gevonden, worden in de praktijk als onrealistisch ervaren.
- Stel voorafgaand aan de uitvoering, met de uitvoerende partijen vast hoe de zettingen tijdens de uitvoering worden gemeten, geanalyseerd en hoe op basis van de metingen wordt besloten dat wordt voldaan aan de gestelde eisen. Stel ook met elkaar vast welke maatregelen mogelijk zijn indien de gestelde eis niet wordt gehaald. Dit sluit aan bij de principes van de werkwijze : "Observational Method".
- Voer naast een deterministische berekening, waarbij de verwachtingswaarde van de zetting wordt berekend en getoetst, ook een kansberekening uit. De kansberekening geeft informatie over de kans dat, na gebruik van metingen tijdens de uitvoering, de gestelde eis wordt overschreden en zegt dan iets over de betrouwbaarheid van de restzettingsvoorspelling.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Beperkingen	9
1.2.1	Algemeen	9
1.2.2	Bias in de casussen	9
1.2.3	Beperkingen van InSAR data	9
2	Zettingen	10
2.1	Algemeen	10
2.2	Onnauwkeurigheid	12
2.3	Achtergrondzetting	13
3	Gouwe park fase 1	15
3.1	Achtergrondinformatie	15
3.2	Restzettingseis en voorspelling	15
3.3	Voor oplevering	15
3.4	Na oplevering	15
4	A4 Burgerveen-Leiden	17
4.1	Achtergrondinformatie	17
4.2	Restzettingseis en voorspelling	17
4.3	Voor oplevering	17
4.4	Na oplevering	17
5	N11	18
5.1	Achtergrondinformatie	18
5.2	Restzettingseis en voorspelling	18
5.3	Voor oplevering	18
5.4	Na oplevering	18
6	A2 Maarssen - Holendrecht	19
6.1	Achtergrondinformatie	19
6.2	Restzettingseis en voorspelling	19
6.3	Voor oplevering	19
6.4	Na oplevering	19
7	De Brinkhorst	20

7.1	Achtergrondinformatie	20
7.2	Restzettingseis en voorspelling	20
7.3	Voor oplevering	20
7.4	Na oplevering	20
8	Het nieuwe water	21
8.1	Achtergrondinformatie	21
8.2	Restzettingseis en voorspelling	21
8.3	Voor oplevering	21
8.4	Na oplevering	21
9	Essellanden	23
9.1	Achtergrondinformatie	23
9.2	Restzettingseis en voorspelling	23
9.3	Voor oplevering	23
9.4	Na oplevering	24
10	Conclusies	25
10.1	Samenvatting resultaten	25
10.2	Aanbevelingen	27
10.3	Concrete toepassing	28
11	Verwijzingen	29

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De gemeente Zuidplas is voornemens een groot aantal woningen te realiseren. De locatie voor deze woningen wordt omsloten door rijksweg A20 in het zuiden, provinciale weg N219 aan de westzijde, de spoorlijn Den Haag – Gouda aan de noordzijde en de provinciale weg N457 aan de oostzijde. Het project staat bekend onder de naam Cortelande (voormalig: het vijfde dorp).

De ondergrond op deze locatie staat bekend als weinig draagkrachtig en in zowel deze gemeente als in de omringende gemeenten worden problemen met zettingen ervaren. Om in de geplande woongebieden toekomstige problemen met zettingen te minimaliseren of zelfs te voorkomen dient het ontwerp hierop te worden afgestemd. Er zijn verschillende zettingenbeperkende maatregelen mogelijk die tijdens de uitvoering kunnen worden toegepast, zoals het toepassen van een (tijdelijke) overhoogte, vacuüm consolidatie etc. Om de omvang van deze maatregelen te kunnen ontwerpen en tijdens de uitvoering de resultaten te kunnen toetsen is een eis aan de maximaal toelaatbare zetting nodig. Het gaat dan om een restzetting die nog mag optreden na het opleveren van het gebied. Hierbij wordt opgemerkt dat het optreden van enige zetting onvermijdelijk is.

In de voorbereiding van de ontwikkeling van dit gebied wil de gemeente Zuidplas ervaringen met restzettingcriteria in gebieden met een overeenkomstige slappe grondopbouw onderzoeken om handelingsperspectief vast te kunnen stellen voor het te ontwikkelen gebied. Het doel van deze inventarisatie is het samenstellen van enkele historische casussen met betrekking tot zettingsproblematiek in en rond het groene hart. Voor deze casussen wordt waar mogelijk het volgende benoemd:

- Achtergrondinformatie:
 - Locatie, grondopbouw, welk jaar en dergelijken.
- Restzettingseis en voorspelling:
 - Welke eis is gesteld, wat is hier voor gepland en hoe is er een voorspelling gemaakt.
- Voor oplevering:
 - Noemenswaardige gebeurtenissen in de tijd voor oplevering.
- Na oplevering:
 - Vaststellen of de gestelde eis is gehaald.
 - Noemenswaardige gebeurtenissen na oplevering.

De gestelde restzettingseis wordt gecombineerd met een periode waarin deze niet mag worden overschreden. Zoals in de volgende hoofdstukken duidelijk wordt is deze periode veelal een tiental tot enkele tientallen jaren. Deze lange periode maakt het lastig om informatie van de verschillende casussen te verzamelen en zo een compleet beeld te krijgen.

Deze informatie was niet voor elke casus beschikbaar, met name de meetdata na oplevering kon in veel gevallen niet (tijdig) gevonden of meegenomen worden in de analyse.

1.2 Beperkingen

1.2.1 Algemeen

Dit onderzoek is vrijwel volledig gebaseerd op eerder geschreven rapporten van zowel Deltares als andere partijen. Tenzij het tegendeel expliciet benoemd wordt zijn de meetdata zelf niet verwerkt tijdens dit onderzoek, en is wat in dit rapport staat een samenvatting van wat er in de literatuur staat.

1.2.2 Bias in de casussen

Projecten waarin duidelijk is dat de zettingseis kort na oplevering niet wordt gehaald trekken de aandacht. Van deze projecten worden de metingen geanalyseerd en de werkwijze tijdens de uitvoering tegen het licht gehouden. Van deze projecten is veel bruikbare informatie aanwezig die, indien er geen embargo op rust vanwege mogelijke rechtszaken, een goede aanvulling op inventarisatie vormen. Van de projecten waar dit niet optreedt wordt deze analyse niet uitgevoerd.

Dit biaseffect is ook aanwezig door de lange tijdsduur van zetting. Projecten die met zekerheid de zettingseis wel gehaald hebben zijn dusdanig oud dat ze waarschijnlijk niet makkelijk vindbaar zijn in digitale archieven, dit is niet het geval voor projecten die de restzettingseis niet gehaald hebben. Er is enige tijd nodig om vast te kunnen stellen dat de eis definitief behaald is, terwijl een project dat na 2 jaar al te veel zetting ervaart dit direct laat zien.

We zullen dus een relatief goed beeld hebben van *waarom* restzettingseisen niet gehaald worden, maar een vervormd beeld van *hoe vaak* restzettingseisen niet gehaald worden.

1.2.3 Beperkingen van InSAR data

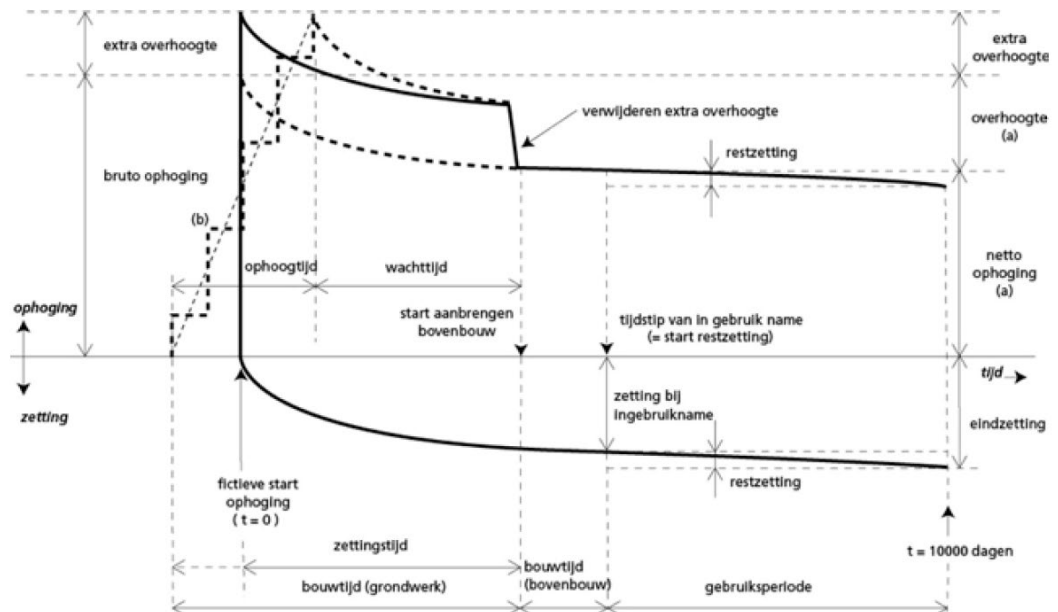
Voor enkele casussen was er geen of weinig monitoringsdata beschikbaar. Om toch informatie over het lange duur zettingsverloop te verkrijgen is er waar mogelijk gebruik gemaakt van openbare InSAR data (1). Het is hierbij belangrijk om te beseffen dat dit geen technische conclusies zijn over het dan wel niet behalen van de restzettingseis in dat project. De extrapolatie van deze relatief korte meetreeks is slechts een indicatie van de restzetting, die alleen bruikbaar is voor onderzoeksdoeleinden. Zie ook de disclaimer van bodemdalingkaart.nl: (2).

2 Zettingen

2.1 Algemeen

Bij het aanbrengen van een ophoging start een zettingsproces gebaseerd op consolidatie (afname van wateroverspanningen) en kruip. Hiervan wordt gebruik gemaakt door tijdens bouwrijpmaken de spanning in de ondergrond tijdelijk sterk te verhogen, bijvoorbeeld door een tijdelijke extra overhoogte. Na bouwrijpmaken resteert dan minder zetting dan wanneer het terrein zou zijn opgehoogd tot het gewenste maaiveldhoogte in de gebruiksfase.

In Figuur 2.1 is dit principe in en het effect op zettingen weergegeven.



Figuur 2.1 Tijd-zetting verloop (bron: (3))

Na het verwijderen van de extra overhoogte start de bouwtijd van bijvoorbeeld huizen en wegen en start daarna de gebruiksfase. Over het algemeen wordt via het restzettingcriterium iets gezegd over welke zetting dan nog mag optreden tot het moment van einde zetting.

De 'eindzetting' bestaat echter niet. In de praktijk wordt doorgaans gerekend met de zetting na 10.000 dagen. Dit heeft te maken met het op basis van de zettingstheorieën verwachte lineaire verloop van de kruipzetting in de tijd op logaritmische schaal. Deze 10.000 dagen komt overeen met 27 jaar. In de praktijk wordt dat ook vaak afgerond op 30 jaar. Het verschil op logaritmische schaal tussen 27 jaar en 30 jaar is zeer gering. Soms wordt aangesloten op onderhoudsperiodes zoals circa 10 jaar of langere levensduur periodes als 50 jaar of 100 jaar.

Zettingsberekeningen worden veelal gemaakt voor de bruikbaarheidsgrenstoestand BGT (grenstoestand 2). De verwachtingswaarde van de berekende zetting is de gemiddelde waarde (50% overschrijdingskans). De bovengrenswaarde heeft een veel kleinere overschrijdingskans. Doorgaans wordt hiervoor 5% aangehouden.

Het is van belang onderscheid te maken tussen eisen aan de restzetting en aan de eindzetting. Veelal wordt een eis gesteld aan de restzetting en niet aan de eindzetting. De

restzettingseis luidt dan bijvoorbeeld: toegestane restzetting is niet meer dan X m in Y jaar. In de meeste gevallen kan ervan worden uitgegaan dat de toegestane restzetting (zettingseis) betrekking heeft op de bovengrenswaarde van de berekende restzetting. Een te grote restzetting leidt tot schade in de ruimste zin van het woord, zoals een onveilige situatie voor verkeer, buitendienststelling van het spoor en breuk van ondergrondse leidingen. Vaak wordt niet vermeld dat de zettingseis betrokken moet worden op de bovengrenswaarde van de berekende zetting.

In de publicatie CROW Betrouwbaarheid van zettingsprognoses (3) zijn restzettingen eisen verzameld. In Tabel 2.1 zijn de zettingseisen samengevat zoals die destijds uit interviews naar voren kwamen.

Tabel 2.1 Samenvatting van de zettingseisen uit interviews 2001/2002 [bron: (3)]

tussenordeweg (provinciale weg)	- restzetting 10.000 dagen na ingebruikname = 0,20 à 0,40 m - restzetting in onderhoudsperiode 0,03 à 0,34 m (afhankelijk van stootplaatlengte en tegenhelling)	- drooglegging? - langsonvlakheid bij kunstwerken beperken tot 1:70
	restzetting 30 jaar na oplevering grondwerk = 0,10 m	rijcomfort, veiligheid, afwatering, verkanting, beperking invloed op belendingen, optimaliseren onderhoud, esthetica
	voor fietspaden + bermen: restzetting 30 jaar na oplevering grondwerk = 0,15 m	
	restzetting 30 jaar na oplevering verharding = 0,05 m	rijcomfort, veiligheid, esthetica, beperking onderhoud

stadsuitbreiding/stedelijk gebied en lagere-orde weg	- restzetting 10.000 dagen na ingebruikname = 0,30 à 0,50 m - restzetting in onderhoudsperiode = 0,15 m	- drooglegging - beperken langsonvlakheid over 25 m bij kunstwerken
	restzetting 10.000 dagen na oplevering grondwerk = 0,10 m	verhinderen van schade aan het rioleringsstelsel
	restzetting 30 jaar na ingebruikname = 0,20 à 0,30 m, soms 0,0 m	beperking onderhoud; ook: vlakheid, afwatering en beperken zettingsverschil met onderheide constructies
	restzetting 30 jaar na heien eerste paal = 0,20 m (tijdstip heien eerste paal ligt kort voor het aanbrennen van de huisaansluitingen)	optimaliseren onderhoud, bevorderen rijcomfort en veiligheid, verhinderen schade kabels en leidingen
	restzetting gedurende onderhoudstermijn (oorspronkelijk 7 jaar, huidige trend 15 jaar) = 0,05 m	
	restzetting 10.000 dagen na oplevering grondwerk = 0,10 à 0,15 m	beperken onvlakheid; verhinderen extra belasting op stootplaten; verhinderen van schade aan rioleringen, beperken verzakking van stoepen en tuinen
	restzetting 20 jaar na ingebruikname = 0,30 m	optimalisatie onderhoud

2.2 Onnauwkeurigheid

De zettingsprognose, die als onderdeel van de voorbereiding van een ophoging op samendrukbare ondergrond wordt opgesteld, heeft veelal een onbekende nauwkeurigheid. Vaak wordt een marge van plus of min 30% aangegeven, maar een theoretische onderbouwing van deze marge ontbreekt.

In de praktijk wordt veel gesproken over de onnauwkeurigheid en de onzekerheid van zettingen. Strikt genomen betekenen deze termen niet hetzelfde. De term onnauwkeurigheid wordt bijvoorbeeld gebruikt om de marge aan te geven van een berekend getal. De term onzekerheid heeft te maken met onzekerheden door onvoldoende bekendheid, zoals variatie in ondergrond en grondonderzoek, of onzekerheden zoals rekenfouten, meetfouten en dergelijke. Derhalve zal meer informatie over de ondergrond, de samendrukkingsparameters, voorspellingsberekeningen en de metingen leiden tot minder onzekerheid.

In (3) zijn enkele analyses uitgevoerd rondom onnauwkeurigheid en die sluiten goed aan bij de vuistregel dat de onnauwkeurigheid van de berekende eindzetting plus of min 30% bedraagt. Voor de berekende restzetting geldt echter een grotere onnauwkeurigheid.

2.3 Achtergrondzetting

Zetting in gebieden wordt voornamelijk bekeken als een ophoging (belastingverhoging) in een gebied wordt aangebracht. Vaak is in veel gebieden, met name slappe grond gebieden, sprake van een zogenaamde achtergrondzetting of autonome zetting. Dit wordt in (4) beschreven als zetting die plaatsvindt onder ongewijzigde omstandigheden¹ bijvoorbeeld ten gevolge van oxidatie en inklinking in polders door eerdere polderpeilverlagingen, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en natuurlijke processen.

Bij de rapportage van de zettingsprognose moet worden aangegeven of, en zo ja hoe, rekening is gehouden met de achtergrondzetting. De achtergrondzetting wordt over het algemeen niet meegenomen in de zettingsberekeningen. De in dit rapport geïnventariseerde cases laten dit ook zien, bovendien worden restzettingcriteria in die cases beoordeeld exclusief deze achtergrond of autonome zetting.

In (4) is aangegeven dat het eenduidig vastleggen hoe hiermee moet worden omgegaan in het ontwerp en tijdens de beoordeling van de monitoring wenselijk is. Dit kan bijvoorbeeld door in de voorbereiding de achtergrondzetting te meten en vervolgens hiervoor of een eenduidig verloop vast te stellen of aan te geven hoe deze meetresultaten meegenomen moeten worden in de zettingsberekeningen.

Let op dat achtergrondzettingen op dit moment geen onderdeel zijn van de modellen die voor zettingsberekeningen worden gebruikt en moeten daarom handmatig worden verdisconteerd. De ontwerper moet zich hiervan bewust zijn en project-specifiek beoordelen of de gevolgen van achtergrondzettingen relevant zijn of niet.

In (4) zijn enkele karakteristieke voorbeelden gegeven waarbij de achtergrondzetting relevant kan zijn, nl.:

- De kerende hoogte van dijken.
- Ter plaatse van overgangsconstructies bij kunstwerken of bij de kruising van objecten die niet gevoelig zijn voor achtergrondzettingen.
- Bij het verifiëren van droogleggingseisen voor (spoor)wegen.

¹ - Autonome bodemdaling: Autonome bodemdaling is een term die gebruikt wordt voor maaiveldzakking die niet direct gerelateerd kan worden aan geotechnische processen, die in het recente verleden zijn geïnitieerd. Het droogleggen van de Flevopolders heeft een initiële zetting tot gevolg gehad, maar dit proces kan nog lange tijd nadien. In deze periode kan er voor de begaanbaarheid van akkerland een polderpeilverlaging worden doorgevoerd, welke op zich weer een nieuwe zetting tot gevolg heeft. Bij veengronden kan een dergelijke polderpeilverlaging ook leiden tot oxidatie en uitdroging van het veen, waardoor een extra maaiveldzakking wordt veroorzaakt. Er zijn echter meer processen die leiden tot een maaiveldzakking. Zo bevindt Nederland zich in een dalingsbekken, dat nog steeds daalt als gevolg van het smelten van het landijs in het noorden. Noorwegen komt nog langzaam omhoog en Nederland daalt nog langzaam.

- Restzettingen vanuit eerdere ophogingen of eerder aangelegde constructies.
- Bodemdaling als gevolg van verdroging of drooglegging: door klimaatverandering of actieve bemaling (polders) kan de bodem inklinken, oxideren of krimpen.
- Bodemdaling als gevolg van drinkwaterwinning: Door winning van drinkwater wordt de waterdruk in een watervoerende zandlaag verminderd. Als gevolg hiervan zal de waterspanning aan de bovenkant van dit pakket afnemen, waardoor de korrelspanning toeneemt. Deze afname van de waterspanning vertaalt zich ook door naar lagen boven de laag waaruit het drinkwater wordt gewonnen. Samendrukbare lagen boven het zandpakket waaruit water wordt gewonnen kunnen hierdoor een toename van de korrelspanning ondergaan, waardoor deze lagen worden samengedrukt.
- Bodemdaling als gevolg van gaswinning: Ook bij gaswinning kan op grote diepte de laag waarin het gas zich bevindt door de drukafname van het gas worden samengedrukt. Dit gaat zoals de laatste decennia in Groningen steeds duidelijker wordt met schokken gepaard.

Opgemerkt wordt dat de achtergrondzetting van het bestaande maaiveld niet persé dezelfde grootte heeft als de achtergrondzetting na het realiseren van een ophoging. De processen in de ondergrond met betrekking tot achtergrondzettingen kunnen worden veranderd, bijvoorbeeld door het onderwaterzakken van veen of humeuze kleilagen door een ophoging. Hierdoor wordt de oxidatie, maar ook uitdroging van deze lagen drastisch gereduceerd dat gevolgen heeft voor de grootte van de achtergrondzettingen. Tijdens de geotechnische beschouwing van een ontwerp zal hierdoor verder gekeken moeten worden dan enkel de achtergrondzettingen van het huidige (maagdelijke) maaiveld.

Een verschil in optredende achtergrondzetting kan ook optreden bij de aansluiting van baanlichamen op kunstwerken en andere overgangsconstructies gefundeerd in een diepe zandlaag. Mocht de diepe zandlaag geen achtergrondzetting vertonen en het omliggende gebied wel, dan dient de achtergrondzetting te worden meegenomen in de berekeningen.

(4) geeft aan dat het de voorkeur heeft dat de opdrachtgever de grootte van de achtergrondzetting aangeeft. Echter, ook is duidelijk dat de grootte van de initiële achtergrondzetting moeilijk te bepalen is. De bodemdalingskaart 2.0 (1), geeft de huidige achtergrondzetting in de recente periode oktober 2017 tot en met oktober 2022. Deze is meer betrouwbaar voor verharde oppervlakten en minder betrouwbaar voor andere locaties.

3 Gouwe park fase 1

3.1 Achtergrondinformatie

Het Gouwe park fase 1 is een bedrijventerrein in Moordrecht waarvan in 2005/2006 het openbare gebied bouwrijp gemaakt is in opdracht van bedrijvenschap regio Gouda (5). De eerste plannen om het gebied bouwrijp te maken uit stammen uit 1998, er is toen grondonderzoek uitgevoerd (5). Uit dit grondonderzoek is gebleken dat de ondiepe ondergrond voornamelijk bestaat uit veen en sterk humeuze klei, met na ongeveer 7 meter onder het maaiveld het begin van de zandlaag (6). Het terrein wordt doorsneden door de baanlichamen van de oude ligging van de snelwegen A12 en A20 (5).

3.2 Restzettingseis en voorspelling

Er is voor het openbare gebied een restzettingseis gesteld van 0,10m in 10.000 dagen na oplevering (5) er is op basis van deze eis door twee partijen een analyse uitgevoerd om de mogelijkheden voor het bouwrijp maken in kaart te brengen (5). De eerste partij kwam tot de conclusie dat er een keuze was tussen geforceerde consolidatie en een overhoogte van 1,5m met verticale drains (5), de tweede partij kwam tot de conclusie dat de keuze tussen geforceerde consolidatie en 2m overhoogte was (5). Er is uiteindelijk de keuze gemaakt om geforceerde consolidatie toe te passen (5).

In het ontwerp wordt voorgesteld de geforceerde consolidatie, hierna de IFCO methode, te combineren met een analyse aan de hand van een zettingsvoorspelling uitgevoerd met behulp van het Koppejan zettingsmodel met de consolidatietheorie van Terzaghi (6). Hierbij is voorspeld dat de zettingen in 3 maanden van de IFCO methode groter zouden zijn dan de natuurlijke zettingen over 10.000 dagen, en de restzetting dus nihil zou zijn (6).

3.3 Voor oplevering

In april en mei 2005 zijn de sleuven aangebracht en is de bemaling begonnen (5). Om de zettingen te monitoren zijn er zakbaken aangebracht en in enkele vakken ook een waterspanningsmeter (5).

In augustus werd er geconstateerd dat er een lichte overschrijding van het zettingscriterium was, maar de keus is gemaakt om de voorbelasting te beëindigen in alle vakken behalve 1, waar het in september beëindigd is (5). Op basis van de meetgegevens uit december is in januari 2006 door de aannemer geconstateerd dat aan alle eisen wordt voldaan (5).

3.4 Na oplevering

Vier jaar na oplevering van het bouwrijp gemaakte gebied is de restzettingseis in een aantal vakken overschreden (5) er is een analyse uitgevoerd om te achterhalen waarom de restzettingseis overschreden is.

In deze analyse is geconstateerd dat er in vakken 1, 2, 3, 5 en 6 onvoldoende effectieve voorbelasting toegepast was, in elk van deze vakken is het restzettingscriterium overschreden in behalve in vak 1 (5).

Er is ook geconstateerd dat er niet voldoende monitoring aanwezig was om de effecten van de voorbelasting voldoende goed te volgen (5). Van de vakken waar de restzettingseis overschreven is waren alleen in vakken 1 en 3 waterspanningsmeters aanwezig. Uit de

meetresultaten hiervan is gebleken dat de stijghoogte door bemaling niet voldoende gedaald is (5). De daling van de grondwaterstand in de sleuven is een belangrijk onderdeel van de belasting die op de ondergrond wordt aangebracht. Ook is er met de waterspanningsmeters geen nulmeting uitgevoerd (5).

Tot slot is geconstateerd dat de optredende zettingen werden gecontroleerd aan de hoeveelheid zetting per week (5) er werd niet gekeken naar de totale optredende zetting en er werd niet vergeleken met de voorspelde zetting (5).

De combinatie van te weinig voorbelasting, te weinig monitoring om dit te volgen en verkeerde criteria waarmee de optredende zetting werd getoetst leidde tot de overschrijding van de gestelde eis (5).

4 A4 Burgerveen-Leiden

4.1 Achtergrondinformatie

Dit hoofdstuk betreft de verbreding van de A4 Burgerveen-Leiden die tussen 2010 en 2014 aangelegd is, het behandelt de terpen rond het kunstwerk Dwarswatering (oostbaan) en het wegvak Papemeer (oostbaan). De oostbaan bij Dwarswatering is vanaf maart 2012 opengesteld voor verkeer (7). De ondergrond ter plaatse van de verbreding bestaat uit een pakket slappe lagen van voornamelijk klei en in mindere mate veen (8) van circa 10 meter dik met daaronder pleistoceen zand (9). Er is door de aannemer grondonderzoek uitgevoerd met behulp van sonderingen en boringen. De samendrukkingsparameters zijn gebaseerd op laboratoriumonderzoek (9), hierbij is een niet onderbouwde onzekerheidsfactor van 1,1 toegepast (7). Er is in het geohydrologische onderzoek een stijghoogte gevonden in het pleistocene zand die afweek van het polderpeil (7).

4.2 Restzettingseis en voorspelling

Er is bij dit project voor de overgangen en de aardebaan naar kunstwerken een restzettingseis gehanteerd van maximaal 0,10 m tijdens de garantieperiode die liep tot 7 jaar na de oplevering van de hele verbreding (7). Omdat deze delen eerder opgeleverd zijn is dit in werkelijkheid een restzettingseis van 0,10 m in 9 jaar. Voor de aardebaan tussen de kunstwerken is een restzettingseis van 0,15 m in dezelfde tijd afgeleid, volgens een Deltares toetsing was deze restzettingseis niet streng genoeg afgeleid van de langsvlakheid (7). In de opdracht heeft de aannemer de keuze gekregen tussen een zettingsvoorspelling met het abc isotachen model of met een Buisman-Koppejan model. De aannemer heeft gekozen voor het Buisman-Koppejan model, dit model was destijds niet meer gangbaar (7). De afwijkende stijghoogte in het pleistocene zand is niet meegenomen in dit model (7). Uit een second opinion kwam de conclusie dat het ontwerp van de aannemer net aan de eisen voldeed (7).

4.3 Voor oplevering

Er is monitoring uitgevoerd op basis van zakbaakmetingen, in een second opinion was het advies gegeven om ook waterspanningsmetingen te verrichten, dit is niet gedaan (7). Er zijn van te voren mogelijke maatregelen bedacht voor het geval dat de restzettingen groter dan verwacht werden (7).

4.4 Na oplevering

In de periode tussen vrijgave en februari 2014 zijn er restzettingen opgetreden die volgens Rijkswaterstaat niet voldoen aan de contracteisen (7). Er is naar aanleiding hiervan een analyse uitgevoerd om de mogelijke oorzaken van deze overschrijding te achterhalen. Uit deze analyse zijn de volgende punten gekomen:

- Het effect van de voorbelasting was overschat door het gebruik van een 2D zettingsmodel, terwijl de vorm van de belasting het gebruik van een 3D zettingsmodel vereist (7).
- De tijdelijke overhoogte was verder van de damwand verwijderd in de realiteit dan in het model (7).
- De spanningsspreiding van de verbreding van de aangrenzende rijbaan was tevens niet meegenomen in de berekeningen (7).
- Het gebruik van het Buisman-Koppejan model leidde tot onderschatting van de restzettingen (7).

5 N11

5.1 Achtergrondinformatie

Dit hoofdstuk betreft de aanleg van de N11 tussen Alphen aan den Rijn en Bodegraven. Deze rijksweg is tussen 2001 en 2004 aangelegd in opdracht van Rijkswaterstaat, het contract omvat tevens het onderhoud van de weg voor de eerste 10 jaar na aanleg (10). De grondopbouw is sterk heterogeen, met veel slappe veen- en kleilagen tot een diepte van circa 10m (8). Ook zijn er geulopvullingen aanwezig (10).

5.2 Restzettingseis en voorspelling

De restzettingseis is door de aannemer vertaald van een langsonvlakheid van 0,05 m over 25m in 12 jaar voor de hoofdbaan naar een absolute restzettingseis van 0,05 m in 12 jaar. Deze omrekening is twee keer zo streng als de CROW publicatie 204 (10). In het ontwerp is voor de restzetting gebruik gemaakt van de verwachtingswaarden van de ondergrondeigenschappen, terwijl de restzettingseis absoluut is (10). Er is een zettingsberekening uitgevoerd met een NEN-Bjerrum isotachen model in combinatie met Kjellman en Carillo voor het consolidatie gedrag (10). In dit model is geen onderscheid gemaakt tussen klei, basisveen en hollandveen (10). Er is wel aandacht besteed aan de grensspanning, de POP is bepaald aan de hand van samendrukkingsproeven. De berekeningen zijn uitgevoerd op profielen die volgens de ondergrond en geometrie de meeste zetting op zullen leveren (10).

5.3 Voor oplevering

In een Cobouw artikel staat dat de voorbelasting eerder weggehaald is bij de opritten naar de kunstwerken om de kunstwerken te kunnen bouwen (11). Volgens de second opinion van GeoDelft zijn de zettingsparameters aan de hand van monitoring geoptimaliseerd, hiervoor zijn zakbaakdata gebruikt (12).

5.4 Na oplevering

Binnen een jaar na oplevering waren er onvoorziene problemen. Een geotechnicus van een van de bouwbedrijven in het consortium N11 weet deze verzakkingen toe aan onder andere het feit dat er voor het hele wegvak gerekend is met een invloed van de voorbelasting op basis van metingen in het midden van het wegvak, terwijl de voorbelasting bij de opritten naar de kunstwerken eerder weggehaald is (11).

In 2006 is er door GeoDelft een second opinion uitgevoerd naar aanleiding van de overschrijding van de zettingsprognose rond de kruising met de Spoorlaan (12). In deze second opinion werd benoemd dat eerdere rapportages de geluidswal aanwezen als mogelijke verklaring voor de overschrijding. Volgens deze rapporten had de geluidswal een groter volume gekregen dan origineel gepland, en lag het direct tegen de asfaltconstructie aan terwijl er in het getoetste ontwerp een afstand van 2 meter tussen zat (12). In het GeoDelft rapport wordt aangegeven dat de aanwezigheid van de geluidswal niet alleen de zettingsproblematiek van verklaren (12). Er wordt tevens opgemerkt dat de spanningsspreiding ter plaatse van de kopterp een belangrijke rol speelt, deze is hier echter niet in de zettingsprognose opgenomen (12). In de GeoDelft rapportage wordt genoemd dat, er van uitgaande dat de zakbaakfits goed uitgevoerd zijn, het onderschatten van de kruipterm en het ontbreken van spanningsspreiding in de fits een goede verklaring kan zijn voor de afwijkingen (12).

6 A2 Maarssen - Holendrecht

6.1 Achtergrondinformatie

Dit hoofdstuk betreft de verbreding van de A2 tussen Maarssen en Holendrecht, specifiek het noordelijke deel van de Westbaan op de as van de weg. In 1998 heeft Rijkswaterstaat de opdracht gegeven om bodemonderzoek uit te voeren om dit proces voor te bereiden (13), hiervan zijn in het Delft Cluster onderzoek 21 proeven op veen, 3 proeven op humeuze klei en 6 proeven op siltige klei behandeld. De grond bestaat hier voornamelijk uit een bovenlaag van klei met daaronder een veenlaag waarbij de dikte van de kleilaag sterk varieert over de ruimte (14), in totaal is er ongeveer 6 m aan slappe lagen te vinden (13). Tussen 2006 en 2012 is de weg aangelegd (15), in Maart 2011 is de hoofdbaan geopend en in midden 2012 zijn de onderliggende wegen opengesteld (15).

6.2 Restzettingseis en voorspelling

Er was voor dit project een restzettingseis gesteld van 0,15 m in 30 jaar (13). Als deel van het Delft Cluster onderzoek zijn er zettingsvoorspellingen gemaakt (14), hierbij zijn de aangeleverde Koppejan parameters omgerekend naar NEN-Bjerrum en abc isotachen parameters (14). In het Delft Cluster onderzoek is voor de ontwerpberekening van de Westbaan tussen kilometer 44,6 en 46 met NEN-Bjerrum een restzetting tussen de circa 0,02 m en 0,16 m gevonden afhankelijk van kilometrage (14).

6.3 Voor oplevering

Er is monitoring uitgevoerd aan de hand van zakbaken (13), deze zijn gebruikt in het Delft Cluster onderzoek om de zettingsberekeningen te fitten (14). In het Delft Cluster onderzoek is na het fitten aan zakbaakgegevens voor de as van de weg een restzetting gevonden tussen de circa 0,02 m en 0,22 m.

6.4 Na oplevering

Er is in een afstudeerproject gekeken naar inSAR data van de Westbaan en een zettingsberekening op basis van NEN-Bjerrum (16) met de grondparameters uit een eerder Deltares rapport (16). In de resultaten is de berekening op basis van NEN-Bjerrum vergeleken met de inSAR metingen, hieruit bleek dat de zetting snelheid langzamer verliep dan het model voorspelde (16). Dit is een positieve indicatie wat betreft het halen van de restzettingseis, maar nog geen harde conclusie omdat de periode van 30 jaar nog niet is verstreken.

7 De Brinkhorst

7.1 Achtergrondinformatie

Tussen 2014 en 2019 is woningbouwlocatie De Brinkhorst in Moordrecht bouwrijp gemaakt. De informatie in dit hoofdstuk komt voornamelijk uit de rapportage van het Ingenieursbureau (17). Deze woonwijk is aangelegd in een veenweidegebied, met 3-5 m aan slappe klei/veenlagen boven het pleistocene zand. De locatie is op basis van de bodemopbouw onderverdeeld in 5 gebieden, het werd aangelegd in 12 fasen (17). De netto ophoging van het openbare gebied betreft circa 0,75 m (17).

7.2 Restzettingseis en voorspelling

Er is voor deze locatie een restzettingseis van 0,20 m in 30 jaar vastgesteld (17). Er is per bodemprofiel een zettingsberekening uitgevoerd met de NEN-Bjerrum methode en het Terzaghi consolidatiemodel (17). In deze berekening werd een voorbelastperiode van 6 maanden aangenomen in combinatie met verticale drainage met een hart op hart afstand van 0,9 m of 1 m afhankelijk van profiel (17). De hoogte van de voorbelasting in het openbare gebied bedraagt 0,5 m of 0,75 m afhankelijk van het profiel (17). Uit deze zettingsberekening kwam een restzetting tussen de 0,15 en 0,20 m over 30 jaar afhankelijk van het profiel (17).

7.3 Voor oplevering

Er is tijdens deze studie geen informatie gevonden over monitoring of afwijking van ontwerp voor oplevering.

7.4 Na oplevering

Er is een zakbaakanalyse uitgevoerd in perceel 3B in deelgebied 2 (18). De zetting is hier tijdens de voorbelasting gemeten en gebruikt om een D-settlement berekening te fitten (18). In het rapport van de zakbaakanalyse wordt geconcludeerd dat de zakbaken niet meer zakken en dat er op basis van de beschikbare gegevens wordt voldaan aan de restzettingseis van 0,20 m in 30 jaar (18).

8 Het nieuwe water

8.1 Achtergrondinformatie

Dit hoofdstuk betreft deelgebied “waterkamer 1” van het woningbouwproject “Het Nieuwe Water” te 's-Gravenzande, de informatie komt hier uit het rapport van het ingenieursbureau (19).

Het rapport geeft aan dat er ter plaatse van dit deelgebied een woonwijk en bijbehorende infrastructuur werd aangelegd (19). Hierbij wordt benoemd dat er voldoende ontwateringsdiepte nodig is vanwege een verhoogde kans op vorstschade (19).

Er is grondonderzoek uitgevoerd in de vorm van 17 sonderingen tot een diepte van circa 20 m en 2 mechanische boringen tot een diepte van 10 m (19). Uit dit grondonderzoek is gebleken dat de ondergrond bestaat uit veel klei, met dunne veenlagen en tussenlagen zand bovenop het pleistocene zand (19). Het BRO ondergrondmodel GeoTOP toont circa 20 m van klei, zand en zanderige klei (8). Het rapport geeft aan dat de aangetroffen grondopbouw sterk heterogeen is (19).

8.2 Restzettingseis en voorspelling

Het rapport geeft aan dat er voor de wegen een ontwerppeil was van circa NAP + 0,6 m , er is gerekend met een waterpeil NAP - 0,4 m. Dit geeft een drooglegging van ongeveer een meter (19).

Er is een restzettingseis van 0,10 m over een periode van 30 jaar voor de wegen in het gebied (19). Het rapport beschrijft dat er in 2010 voor 4 bodemprofielen zettingsanalyses uitgevoerd zijn met behulp van een Koppejan zettingsmodel en de consolidatietheorie van Terzaghi (19). De grondparameters voor de zettingsanalyse zijn gebaseerd op het uitgevoerde grondonderzoek, de NEN6740:2006 en ervaring (19).

De resultaten van de zettingsanalyse laten een figuur zien waar de bruto en netto zanddikte tegen elkaar uitgezet zijn (19). Ook wordt er genoemd dat de zettingsgevoeligheid sterk kan verschillen tussen de locaties (19). Dit is ook af te lezen uit de figuur, bij een ophoging van 4 m is er een eindzetting tussen de 0,6 m en 1,6 m afhankelijk van het bodemprofiel (19). Het rapport bevat tevens een tabel met restzettingen voor de verschillende bodemprofielen voor een voorbelastperiode van 6 of 12 maanden (19). Deze tabel geeft voor elk profiel voor de restzetting aan dat het minder dan 0,10 m over 30 jaar is, maar er staan geen exacte waarden (19).

8.3 Voor oplevering

Er is tijdens deze studie geen informatie gevonden over monitoring of afwijking van ontwerp voor oplevering.

8.4 Na oplevering

Er is tijdens deze studie geen informatie gevonden over monitoring na oplevering. Om nog enige informatie te verzamelen is er daarom gebruik gemaakt van openbare InSAR data (1). Figuur 8.1 laat dit gebied zien op bodemdalingskaart.nl. Hier is te zien dat er een mix van grotere en kleinere verzakkingssnelheden in het gebied aanwezig is. Bij nadere inspectie lijkt het merendeel van de rode punten zich te bevinden in de percelen, aangezien de

restzettingseis van 0,10 m in 30 jaar alleen van toepassing is op de wegen (19) hebben deze punten dus waarschijnlijk geen betrekking op het al dan niet behalen van deze eis. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de standaardafwijking van de horizontale positie van de meetpunten circa 10 m is (1), en deze punten dus ook niet met zekerheid compleet uitgesloten kunnen worden. De resterende punten die zich volgens de kaart op de weg bevinden hebben zettingen tussen de circa 1 en 5 mm per jaar (1). Gezien het gebrek aan originele zettingsmodellen en de grote horizontale standaardafwijking is er op basis van deze informatie niet definitief te zeggen of de restzettingseis gehaald wordt. Zowel “de restzettingseis is behaald” en “de restzettingseis is niet behaald” zijn plausibel.



Figuur 8.1 In paars omlijnd fase 1 van het nieuwe water op bodemdalingkaart.nl (1)

9 Essellanden

9.1 Achtergrondinformatie

Dit hoofdstuk betreft fase 3 van woningbouwlocatie Essellanden in Gemeente Wateringen in de Oud- en Nieuw Wateringveldsche Polder (20). Het gebied ligt tussen de Bovendijk aan de noordwestzijde, de Dorpskade aan de zuidwestzijde, de Middenweg aan de zuidoostzijde en de Esselsingel aan de noordoostzijde (20). Boorprofiel B37B3365 op DINOloket toont afwisselende lagen van voornamelijk klei en zand (21). Het ondergrondmodel GeoTOP toont een bovenlaag tussen de 1-3 m dik van klei en veen, met daaronder een tussenzandlaag van circa 6m dik en een zanderig kleipakket van circa 9 m dik (8). De informatie in dit hoofdstuk komt uit de rapportage van de aannemer.

9.2 Restzettingseis en voorspelling

In februari 1998 is er een advies opgesteld om het gebied bouwrijp te maken (22). Volgens de rapportage is er in dit gebied een restzettingseis gesteld van 0,10 m over een periode van 30 jaar, er staat ook dat er een restzetting van 0,09 m over 30 jaar berekend is (22). Hier is ook aangegeven dat deze restzetting volgens dit advies bereikt kan worden met een voorbelastperiode van 3 tot 12 maanden afhankelijk van de dikte van de voorbelasting (22).

In maart 2000 is er een ophoging aangebracht dat volgens de rapportage afwijkt van dit originele advies (22), hier wordt ook genoemd dat er met de aangebrachte voorbelasting twee tot drie jaar nodig zou zijn om de restzettingseis te halen. Hier noemt de rapportage dat de volgende redenen aangegeven zijn voor deze afwijking van het plan: De eerste reden zou zijn dat er een drainerende zandlaag aanwezig was die over het hoofd gezien was bij het originele advies, volgens de rapportage wordt deze wel genoemd in het originele advies (22). De tweede reden zou een fout in de rekensoftware zijn (quote uit bron "Ook is als reden aangevoerd dat er ten tijde van het opstellen van het rapport een fout in de software aanwezig zou zijn") (22). Tot slot wordt er benoemd dat het mogelijk is dat de voorbelasting aangebracht is ter behoeve van de tuinen (22).

Om de restzettingseis sneller te bereiken stelt de rapportage voor om verticale drainage in combinatie met een zandpakket toe te passen ter plaatse van de huidige voorbelasting (22). Voor het deel dat nog niet voorbelast was werd voorgesteld om een zandpakket van twee meter aan te brengen in combinatie met verticale drainage, hierbij wordt aangegeven dat de benodigde zetting waarschijnlijk binnen 3 tot 4 maanden bereikt zou worden (22).

Uit de latere rapporten van de aannemer lijkt te zijn gekozen voor een voorbelasting van 2 meter zand voor een tijd van 3 maanden (20). Ook is er gekozen voor het gebruik van verticale drains met een hart op hart afstand die varieert tussen 1,50m en 3m (20). Er is sprake van een netto ophoging van circa 1,05 m (20).

9.3 Voor oplevering

De eerder genoemde voorbelasting van 2 meter zand in combinatie met verticale drains is in het noordelijk deel, dat tevens sinds maart 2000 in gebruik was als gronddepot in juli 2000 aangebracht (20). In het zuidelijk deel is in juli 2001 de voorbelasting gestart (23).

In de periode tussen maart en september 2001 is in het noordelijk deel met behulp van 27 zakbaken gemonitord (20). De rapportage noemt dat er met behulp van extrapolatie een voorspelling gemaakt is van de eindzetting, aan de hand hiervan werd de inschatting

gemaakt dat de restzettingen tussen de 0 en 0,10 m bedragen na het verwijderen van de overhoogte (20).

Het zuidelijk deel is tussen augustus 2001 en februari 2002 gemonitord met behulp van 35 zakkaken (23). Ook hier wordt met behulp van extrapolatie voorspeld dat de restzettingen tussen de 0 en 0,10 m zullen bedragen (23).

Voor beide delen wordt benoemd dat de gemeten zettingen iets minder groot zijn dan vooraf voorspeld (20) (23). Hiervoor wordt de plaatsing van de zakkaken als oorzaak aangewezen, in combinatie met het tussentijds ontlasten (20) en een voormalig warehouse (23).

9.4 Na oplevering

Er is tijdens deze studie geen informatie gevonden over monitoring na oplevering. Om nog enige informatie te verzamelen is er daarom gebruik gemaakt van openbare InSAR data (1). Figuur 9.1 laat de locatie zien op bodemdalingskaart.nl (1). Hier is te zien dat er in dit gebied voornamelijk groene punten te zien zijn, met voornamelijk zetting snelheden in de orde van 1-2 mm per jaar en enkele uitschieters in beide richtingen. Deze zettingssnelheid is een positieve indicatie, er treedt immers geen hoge zettingssnelheid meer op, maar door de beperkingen van de openbare InSAR data, de lange tijd sinds aanleg en het gebrek aan origineel model om op te fitten kan hier niet met zekerheid een conclusie getrokken worden over het al dan niet halen van de restzettingseis.



Figuur 9.1 In paars omlijnd het gebied Essellanden op bodemdalingkaart.nl (1)

10 Conclusies

10.1 Samenvatting resultaten

De resultaten van deze studie zijn samengevat in Tabel 10.1, hier is voor elke casus de informatie over de restzettingseis, het al dan niet behalen van de eis, het model en de ondergrond te vinden.

Tabel 10.1 Samenvattende tabel resultaten desk studie

Casus	Restzettingseis	Eis gehaald	Opmerking	Wanneer opgeleverd	Modelsoort	Slappe lagen pakket
Gouwe park 1	0,10 m/27 jaar (5)	Nee (5)	IFCO methode te vroeg beëindigd Onvoldoende monitoring om effect voorbelasting vast te stellen (5)	2006 (5)	Koppejan + Terzaghi (6)	Circa 7m veen en sterk humeuze klei (6)
A4	0,10 m/7 jaar (overgang kunstwerken) 0,15 m/7 jaar (aardebaan) (7)	Nee (7)	Beperkt zettingsmodel en advies uit eerdere toetsing niet opgevolgd (7)	2012 (7)	Koppejan + Terzaghi (7)	Veel klei met dunne lagen veen, circa 4-11m tussen cunet en zand (9)
N11	0,05 m/12 jaar (10)	Nee (10)	Korte uitvoeringsduur, zware toevoeging (12) (11)	2004 (10)	NEN-Bjerrum + Kjellman/Carillo (10)	Sterk heterogeen, veel veen en klei tot 10m dik (8)
A2 Maarssen-Holendrecht	0,15 m/30 jaar (13)	Positieve indicatie	Slechts indicatie, geen zekerheid. Zetting volgens inSAR minder dan model (16)	2011	NEN-Bjerrum + Darcy (14)	Bovenlaag klei, daaronder veen in totaal circa 6m slappe lagen (13)
Moordrecht brinkhorst	0,20 m/30 jaar (17)	Ja (Perceel 3B) (18)	Perceel 3B voldoet	2019 (18)	NEN-Bjerrum + Terzaghi (17)	3-5m slappe klei/veenlagen (17)
Het nieuwe water	0,10 m/30 jaar (19)	Onduidelijk	Slechts indicatie, geen zekerheid.	waarschijnlijk tussen 2010-2020	Onbekend	Circa 20m klei, zand en zanderige klei (8)
Esselanden	0,10 m/30 jaar (22)	Positieve indicatie	Slechts indicatie, geen zekerheid.	waarschijnlijk tussen 2001-2005	Onbekend	In totaal slappe lagen circa 11m voornamelijk klei met 6m tussenpakket zand (8)

Bij alle cases was sprake van restzettingcriteria die is toegepast op de door de bouwwerkzaamheden veroorzaakte zettingen. Autonome bodemdaling was geen onderdeel van het criterium.

Uit de tabel blijkt dat bij de geïnventariseerde casussen niet altijd het restzettingscriterium is gehaald. Bij 1 case is het duidelijk dat het criterium is gehaald, het criterium was 0,20 m in 30 jaar. Van 2 andere cases ontbreken lange duur meetgegevens van de zetting, maar geven bodemdalingsgegevens van de bodemkaart de indicatie dat dit positief is. Hier waren de criteria 0,15 m in 30 jaar en 0,10 m in 30 jaar. De ondergrond was hier mogelijk minder slap dan bijvoorbeeld in gemeente Zuidplas wordt aangetroffen. De overige cases waar het criterium niet werd gehaald hadden waarden tot 0,10 m / 30 jaar of betroffen infrastructuur projecten.

Van de projecten waarbij kort na de oplevering bleek dat de zettingseisen werden overschreden zijn de destijds opgestelde analyse rapporten nader bekeken. Het blijkt dat het overschrijden van de zettingseis vaak kan worden verklaard met onvolkomenheden in de controle op de uitvoering. Het is gebruikelijk om de zettingen die tijdens de uitvoering optreden te meten en op basis van deze metingen vast te stellen of de voorspellingen dienen te worden bijgesteld. Vervolgens kunnen de invoerparameters van berekeningen worden bijgesteld met deze metingen. Daarna kan een zettingsverwachting worden opgesteld voor de nog verwachte zettingen. In de projecten waar vroegtijdig de zettingseis werd overschreden stonden of de metingen of de analyse en daaraan gekoppelde controle op de gestelde eis ter discussie.

Verder wordt geconstateerd dat in de projecten geen rekening wordt gehouden met de onzekerheden in de ondergrond. De zettingsberekeningen worden veelal uitgevoerd met verwachtingswaarde van de grondeigenschappen. Door de parameters te optimaliseren aan de hand van metingen tijdens de uitvoering wordt weliswaar een groot deel van de onzekerheid ondervangen, maar blijft er een restonzekerheid over. Dit betekent dat als de marge tussen de voorspelde zetting en de zettingseis gering is, er een niet verwaarloosbare kans bestaat dat de zettingseis (lokaal) wordt overschreden. Het is niet gebruikelijk deze kans inzichtelijk te maken. Met moderne rekentechnieken is dat wel mogelijk.

10.2 Aanbevelingen

Op basis van de ervaringen uit de inventarisatie wordt het volgende aanbevolen:

- Bij het opstellen van de restzettingseis zoveel als mogelijk aan te sluiten bij de eisen van de infrastructuur, wegen, riolering etc. Echter, eisen strenger dan de eisen die in de inventarisatie worden gevonden, worden in het werkveld als onrealistisch ervaren.
- Voorafgaand, met de uitvoerende partijen vaststellen hoe de zettingen tijdens de uitvoering worden gemeten, geanalyseerd en hoe op basis van de metingen wordt besloten dat wordt voldaan aan de gestelde eisen. Hier hoort bij vooraf vast te stellen welke maatregelen mogelijk zijn indien wordt vastgesteld dat niet wordt voldaan aan de gestelde eis. Dit sluit aan bij de principes die worden toegepast bij de werkwijze bekend als: "Observational Method" (24).
- Naast een deterministische berekening, waarbij de verwachtingswaarde van de zetting wordt berekend en getoetst, ook een kansberekening uit te voeren. De kansberekening geeft informatie over de kans dat, na gebruik van metingen tijdens de uitvoering, de gestelde eis wordt overschreden.

Het onderhoud van infrastructuur als gevolg van zakkingsproblemen heeft zowel een financiële als een maatschappelijke impact. Het verzamelen van informatie over de haalbaarheid van zettingseisen en de mate van succes van zettingsbeperkende maatregelen kan helpen bij het verkleinen van die impact. Deze inventarisatie kan worden gezien als een

eerste aanzet daartoe. Aanbevolen wordt deze inventarisatie verder uit te bouwen tot een ervaringsdatabase. Hiermee kunnen toekomstige projecten inzichten krijgen in haalbaarheid van de eisen en het gebruik van zettingsbeperkende maatregelen.

10.3 Concrete toepassing

Tabel 10.1 laat een wisselend beeld zien van de haalbaarheid van de verschillende mogelijke restzettingseisen. Om het onderzoeksresultaat een stap concreter te maken worden hieronder drie mogelijkheden besproken:

- Restzettingseis van 20 cm in 30 jaar excl. autonome bodemdaling
Op basis van de inventarisatie lijkt dit een eis die haalbaar is met reguliere maatregelen zoals het toepassen van voorbelasting en drainage. Wel dient zoals in de aanbevelingen is weergegeven er een goede controle op ontwerp en uitvoering te zijn.
- Restzettingseis van 10 cm in 30 jaar excl. autonome bodemdaling
Op basis van de inventarisatie lijkt deze eis moeilijk haalbaar met reguliere maatregelen zoals het toepassen van een voorbelasting en drainage. Om een dergelijke eis te halen zijn naar verwachting een lange uitvoeringsduur en/of geavanceerde en daarmee dure uitvoeringstechnieken nodig.
- Restzettingseis van 20 cm in 30 jaar incl. autonome bodemdaling
Op het moment van schrijven van dit rapport is de grootte van de bodemdaling in het gebied niet bekend. De bodemdalingskaart (1) geeft een indruk, deze kan oplopen tot 0,5 cm / jaar en daarmee tot 15 cm in 30 jaar. Hiermee is een groot deel van de toelaatbare restzetting opgesoupeerd door de bodemdaling. De restzettingseis van maximaal 20 cm in 30 jaar inclusief bodemdaling komt dan neer op maximaal 5 cm in 30 exclusief bodemdaling. Dit is een zeer lastig haalbare eis. In dit gebied zal de autonome bodemdaling grotendeels ontstaan door de verwerking van veen. Zoals in Paragraaf 2.3 gesteld, zullen deze processen waarschijnlijk afnemen naar mate het veen verder onder de grondwaterstand wordt gedrukt. Verwacht mag worden dat het verwerken van het veen, de belangrijkste bron van bodemdaling in dit gebied, onder de voorbelasting sterk zal afnemen. Afhankelijk van deze afname in verwerking van het veen, ligt de haalbaarheid van deze eis tussen het bovengenoemde voorbeeld en de eerste eis.

1. **SkyGeo**. Bodemdalingskaart 2.0. *Bodemdalingskaart.nl*. [Online] 2022. [Citaat van: 30 Mei 2025.]
<https://bodemdalingenkaart.portal.skygeo.com/portal/bodemdalingskaart/u2/viewers/basic/>.
2. —. Disclaimer. *bodemdalingskaart.nl*. [Online] 2020. [Citaat van: 2 Juni 2025.]
<https://bodemdalingenkaart.nl/nl/disclaimer/>.
3. **CROW**. *Betrouwbaarheid van zettingsprognoses*. 2013.
4. —. *Construeren met grond*. 2025.
5. **Zwanenburg, C.** *Zettingsproblematiek bedrijventerrein Gouwe Park*. Delft : Deltares, 2010. 1202519-000-GEO-0003.
6. **Wiha Grondmechanica BV**. *Second opinion bouwrijp maken Bedrijventerrein Gouwepark te Waddinxveen*. Gouda : Wiha Grondmechanica BV, 2003. WN-11908.
7. **Venmans, A.** *A4BL bevindingen toetsing verificatie geotechnisch ontwerp*. Delft : Deltares, 2014. 1209718-000-GEO-0002.
9. **BAM infra**. *Verbreding A4 Burgerveen-Leiden Grondparameters aardebaan zuid*. sl : BAM infra, 2007. A4-WG-00-R-20511.
10. **Zwanenburg, C.** *second opinion geotechnisch ontwerp aardebaan N11*. Delft : GeoDelft, 2006. 422820-003-v1.
11. **Cobouw**. N11 tussen Alphen en Bodegraven blijft verzakken. *cobouw.nl*. [Online] 8 September 2005. [Citaat van: 2 Juni 2025.] <https://www.cobouw.nl/72883/n11-tussen-alphen-en-bodegraven-blijft-verzakken>.
12. **Zwanenburg, C.** *second opinion geotechnisch ontwerp aardebaan N11, kunstwerk 5*. Delft : GeoDelft, 2006. 422820-005-v1.
13. **Haumann, M.J.K en Mombarg, M.P.C.M.** *Nauwgezet?1*. sl : Hogeschool Van Hall Larenstein, 2006. D-ER-060830-1.
14. **Visschedijk, M.A.T. en de Temmerman, L.M.J.** *Zetting door wegophoging: casestudie A2 Holendrecht Maarssen*. Delft : Deltares, 2009. 1001129-033-DSC-0001.
15. **Boskalis**. Project sheet Holendrecht-Maarssen, the Netherlands. *boskalis.nl*. [Online] September 2014. [Citaat van: 11 June 2025.]
https://boskalis.com/media/fbejbjhf/a2_holendrecht-maarsen.pdf.
16. **Dick, J.** *Long-term settlement predictions for small load increments in soft soil areas*. Delft : TU Delft, 2022.
17. **Essink, S.** *Bouwrijp advies - Woningbouwlocatie De Brinkhorst*. Naaldwijk : van der Waal & Partners, 2014. RAP01RVI10600 .
18. **RPS advies- en ingenieursbureau bv**. *Zakbaakanalyse deelplan 3b t.b.v. project Brinkhorst te Moordrecht*. Delft : RPS advies- en ingenieursbureau bv, 2019. 1905326A00-N19-171 .
19. **Fugro Ingenieursbureau BV**. *“HET NIEUWE WATER” - KAMER 1*. Leidschendam : Fugro Ingenieursbureau BV, 2010. 3008-0202-008.R02/MPR/ASG.
20. **Van der Waal & Partners**. *RapportZBK301tm327*. sl : Van der Waal & Partners, 2001.
21. **TNO Geologische Dienst Nederland**. Ondergrondgegevens. *DINOloket*. [Online] [Citaat van: 16 Juni 2025.] <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>. B37B3365.
22. **Van der Waal & Partners**. *Voorbelasting fase 3 Notitie#620*. sl : Van der Waal & Partners , 2001. 620.
23. **Van der Waal & Partners**. *RapportZBK328tm409*. sl : Van der Waal & Partners, 2001.
24. **Geolimpuls**. Handreiking Observational Method. *cob.nl*. [Online] 2015. [Citaat van: 30 Mei 2025.] <https://www.cob.nl/document/handreiking-observational-method/>.

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

Deltares

www.deltares.nl