

Bouwen op slappe bodems

Ons kenmerk
429980-400-0007

Versie
01 Definitief

Datum
februari 2008

Opgesteld in opdracht van
Deltares



Postbus 177
2600 MH
Stieltjesweg 2
2628 CK Delft

Telefoon (015) 26 93 500
Telefax (015) 26 10 821
www.deltares.nl

Rapportnummer
429980-400-0007 v01

Datum
februari 2008

Versie
01 Definitief

Aantal pagina's
62

Titel / subtitel
Bouwen op slappe bodems /

Projectleider(s)
Ir. E. Tromp

Projectbegeleider(s)
ir. M. Korff

Opgesteld in opdracht van
Deltares

Verspreiding
Deltares

Samenvatting rapport

In onderliggend rapportage zal in worden gegaan op het bouwen op slappe bodems. In Nederland wijken we steeds vaker uit naar gebieden die onze voorouders links lieten liggen. De goede bouwgronden zijn zandgronden, de slechte bouwgronden bevatten veel klei en veen. Laatstgenoemde ligt veelal in het westen van Nederland.

In gebieden met slappe gronden worden gemeenten, bedrijven als burgers met de nadelen hiervan geconfronteerd. Voor de gemeenten zijn de onderhoudskosten aan rioleringen en aan kunstwerken en wegen groot door verschillen in de zetting van de ondergrond. Netbeheerders lopen schade op aan kabels en leidingen en burgers moeten regelmatig hun tuinen ophogen omdat die anders het afvoerputje van de woonwijk worden.

In dit rapport worden onderwerpen als consolidatie, restzettingseisen, oplossingsmethodieken nader toegelicht.

Een slimme ontwikkeling van het gebied betekent aanzienlijk minder kosten bij de bouw en het onderhoud. Ook zijn er verschillende mogelijkheden om zelf een stevige basis te maken. Dat kan door de grond op te hogen. Dit verhoogt niet alleen de draagkracht en begaanbaarheid van het terrein maar verlaagt bovendien het overstromingsrisico van de nieuwe bouwwerken. In specifieke gevallen, zoals bij wegen, kan lichtgewicht materiaal worden gebruikt om de ondergrond op te hogen. Ook zijn er verschillende technieken om de eigenschappen van de ondergrond te veranderen. Zo kan de consolidatie worden versneld door de ondergrond te draineren. Een van de nieuwste ontwikkelingen voor lokale versteviging van de grond is de toepassing van kennis uit de biotechnologie: bacteriën versterken de grond ter plekke.

<u>Versie</u>	<u>Datum</u>	<u>Opgesteld door</u>	<u>Paraaf</u>	<u>Gecontroleerd door</u>	<u>Paraaf</u>
01	februari '08	ir. E. Tromp		ir. M. Korff	

Inhoudsopgave¹

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
2	Probleemstelling	3
2.1	Locatieontwikkeling	3
2.2	Eisen bij bouw- en woonrijp maken	3
3	Consolidatie	8
3.1	Grondsoorten	8
3.1.1	Veen	8
3.1.1.1	Veenvorming	8
3.1.1.2	Indeling	9
3.1.1.3	Voedselrijkdom	10
3.1.1.4	Veenoxidatie	10
3.1.2	Klei	11
3.1.3	Zand	11
3.1.4	Eigenschappen van de grond	12
3.2	Samendrukking van de grond	12
3.3	Grond en spanningen	13
3.4	Consolidatie	15
3.5	Zettingen	16
3.6	Maaiveldvaling door veranderingen in peilbeheer	17
4	Analyse goede / slappe gronden in Nederland	18
4.1	Achtergrond kaart	18
4.2	Overzicht goede/ slappe gronden in Nederland	19
4.3	Overzicht Goede/ Slappe gronden per provincie	21
4.4	Overzicht goede/ slappe gronden per gemeente	27
4.5	Nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen in Nederland	33
5	Zettingseisen	36
5.1	Inleiding	36
5.2	Zettingeisen	36
5.3	Conclusies	39
6	Oplossingsmethodieken	41
6.1	Locatieontwikkeling	41
6.2	Methoden van ophogen	41
6.2.1	Integraal ophogen	41
6.2.2	Cunettenmethode	42
6.2.3	Partieel ophogen	43
6.2.4	Variatie in bouwmaterialen	43
6.2.4.1	Minimalisatie aanvoer bouwmaterialen	43
6.2.4.2	Lichte ophoogmaterialen	44
6.3	Grondverbeteringstechnieken	45
6.3.1	Consolidatieversnellende methoden	45
6.3.2	Verticale drainage	45
6.3.3	BeauDrain-methode	47
6.3.4	IFCO-methode	48
6.3.5	Opzetten van de GGOR	48

¹ Deltares (i.o.) en degenen (waaronder GeoDelft, WL/Delft Hydraulics en TNO) die aan dit rapport hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het formuleren en redigeren van dit rapport. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat in dit rapport toch onjuistheden voorkomen. Degene die van dit rapport gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. Deltares (i.o.) sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan dit rapport hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van dit rapport.

6.3.6	Toepassing van SmartSoils	49
6.4	Bouwmethoden met betrekking tot fundatie gebouwen	51
6.4.1	Funderen op Staal	51
6.4.2	Paalfunderingen	52
6.4.3	Caissonfundering	53
6.4.4	Onderheien	53
6.4.5	Kruipruimteloos bouwen	53
6.4.6	Drijvende woningen	54
6.4.6.1	Op water	54
6.4.6.2	Amfibisch wonen	54
7	Conclusies	57

Tabellen

Tabel 3.1	Onderverdeling van grondsoort op basis van de grootte van de korrels	8
Tabel 3.2	De Representatie waarden van de grondeigenschappen [Bron: Tabel 1, NEN 6740, uitgave: september 2006]	12
Tabel 5.1	Overzicht restzettingseisen , welke geïnventariseerd zijn tijdens het CROW-project "Keuzemodel Wegconstructies"	37
Tabel 5.2	Achtergrond zettingseisen	39

Figuren

Figuur 1.1	Zakkingsproblemen in Gouda, rechts: putdeksels die boven het wegdek uitkomen.	1
Figuur 2.1	Bouwfases in hoofdthema's Bouw- en Woonrijp maken (Bron: www.bouwrijp.nl)	3
Figuur 2.2	Na een hevige regenbui staan de straten blank in Hoeven door een te krap gedimensioneerde riolering [Foto: M.M. Tromp]	4
Figuur 2.3	overzicht nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen en daaraan gekoppeld wat het percentage is dat op slappe grond wordt gebruikt [Bron: De Nieuwe kaart van Nederland, Nirov, Den Haag, en Maatstaf Bodemgesteldheid", juli 1997 (NITG-nummer: NITG 97-123 B)]	5
Figuur 2.4	Een voorbeeld van een ophoogmethode is partieel ophogen met zand	5
Figuur 2.5	Verzakkingsproblemen te Urk met als gevolg gebroken rioleringen	6
Figuur 3.1	Spanningen in een homogene laag	14
Figuur 3.2	Tijd-zettingsverloop in de tijd van verschillende grondsoorten	17
Figuur 6.1	Integraal ophogen	42
Figuur 6.2	Cunettenmethode	43
Figuur 6.3	Partieel ophogen	43
Figuur 6.4	Versnelde consolidatie middels verticale drainage	45
Figuur 6.5	Schematisatie fundering op staal (bron: wikipedia)	52
Figuur 6.6	Schematisatie Paalfundering (bron: wikipedia)	52
Figuur 6.7	Caissonconstructie (bron: wikipedia)	53
Figuur 6.8	Drijvende woning, Dura Vermeer PCS waterwoning	54
Figuur 6.9	Amfibische woning te Maasbommel	

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Nederland wacht de komende decennia een aanzienlijke verstedelijkingsopgave. Verwacht wordt dat tot 2015 ruim 900.000 woningen moeten worden gerealiseerd en ruim 42.000 ha nieuw industrieterrein moet worden ingericht². Bovendien is de stedelijke herinrichtingsopgave waarschijnlijk nog groter. Het MNP³ heeft recentelijk een doorkijk gemaakt naar 2040. Hieruit blijkt dat er rekening moet worden gehouden met een toename van 20% aan aantal hectare voor de bedrijventerreinen, om enerzijds ook een gunstig vestigingsklimaat te behouden. Daarnaast neemt het aantal woningen ook sterk toe door ondermeer een verdergaande individualisering en vergrijzing. Hiermee is de noodzaak om goed bouw- en woonrijp maken aangetoond om de woonkwaliteit ook in de toekomst te garanderen.

Bij uitbreidingen van dorpen en steden moeten we steeds vaker uitwijken naar gebieden die onze voorouders links lieten liggen omdat ze te laag, te nat en te slap waren om op te bouwen en in te wonen. De 'goede' grond is schaars als niet al vol. Op dit moment worden er wijken gebouwd in diepe slappe polders, als Westergouwe en de Zuidplaspolder.

Tijdens en na de bouw van stedelijke gebieden is de begaanbaarheid van een terrein van groot belang. De hoogte en draagkracht onder wegen, tuinen en trottoirs etc. moet voldoende zijn. Bij slappe bodems moet daarom het terrein geheel of gedeeltelijk met zand worden opgehoogd of op andere wijze worden versterkt.

Op dit soort locaties zijn de zettingen na de bouwtijd, niet of nauwelijks tegen te houden met de op dit moment gebruikte technieken. Elke betrokkene is hiervan op de hoogte en daarmee zijn zettingen een algemeen geaccepteerd verschijnsel. Ten gevolge van zettingen kan ook wateroverlast ontstaan. Er zijn daarmee redelijk wat kosten gemoeid naast de overlast die dat voor bewoners met zich meebrengt. Is dat nog wel acceptabel en wat kost het de maatschappij jaarlijks? Zijn er mogelijkheden om wijken duurzamer (in de zin van gebruik van materialen) en veiliger te ontwikkelen en te bouwen?



Figuur 1.1 Zakkingsproblemen in Gouda, rechts: putdeksels die boven het wegdek uitkomen.

Leeswijzer

Het beeld wat veelal heerst bij de betrokkenen is dat overlast niet meer te vermijden is. Dat hoeft helemaal niet het geval te zijn. Het is nodig dat bij locatieontwikkeling meer oog is voor de eisen die de ondergrond aan het ontwerp stelt (zie hoofdstuk 2)

² Zie bijvoorbeeld de bouwprognose 2006-2011 van het Ministerie van VROM. Sommigen beweren dat met de huidige bouwsnelheid bovenstaande hoeveelheden niet zullen worden behaald.

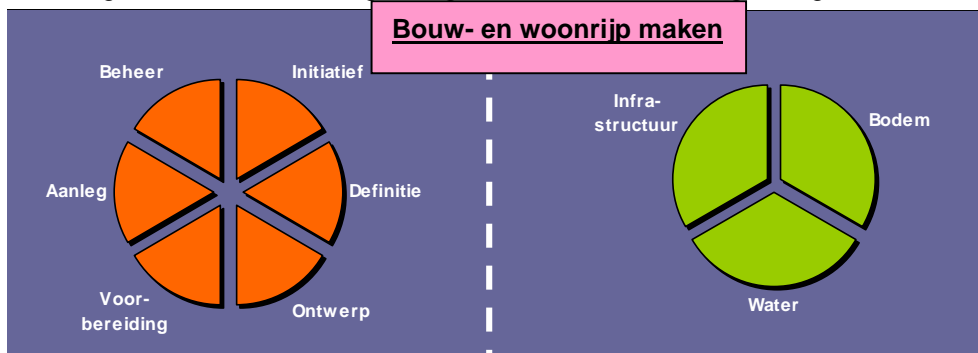
³ Nederland Later, Tweede duurzaamheidsverkenning deel Fysieke leefomgeving Nederland, Milieu en Natuur Planbureau, publicatienummer 500127001/2007, Bilthoven, juni 2007

In het rapport zal worden ingegaan op het ontstaan en tegengaan van (ongewenste) zettingen en de daarbij horende wateroverlast. In hoofdstuk 3 zullen de verschillende grondsoorten worden behandeld. Het type grondsoort en de daarbij horende eigenschappen bepaalt in grote mate of en hoeveel zettingen er op treden. Op basis van het onderscheid in grondsoorten zal in hoofdstuk 4 worden getoond waar de minder draagkrachtige grond zich bevindt in Nederland. Tevens wordt er gekeken of er veel locatieontwikkeling in deze gebieden zal plaatsvinden. Bij de aanleg van woonwijken en/ of wegen worden er veelal eisen gesteld aan de hoeveelheid zetting die is toegestaan. In hoofdstuk 5 wordt getoond dat er geen eenduidige eis is te stellen, maar dat dit afhangt van velerlei factoren. Om deze eisen te halen, bestaan er allerlei methoden en deze zullen kort worden toegelicht in hoofdstuk 6.

2 Probleemstelling

2.1 Locatieontwikkeling

Het ontwikkelen van een terrein bestaat uit meer dan alleen maar het bouw- en woonrijp maken. De locatieontwikkeling begint al in een vroeg stadium met een initiatief voor ontwikkeling. De initiatiefnemer tast de markt af en toetst de haalbaarheid van de plannen. Er volgen planologische procedures en besluitvorming. Er moeten stedenbouwkundige verkenningen worden gedaan en diverse vergunningen moeten worden aangevraagd.



Figuur 2.1 Bouwfases in hoofdthema's Bouw- en Woonrijp maken (Bron: www.bouwrijp.nl)

Het bouw- en woonrijp maken van terreinen vormt een onderdeel van de locatieontwikkeling. Bouw- en woonrijp maken wordt tot de discipline civiele techniek gerekend en kent ook zes bouwfases (zie figuur 2). Binnen het vakgebied civiele techniek worden drie hoofdthema's onderscheiden: bodem, water en infrastructuur. In de definitie fase geeft de initiatiefnemer de randvoorwaarden voor het project. Er wordt een keuze gemaakt voor de toekomstige gebruiksfunctie en bebouwing, waterpartijen en het peilbeheer. In de ontwerpfase worden de technische keuzen om het project te kunnen realiseren gemaakt zoals vorm van bebouwing, fasering, wijze van uitvoering en waterhuishouding tijdens bouw en gebruiksfase. In de voorbereidingfase worden deze keuzes in detail uitgewerkt voor de aanlegfase.

Er dient een sterke interactie te zijn tussen de definitie en ontwerpfase. Besluiten die hier worden genomen kunnen hun (negatieve) uitwerking pas in de onderhoudsfase hebben, met als gevolg dat de bewoner / gemeente daar de dupe van zijn.

In de aanlegfase realiseren de partijen het project. In de beheerfase wonen de nieuwe bewoners in de wijk en neemt de gemeente het beheer en onderhoud van de openbare ruimte over. Een netbeheerder van energieleidingen kan door zettingen met extra onderhoudskosten worden opgezadeld, waarbij het ontwerp en aanleg geen rekening mee was gehouden.

2.2 Eisen bij bouw- en woonrijp maken

In het kader van het optreden van zettingen spelen bij het bouw- en woonrijp maken twee eisen een belangrijke rol: de *ontwateringseis* (de afstand tussen het oppervlaktewaterpeil en het maaiveld) en de *restzettingseis* (hoeveelheid zettingen die mogen optreden na de aanleg over een periode van bijv. 30 jaar). Deze eisen bepalen samen de grootte van de ophoging en de tijdsduur van de voorbelasting. Doordat het huidige peilbeheer afwijkt van vroeger ontstaat veelal een geringere natuurlijke drooglegging, waardoor de grootte van de ophoging groter zal moeten worden om weer aan de droogleggingseisen te voldoen. Er worden namelijk, met name bij wegen, eisen gesteld aan de vorstindringingsdiepte (capillaire opstijging in zandbed) om schade aan de verhardingsconstructie en leidingen ten gevolge van vorst te voorkomen.

Er bestaat een directe relatie tussen de drooglegging, de daarbij horende grondwaterstand en de mate waarin zettingen optreden. Dit heeft alles te maken met de water- en korrelspanningen in de ondergrond. Daarbij treden zettingen niet lineair op in de tijd, maar zal de grootste hoeveelheid in de eerste periode optreden.

Ook voor de aanleg van wegen en spoorlijnen wordt de waterstand soms verlaagd, waardoor uiteindelijk verzakkingen kunnen optreden. Een goed voorbeeld hiervan is Gouda waar door veenverzakkingen de gemeente zo erg op kosten wordt gejaagd dat het een artikel 12-status heeft moeten krijgen.

Het blijkt steeds vaker dat gemeenten met een slappe ondergrond (met onder meer veen) te maken krijgen met grote onderhoudskosten aan ondermeer de kabels en leidingen en wegen, door verschilzettingen in de ondergrond. Er ontstaat schade aan infrastructuur, ondermeer aan kabels en leidingen maar ook door onderheide voorzieningen zoals kunstwerken e.d. Hierdoor lopen de gemeenten steeds meer kans om voor kwetsuur van bewoners aansprakelijk gesteld te worden, als gevolg van schade aan de infrastructuur.

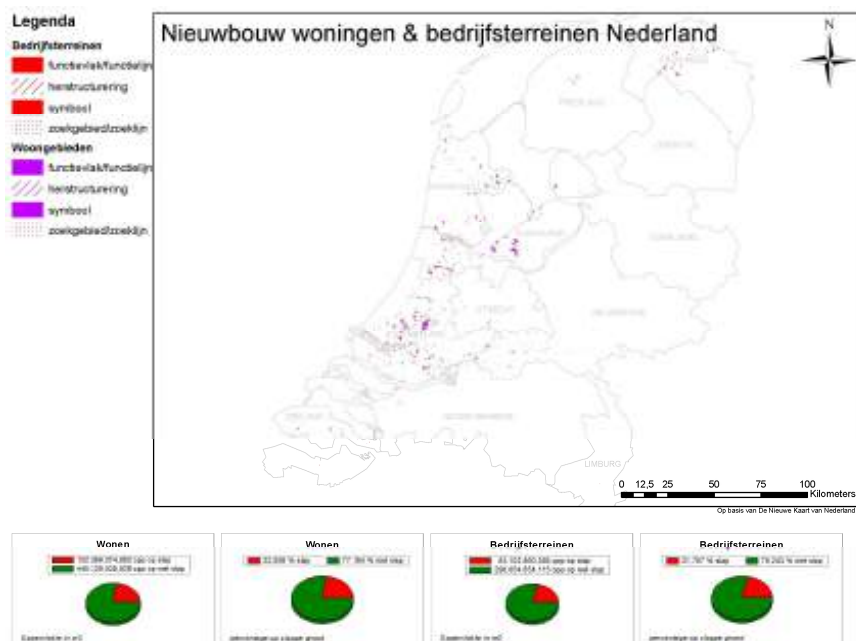
Schade kan ook ontstaan doordat bij het ontwerp onvoldoende rekening is gehouden met de omvang van een woonwijk. In onderstaande figuur zijn de gevolgen hiervan te zien.



Figuur 2.2 Na een hevige regenbui staan de straten blank in Hoeven door een te krap gedimensioneerde riolering [Foto: M.M. Tromp]

Uit een analyse op basis van informatie van De Nieuwe Kaart van Nederland en de Maatstaf Bodemgesteldheid blijkt dat respectievelijk circa 23% (19.800 voetbalvelden groot) en 22% (12.450 voetbalvelden) van de nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen op slappe grond plaats zullen vinden in de al voorgestelde plannen (zie figuur 2.3)

Het bouwen op een slappe ondergrond vraagt om een aanpak gericht op de omstandigheden van de specifieke locatie. Om duurzaam en veilig te bouwen, zal er rekening gehouden moeten worden met de eisen die de ondergrond en het watersysteem aan de nieuwbouwlocatie vragen. Het is belangrijk om in een vroeg stadium de belangrijkste actoren bij het ontwerpproces te betrekken.



Figuur 2.3 overzicht nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen en daaraan gekoppeld wat het percentage is dat op slappe grond wordt gebruikt [Bron: De Nieuwe kaart van Nederland, Nirov, Den Haag, en Maatstaf Bodemgesteldheid”, juli 1997 (NITG-nummer: NITG 97-123 B)]

Niet alleen de gemeentelijke/provinciale infrastructuur verzakt, maar ook de tuinen van particulieren. Burgers worden hierdoor gedwongen om regelmatig hun tuinen op te hogen om niet het afvoerputje van de woonwijk worden. Daarnaast ondervinden zij hinder door water in de kruipruimte. Ook de netbeheerders van ondermeer energiebedrijven, kunnen schade hebben als door zettingen hun kabels en leidingen breken of beschadigd raken.

De vraag die oprijst, is de huidige methode van bouwrijp maken nog wel geschikt voor de locaties waar nu stedelijke uitbreiding plaatsvindt? Het antwoord is nee. Door de veranderende eisen ten aanzien van de stedelijke inrichting en de andere methoden en technieken voor water- en zettingbeheersing zijn de oude ontwerpmethoden dringend aan vervanging toe.



Figuur 2.4 Een voorbeeld van een ophoogmethode is partieel ophogen met zand⁴

Wanneer op traditionele wijze (met zand) wordt opgehoogd in gebieden met slappe ondergrond, worden er belastingen op de ondergrond aangebracht, zodanig dat er zettingen optreden. Hierdoor zal eerder onderhoud benodigd zijn om te blijven voldoen aan de ontwateringdiepte en de hellingseisen van een weg, dan onderhoud om slijtage aan de verharding te repareren.

Afhankelijk van de locatie kan het ook van belang zijn om de verschillende bouwmethoden onder te loep te houden: Op welke wijze zal een gebouw gefundeerd worden, om schade door zettingen aan de woning en particuliere ruimte te minimaliseren? Vragen die voor een burger zeer essentieel zijn voor het onderhoud aan zijn eigendom in de toekomst. Niet alleen burgers

⁴ Nationaal Pakket Duurzame Stedebouw, Nationaal Dubo Centrum, 1999

kampen met deze vragen, ook beheerders van de openbare ruimte stellen vragen over het onderhoud.

In het bijzonder gemeenten die een slappe bodem hebben, worden zich steeds beter bewust van de consequenties van ophogen op een traditionele methode. Gemeente Urk kwam eind 2006 in het nieuws door verzakingsproblemen in pas gerealiseerde woonwijken met als gevolg dat de rioolbuizen verzakt en sommige gebroken zijn, waardoor zand is weggespoeld en buizen zijn verstopt. De herstelkosten worden geschat op 8 miljoen euro⁵.



Figuur 2.5 Verzakingsproblemen te Urk met als gevolg gebroken rioleringen

Gemeente Vlist moest de wegen in wijk Overwetering te Stolwijk (10 km ten zuiden van Gouda) voortdurend herbestraten vanwege de opgetreden zettingen. De ondergrond bestaat hier uit zandlagen van eerder uitgevoerde ophogingen met daaronder veen tot ongeveer 10 meter onder het maaiveld. De wegen werden periodiek gereconstrueerd om toegang te verschaffen tot de op palen gefundeerde gebouwen. Deze laatste zakken niet tot nauwelijks. Door de voortdurende reconstructies werd telkenmale het zettingproces opnieuw in gang gezet, met als gevolg nieuwe zettingen. Met behulp van een kosten-baten analyse werd aangetoond dat het gebruik van lichte ophoogmaterialen betaalbaar, duurzaam en, niet onbelangrijk, onderhoudsarm is. Nu ruim 10 jaar later is de ervaring dat met het gebruik van licht ophoogmateriaal de onderhoudsperiode vergroot wordt⁶.

De vraag die hiermee niet is beantwoordt is in hoeverre burgers hier profijt van hebben, want hun tuinen zullen nog wel zakken en zijn die verzakkingen acceptabel of zullen zij alsnog 1 keer in de zoveel jaar moeten ophogen.

Gemeente Vlist heeft een kosten-batenanalyse laten uitvoeren voor herstructurering van wegen in een woonwijk. Toch is een kosten-batenanalyse voor het bouw- en woonrijp maken van terreinen nog onvolledig ingebed. Een kostenbaten analyse kan pas dan succesvol zijn als dat de belangen van elke eindgebruiker wordt meegenomen bij locatieontwikkeling. De problemen die ontstaan met de op dit moment gebruikte technieken kunnen aangepakt worden door voor een andere aanpak te kiezen. Door duurzaamheid (gesloten grondbalans en minimalisatie materialen) en veiligheid mee te nemen in combinatie met aangepaste locatieontwikkeling kan er een zettingsvrije stad gecreëerd worden.

⁵ Bron: "Gemeente leert van rioolproblemen", www.OpUrk.nl

⁶ Duskov, M. en Swets M. "Niet op zand gebouwd; kosten-baten van lichtgewicht materiaal na 10 jaar", *Geotechniek* 2001, no.4, pagina 81

Er zijn vele technische oplossingen mogelijk om problemen op te lossen. Het belangrijkste is dat het juiste instrumentarium op het juiste moment wordt ingezet en bij een locatie ontwikkeling zicht is op wat de gevolgen zijn van bepaalde keuzen, zonder dat daar een kenmerk als goed of fout aan wordt gekoppeld. In hoofdstuk 6 zullen een aantal oplossingen worden besproken.

Deltares zal zich samen met het platform *Beter Bouw- en Woonrijp maken* zich gaan bezighouden met deze problematiek en daar waar nodig kennis te ontwikkelen om een optimalisatieslag in kosten versus baten in het bouwrijp maken te bewerkstelligen. Dit zal leiden tot een verbeterde inrichting met een minimalisatie aan totale kosten voor aanleg en onderhoud. Daarnaast zullen de burgers minder overlast ervaren en evt. minder onderhoud aan het particuliere terrein hoeven te verrichten.

3 Consolidatie

In dit hoofdstuk zullen de verschillende grondsoorten worden besproken. Hierna zal worden ingegaan op de draagkracht van de ondergrond (het vermogen om een bepaald gewicht te dragen) en op welke wijze grond kan consolideren (zetten).

3.1 Grondsoorten

De samenstelling van grond kan zeer gevarieerd zijn. Grond is normalitair niet omogeen. Grond bestaat uit korrels, water en lucht. Elk van deze componenten beïnvloedt de eigenschappen van grond. Naar gelang van de herkomst kan de korrelgrootte variëren van groot tot zeer klein.

Er kunnen voor grondsoorten de navolgende hoofdindelingen gemaakt worden:

- *Cohesieve* gronden, zoals klei, veen, löss en leem
- *Niet-cohesieve* gronden, zoals steen, grind en zand.

In Nederland komen in hoofdzaak de volgende 3 typen grond voor.

- *Zand*
Onsamenhangend, goed doorlatend en weinig samendrukbaar
- *Klei*
Samenhangend, slecht doorlatend en sterk samendrukbaar
- *Veen*
Samenhangend, slecht doorlatend en sterk samendrukbaar en bevat veel organisch materiaal.

Hieruit volgt dat als er bouw- en woonrijp wordt gemaakt in gebieden met veel klei en veen, de zogenaamde slappe gronden, daar de grootste zettingen zullen optreden, indien daar geen rekening mee wordt gehouden met het ontwerp en inrichting van de locatie.

Op basis van de grootte van de korrels kan de volgende onderverdeling worden aangehouden.

Grind	2	tot	63	mm
Zand	0,063	tot	2	mm
Silt of Slib	0,0002	tot	0,063	mm
Klei	< 0,0002			mm

Tabel 3.1 Onderverdeling van grondsoort op basis van de grootte van de korrels

3.1.1 Veen⁷

In de Holocene afzettingen in Nederland komt veel veen voor. Veengrond is een bodemtype waarbij de grond uit veen en ander plantaardig materiaal bestaat. Veen komt in Nederland ook op grotere diepten voor, als zand-op-veen en klei-op-veen, bijvoorbeeld in Groningen en Drenthe. Het is een bijzondere afzetting doordat het niet-klastisch is. Omdat het in tegenstelling tot sediment ter plaatse is gevormd, wordt het sedentaat genoemd. Anders dan bij klastische afzettingen, zegt de samenstelling van de platenresten direct iets over het milieu waarin het veen werd gevormd, in het bijzonder iets over de voedingstoestand in dit milieu.

3.1.1.1 Veeenvorming

Normaal gesproken wordt dood plantenmateriaal snel afgebroken door de aanwezigheid van zuurstof en de werking van bacteriën. Vooral bij hoge temperaturen en droge

⁷ Berendsen, H.J.A. (2004): De vorming van het land, Inleiding in de geologie en de geomorfologie, Koninklijke Van Gorcum, Assen, ISBN 90-232-4075-8, 9.3 Veeenvorming, p. 222-229

omstandigheden gaat de afbraak snel. Bij aerobe afbraak ontstaat dan H₂O en CO₂. Bij de afwezigheid van zuurstof treedt echter anaerobe afbraak op, waarbij CH₄ ontstaat. In natte en vochtige omstandigheden gaat de afbraak langzamer dan de ophoping, waardoor veenvorming optreedt. Veen komt vooral voor in gematigde vochtige streken. In Nederland en België is het meeste veen gevormd in het *Atlanticum*, waarschijnlijk door het vochtoverschot dat optrad door de overgang van naaldbos naar loofbos in die periode en de stijging van de grondwaterspiegel onder invloed van de zeespiegelstijging.

3.1.1.2 Indeling

Veensoorten verschillen sterk, afhankelijk van de ligging ten opzichte van het grondwater en van de voedselrijkdom.

Ligging ten opzichte van het grondwater

Gebaseerd op de ligging ten opzichte van het grondwater tijdens de veenvorming is de volgende indeling te maken:

- **Laagveen** heeft als belangrijkste kenmerk dat het veen onder invloed van het grondwater ontstaan is. Laagveen is afhankelijk van de grondwaterkwaliteit eutroof-oligotroof. Limnisch veen wordt onder de waterspiegel gevormd, telmatisch veen in de zone rond de waterspiegel. Juist daarboven wordt terrestrisch veen gevormd, wat over het algemeen echter snel oxideert tijdens het uitdrogen, behalve als hoogveenvorming optreedt.
- **Hoogveen** heeft als belangrijkste kenmerk dat het ontstaan is onder invloed van regenwater, zogenaamd ombrogeen veen. Het is altijd oligotroof. Het belangrijkste bestanddeel is veenmos (Sphagnum) dat grote hoeveelheden water in zich kan opnemen en in opgezwollen toestand voor meer dan 90 procent uit water kan bestaan. Bovendien kan het goed in zure omstandigheden groeien die ontstaan doordat regenwater uit zichzelf al lichtelijk zuur en niet gebufferd is. Het milieu is extreem voedselarm en ontstaat als er de dode plantenresten op een ondoorlatende humusrijke ondergrond liggen, zodat er geen voedselrijk water meer kan binnendringen. Veen dat voornamelijk door veenmos gevormd is wordt ook veenmosveen genoemd.
Het komt in onontgonnen vorm in Nederland niet zo veel meer voor, alleen nog in het Bargerveen bij Schoonebeek in Drenthe en in de Grootte Peel in Noord-Brabant, omdat een zeer groot deel in de 19e eeuw is afgegraven voor brandstofvoorziening. In België bevindt zich op de Hoge Venen (Hohes Venn of Hautes Fagnes) nog een grote hoeveelheid hoogveen.

De bovenste laag (40-60 cm) wordt bonkaarde genoemd en is niet geschikt om er turf van te maken. Deze bonkaarde werd in de Groningse, Drentse en Friese veenderijen (niet in de Peel!) vermengd met de zandgrond die na het afgraven van het veen tevoorschijn kwam en vormde zo de dalgrond[1], die met goede bemesting en ontwatering een redelijke landbouwgrond vormt.

Verdronken hoogveen

Nog steeds wordt wel de indeling van veen naar de huidige ligging ten opzichte van het grondwaterniveau aangehouden. Men meende aanvankelijk dat het laaggelegen veen in West- en Noord-Nederland ook rond de waterspiegel, dus als laagveen, was ontstaan. Rond 1930 bleek echter dat veel van dit veen bestaat uit Sphagnumveen dat door de latere stijging van het grondwaterniveau is verdronken. Het onderscheid dat natte vervening de vervening van laagveen en droge vervening de vervening van hoogveen was bleek dus niet juist te zijn.

3.1.1.3 Voedselrijkdom

Gebaseerd op de voedselrijkdom is de volgende indeling te maken:

- *Eutroof* veen, dit is voedselrijk veen, ontstaan door slibhoudend water. Eutroof veen is als gevolg van de grondwaterkwaliteit zoet of brak. De vegetatie van zoet eutroof veen is broek- en ooibos (els, wilg, populier) en riet. De vegetatie van het brakke veen is riet.
- *Mesotroof* veen, dit is matig voedselrijk veen, ontstaan door kwelwater. De dominante begroeiing is Zegge.
- *Oligotroof* veen, dit is voedselarm veen, dat wordt gevoed door regenwater. De begroeiing die op dit type voorkomt noemt men veenmosveen.

Dominante begroeiing waaruit het veen is ontstaan

Veen wordt ook ingedeeld naar de soorten die dominant waren in de begroeiing van waaruit het veen ontstaan is. In dit geval worden onderscheiden:

- Rietveen: veen bestaande uit de resten van waterplanten zoals riet.
- Zeggeveen: veen bestaande uit de resten van een vegetatie gedomineerd door zeggen. Ook mossen zijn in deze vegetatie vertegenwoordigd.
- Bosveen: veen bestaande uit de resten van bossen.
- Veenmosveen: veen bestaande uit de resten van veenmos. Veenmos heeft zoals boven vermeld de eigenschap water op te zuigen en kan daardoor kan het boven de grondwaterspiegel blijven groeien. Het staat voornamelijk onder invloed van regenwater is daardoor voedselarm

Klei-op-veen

In grote delen van Holland en andere gebieden in Nederland is er in het Holoceen, tijdens de westlandformatie, een dunne laag (minder dan een meter) jonge klei op hoofdzakelijk laagveen afgezet.

3.1.1.4 Veenoxidatie

Veen bestaat grotendeels uit plantaardig materiaal. Zoals elk organisch materiaal verteert ook veen. Als het veen onder water staat, gaat dat verteren heel langzaam. Als de bodem geschikt moet worden gemaakt voor agrarisch gebruik of voor woningbouw, moet soms het grondwaterpeil worden verlaagd. Dit heeft tot gevolg dat het plantaardig materiaal in contact komt met zuurstof uit de lucht en daardoor oxideert met als gevolg volumeafname; er treedt bodemdaling op. Oxidatie van veenlagen in de bodem is een onomkeerbaar proces. Zo zijn ook veenpolders ontstaan.

De afbraak van veen wordt beïnvloed door de bodemopbouw (textuur), mate van ontwatering, de kwel- of inzijingssituatie, de chemie van het grondwater en de bemesting.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat een maaiveld daling ten gevolge van veenoxidatie van tussen de 3,5 en 7mm /jaar kan optreden. Bij een afstand van maaiveld tot de grondwaterspiegel van 1 m wordt daarbij een veenoxidatie waargenomen van 0,5-1,5 cm/jaar.

Omdat oxidatie alleen plaats vindt bij toetreding van lucht, dat wil zeggen boven het niveau van de laagste grondwaterstand, vindt veenoxidatie overwegend plaats in de zomerperiode. De grondwaterstand in de zomer is daarmee voor een groot deel bepalend voor de mate van bodemdaling in het veenweidegebied.

3.1.2 Klei

Klei is een klastisch sedimentair gesteente, dat voornamelijk bestaat uit lutum, gronddeeltjes kleiner dan 2 µm.

Er kan van klei worden gesproken als de grond voor meer dan 25% bestaat uit lutumdeeltjes.

25 – 30 % → Lichte klei

35 – 50 % → Matig zware klei

>50% → zware klei

Klei bestaat uit kleimineralen, waarvan vele soorten bestaan. Kleigronden zijn, vergeleken met zand, slecht waterdoorlatend. In droge tijden houden ze veel langer water vast, maar in natte tijden verdrinken gewassen eerder. Ook hebben kleigronden minder last van uitspoeling dan zandgronden. Hierdoor houden ze beter voedselstoffen voor planten vast en zijn ze over het algemeen voedselrijk.

Klei komt in Nederland voornamelijk voor in de kuststreken (zeeklei) en langs de rivieren (rivierklei). Kleigronden die ontwaterd worden, komen lager te liggen, doordat het water dat zorgde voor meer ruimte tussen de kleideeltjes verdwenen is en de kleideeltjes dichter op elkaar komen te zitten. Dit verschijnsel wordt bodemdaling of inklinking genoemd.

In de dijkenbouw en andere civieltechnische constructies wordt zowel klei als keileem gebruikt.

Klei die een zekere hoeveelheid water bevat, kan men kneden in elke gewenste vorm. Laat men de klei hierna opdrogen, dan wordt deze hard. Door wateropname kan de klei echter dan nog weer zacht worden.

3.1.3 Zand

Zand is ongeconsolideerd (los), korrelig materiaal en één van de meest voorkomende natuurlijke stoffen op aarde. Zand bestaat uit zeer kleine stukjes steen, zandkorrels, die in grootte variëren tussen 0,06 en 2 millimeter. Als de korrels nog kleiner zijn heet de grondsoort silt; bij grotere korrels spreekt men van grind.

Zand komt meestal voor als sediment, hetgeen wil zeggen dat het zand is vervoerd door water of wind. Zo zijn van zand duinen, stranden, woestijnen en rivieren ontstaan. De korrels zijn meestal afbraakmateriaal van gesteenten, maar kunnen ook van organische afkomst zijn.

Zand is bijna overal te vinden. Het vormt duinen en stranden langs de kust. Maar zand komt ook voor langs en in rivieren en stroompjes, in en om meren, in grotten, mijnen en zandafgravingen, op bergwanden en heuvels, bij gletsjers, in de woestijn en als sediment in de zeeën. Er bestaan heel veel verschillende soorten zand, ieder met een eigen geologische samenstelling en unieke eigenschappen. Bepaalde soorten zand zijn alleen in de tropen te vinden, anderen in de nabijheid van vulkanisme. Vaak kun je aan zand zien waar het vandaan komt, want de herkomst bepaalt de kleur en samenstelling. De mate van afronding, sortering en korrelgrootte zeggen iets over de weg die het zand heeft afgelegd.

3.1.4 Eigenschappen van de grond

Hoofdnaam	Bijmengsel	Consistentie	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	C'_p [-]	C'_s [-]	K_d [m/s]	
Zand	Schoon	Slap	17	19	200	∞	10^{-3} tot 10^{-6}	
		Matig	18	20	600	∞		
		Vast	19 20	21 22	1000 1500	∞		
	Zwak siltig, kleiig		18 19	21 22	450 650	∞		
	Sterk siltig, kleiig		18 19	20 21	200 400	∞		
Klei	Schoon	Slap	14	14	7	80	10^{-8} tot 10^{-9}	
		Matig	17	17	15	160		
		Vast	19 20	19 20	25 30	320 500		
	Zwak zandig	Slap	15	15	10	110		
		Matig	18	18	20	240		
		Vast	20 21	20 21	30 50	400 600		
	Sterk zandig	-	18 20	18 20	25 140	320 1680		
		Organisch	Slap	13	13	7,5		30
			Matig	15 16	15 16	10 15		40 60
Veen	Niet voorbelast	Slap	10 12	10 12	5 7,5	20 30	10^{-8} tot 10^{-10}	
	Matig voorbelast	Matig	12 13	12 13	7,5 10	30 40		

Tabel 3.2 De Representatie waarden van de grondeigenschappen [Bron: Tabel 1, NEN 6740, uitgave: september 2006]

Uitleg tabel:

C'_p = primaire samendrukkingsconstantie, na de grensspanning

C'_s = secundaire samendrukkingsconstantie, na de grensspanning.

γ = volumiek gewicht van de korrels

γ_{sat} = volumiek gewicht van de verzadigde grond

De grootte K_d is de doorlatendheidscoëfficiënt van de grond. Deze waarde kan sterk uiteenlopen.

3.2 Samendrukking van de grond

De mate waarin grond vervormt onder een belasting, wordt bepaald door de stijfheid van de grond. Een hogere stijfheid betekent dat er minder vervorming optreedt.

De stijfheid van de grond is een complex geheel en afhankelijk van vele factoren.

- In eerste instantie wordt er onderscheid gemaakt naar grondsoort. Zand is bijvoorbeeld veel stijver dan klei. Terwijl klei op zijn beurt weer stijver is dan veen.
- De grootte van de vervorming is afhankelijk van het initiële spanningsniveau. Bij een groter initieel spanningsniveau zal bij een even grote korrelspanningstoename minder vervorming optreden.
- De belastingsgeschiedenis van de grond bepaalt in grote mate de grootte van de op te treden zettingen. Bij het herbelasten zal de grond beduidend stijver reageren dan ingeval van een maagdelijke belasting. Een maagdelijke belasting is een belasting die voor de eerste keer aanwezig is.

De grond heeft als het ware een geheugen. Het spanningsniveau dat grond al dan niet in het verleden denkt te hebben gehad wordt grensspanning genoemd.

- De stijfheid van de grond is richtingsafhankelijk.
- De aard van de belasting heeft invloed op de stijfheid van de grond. Bij een dynamische belasting zal de grond stijver reageren dan bij een (semi-)statische belasting. Onder dit punt valt ook dat naarmate de vervormingsnelheid groter wordt, de stijfheid toeneemt.
- Tijd is tot slot ook van invloed op de stijfheid. Slecht doorlatende grondsoorten zoals veen en klei, zullen bij belasting in eerste instantie stijf reageren. In de tijd treden vervolgens deformaties op.

3.3 Grond en spanningen⁸

Grond bestaat uit korrels, water en lucht. Om te beschrijven hoeveel van elk van deze componenten in een zekere grond voorkomt worden diverse kengetallen gebruikt, die bijvoorbeeld aangeven hoe de hoeveelheid water zich verhoudt tot de hoeveelheid korrels. Een belangrijke grootte is de porositeit n , gedefinieerd als het volume van de poriën (V_p) gedeeld door het totale volume van de grond (V_g)

$$n = V_p / V_g$$

Voor de meeste grondsoorten is de porositeit een getal tussen 0.30 en 0.45. Als de porositeit klein is, noemt men de grond dicht gepakt of vastgepakt. Men spreekt van een los gepakt materiaal als de porositeit groot is.

In de grondmechanica is het vaak van groot belang te weten wat het totale gewicht van een zekere hoeveelheid grond is. Dat kan men berekenen als de porositeit, verzadigingsgraad (hoeveel water, respectievelijk lucht zich in de poriën bevindt) en de dichtheden bekend zijn. Er wordt onderscheid gemaakt in nat en droog volumegewicht. Dit is van belang om goed in te kunnen schatten wat de gevolgen zijn voor bijvoorbeeld zettingen of het toetsen van waterkeringen.

Spanningen in de grond

In de grond kunnen, zoals in andere materialen, spanningen werken als gevolg van een uitwendige belasting en het eigen gewicht van het materiaal. Grond heeft daarbij een aantal eigenschappen die het onderscheidt van de meeste andere materialen. Een belangrijke speciale eigenschap is dat grond wel drukspanningen kan overbrengen, maar geen trekspanningen. Voorts kunnen schuifspanningen alleen maar worden overgebracht als ze relatief klein zijn, ten opzichte van normaalspanningen. Tenslotte is nog van groot belang dat een deel van de spanningen in de grond overgebracht worden door het water.

Grond is een poreus materiaal, opgebouwd uit deeltjes die tezamen het korrelskelet vormen. In de poriën van dit korrelskelet kan zich een vloeistof bevinden: meestal water. De poriënstructuur van de meeste normale grondsoorten is zodanig dat alle poriën met elkaar in open verbinding staan. Het water bevindt zich als het ware in een ruimte van zeer ingewikkelde vorm, maar het vormt wel een continu systeem, waarin druk kan worden overgebracht en eventueel stroming kan optreden.

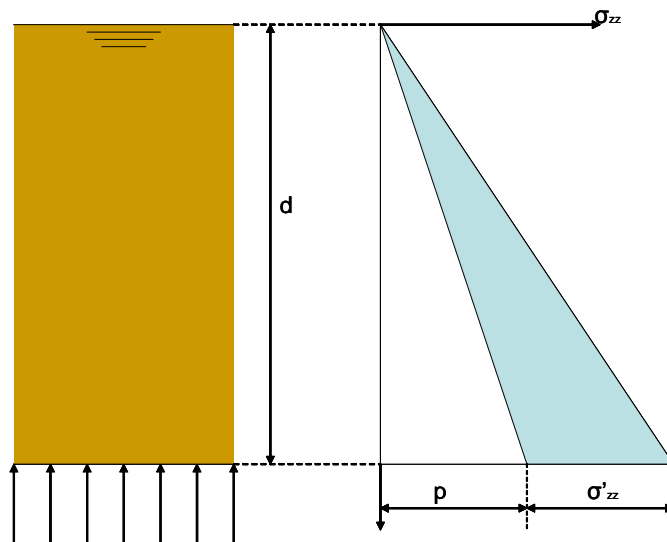
De druk in het water wordt de waterspanning genoemd. De waterspanning is alleen afhankelijk van de diepte.

In de natuur vindt men vaak gronden die zijn opgebouwd uit praktisch horizontale lagen. Als zo'n grond niet wordt belast door bijvoorbeeld gebouwen, en het eventuele grondwater erin niet stroomt, kan men de verticale spanningen berekenen uit een beschouwing van het verticale evenwicht. De grondspanning bestaat uit waterspanning en korrelspanning. Als er geen water in de grond aanwezig is, is de waterspanning nul

Neem het voorbeeld hieronder.

Er is een homogeen grondpakket, geheel verzadigd met water. De druk in het water wordt bepaald door de ligging van het freatische vlak, dat is het vlak waar de druk in het grondwater gelijk is aan de atmosferische druk. Als er geen capillaire effecten in het spel zijn is dat ook de hoogte van het water in de grond, de grondwaterstand. Voor dit geval wordt aangenomen dat het freatisch vlak samenvalt met de bovenkant van de grond.

⁸ A. Verruyt, *Grondmechanica*, 1999



Figuur 3.1 Spanningen in een homogene laag

Als het volumegewicht van de natte grond γ is, met $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, dan zal de verticale normaalspanning (σ_{zz}) in de grond lineair met de diepte (d) verlopen. $\sigma_{zz} = \gamma d$
Dit is een gevolg van het verticale evenwicht van een kolom grond met een hoogte d .
Er is hierbij aangenomen dat op de zijvlakken van de kolom geen schuifspanningen werken. Dat lijkt redelijk als het een uitgestrekt en homogeen terrein betreft, met een zelfde geologische geschiedenis. Bij gebrek aan nadere informatie neemt men dat vaak maar aan.
Op een diepte van 10 meter is de verticale totaalspanning in de grond nu 200 kN/m^2 . Om dat de grondwater in rust is, zal in dit water een hydrostatische drukverdeling heersen. De grond kan worden beschouwd als een watervat, maar voor de druk in het water doet dat er niet toe. De druk in het water (p) op een diepte d is gelijk aan het gewicht van een kolom water (γ_w) van die hoogte.

$$p = \gamma_w d \quad \text{waarin } \gamma_w \text{ het volumegewicht van het water is met } \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3.$$

In dit voorbeeld is de waterspanning op een diepte van 10 meter gelijk aan $p = 100 \text{ kN/m}^2$
De korrelspanning, ook wel effectieve spanning genoemd, is nu $200 - 100 = 100 \text{ kN/m}^2$

Een daling van het freatisch vlak leidt tot een toename van de korrelspanningen. In de praktijk zal dit betekenen dat er vervormingen optreden. De grond heeft de neiging tot zakken, zoals men in de praktijk ook constateert bij verlaging van de grondwaterstand. Een bemaling, of een verlaging van het waterpeil in de sloten, leidt tot verlaging van de grondwaterstand. En dus tot een verhoging van de effectieve spanningen en dus tot zettingen. Als de zakking gelijkmatig is, is het allemaal vaak zo ernstig niet, maar als de toename van de effectieve spanningen niet gelijkmatig is, zijn ook de zettingen niet gelijkmatig en kan ernstige schade aan de bebouwing optreden.

De verlaging van het grondwaterstand, heeft naast het nadeel van het opwekken van zakkingen, ook een groot voordeel. Dat is dat de toename van de effectieve spanningen met name aan het oppervlakte, de grond veel sterker maakt. In deze situatie kan men er gemakkelijk met een voertuig (bijvoorbeeld een tractor of een andere landbouwmachine) op rijden. In het geval van een hoog freatisch vlak, zoals in figuur 2.1. is de effectieve spanning aan het oppervlak vrijwel nul. Mens, dier en machine zakken dan weg in de bodem, omdat de korrels zo los tegen elkaar liggen en er geen extra kracht opgenomen kan worden. Men spreekt in zo'n geval van drassige grond. De toename van de begaanbaarheid van het terrein is vaak een belangrijke reden voor verlaging van het freatisch vlak. Een gevolg ervan is dat de grond meer gaat zakken. Op de lange duur verdwijnt dan een deel van het voordeel

3.4 Consolidatie⁹

Een belangrijk probleem uit de praktijk van de grondmechanica is de berekening van zettingen die te verwachten zijn bij de bouw van een constructie. Grond is meestal niet-homogeen, niet-lineair en niet-elastisch, met als gevolg dat het erg moeilijk is om de mechanische eigenschappen precies te beschrijven, laat staan dat men er een volledig consistente berekening van spanningen en vervormingen voor kan maken.

Een belastingsverhoging op maaiveld leidt tot een verhoging van de grondspanningen, dat wil zeggen van de korrel- en waterspanningen. Omdat het water echter relatief onsamendrukbaar is, zal in verzadigde grond, de belasting in eerste instantie door het water worden gedragen; de waterspanningsverhoging is dan gelijk aan de opgelegde belastingverhoging.

In de periode na de belastingverhoging zal het overspannen water de neiging hebben om af te stromen naar plaatsen met een lagere waterspanning, dat wil zeggen naar de randen van het belaste pakket: naar boven, beneden en naar opzij. Wanneer het belaste pakket bestaat uit relatief doorlatend materiaal of wanneer in het pakket drains zijn aangebracht, zal die afstroming sneller geschieden dan bij een relatief slecht-waterdoorlatend materiaal. Ook bij betrekkelijk dunne pakketten belast materiaal en pakketten die over een beperkte oppervlakte zijn belast zal de afstroming vanwege de relatief korte afstromingspaden gemakkelijker en sneller plaatsvinden dan bij relatief dikke pakketten, die over een zeer groot oppervlak worden belast.

Samen met de geringe samendrukking van korrels en water, veroorzaakt de hoeveelheid uitstromend water een volumevermindering in het grondmassief. Er ontstaan kleine verschuivingen in het korrelskelet; de korrels komen dichter bij elkaar te liggen en de poriën tussen de korrels worden kleiner. De waterspannings- c.q. volumevermindering als functie van de tijd ten gevolge van het uitpersen van water uit de poriën wordt consolidatie genoemd. De periode die nodig is om de afname van de wateroverspanningen volledig te doen plaatsvinden wordt de consolidatieperiode genoemd.

De duur van de consolidatieperiode is afhankelijk van de volgende factoren:

- De grondeigenschappen van het belaste pakket (de doorlatendheid en de samendrukbaarheid)
- De geometrie van het belaste pakket (de dikte van de laag en de oppervlakte waarover de laag wordt belast);
- De waterspanningen in de omgeving (boven, beneden en opzij van het belaste pakket).

De mate waarin de wateroverspanningen tijdens de consolidatieperiode op een zeker moment zijn afgenomen ten opzichte van de oorspronkelijke waterspanningen wordt de aanpassing of het aanpassingspercentage genoemd. Omdat de vermindering van de wateroverspanning gelijke tred houdt met de zogenaamde consolidatiezetting of primaire zetting (zie XXXX) van de betreffende laag, representeert het aanpassingspercentage tevens het op dat moment tot stand gekomen gedeelte van de totale primaire zetting. Globaal kan worden aangenomen dat de helft van de primaire zetting tot stand komt in ongeveer 10% van de consolidatieperiode; in ongeveer de helft van de consolidatie periode wordt 90% van deze zetting bereikt.

In de praktijk wordt de belasting bijvoorbeeld in de vorm van een ophoogslag, meestal niet in zeer korte tijd, maar geleidelijk aangebracht; in dat geval wordt toch op een bepaald tijdstip van aanbrengen voor die ophoogslag c.q. belastingverhoging aangenomen.

De berekeningen die noodzakelijk zijn om de zettingen als functie van de tijd gedurende de consolidatieperiode te voorspellen, worden meestal uitgevoerd op basis van de ééndimensionale-consolidatietheorie van Terzaghi. Daarbij wordt alleen rekening gehouden met verticale afstroming van overspannen poriënwater. Zeker aan de rand van de ophoging is echter ook sprake van horizontale afstroming, waardoor de zettingen in de praktijk vaak echter sneller tot stand komen dan voorspeld op basis van berekeningen.

⁹ A. Verruyt, *Grondmechanica*, 1999

Overigens zijn ook tweedimensionale consolidatietheorieën opgesteld, waarbij behalve afstroming naar boven en beneden ook afstroming in zijdelingse richting kan worden berekend.

3.5 Zettingen

De zetting is het mechanisme waarbij door een verhoging van de korrelspanning het grondskelet in elkaar gedrukt wordt. De zetting wordt in grondmechanische modellen in drie onderdelen verdeeld:

- **Initiële zetting:** direct na aanbrengen van een belasting relatief gering, wordt niet verder beschouwd
- **Consolidatie of primaire zetting:** gaat gepaard met het uitdrijven van water, tot de waterspanningsverhoging, die een gevolg is van de verhoogde korrelspanning, is gedissipeerd. De snelheid waarmee dit gebeurt is een functie van de doorlatendheid van de grond, de tijdsduur is ook afhankelijk van de lengte van de drainageweg.
- **Secundaire of seculaire zetting:** een proces van kruip, dat in de tijd afneemt.

Verticale vervormingen of zettingen zijn spanning-vervormingsverschijnselen die zich afspelen in de fase voordat het materiaal bezwijkt. Omdat de zettingen als regel het gevolg zijn van een samendrukkingsproces wordt in de praktijk ook wel gesproken van de samendrukking, klink of inklinking van een bepaalde laag.

Direct na het aanbrengen van de belasting treedt de zogenaamde elastische samendrukking op; hij wordt dan ook initiële zetting genoemd en is onafhankelijk van de tijd. Naast de initiële voltrekt zich een tijdsafhankelijke zetting, waarvan de duur en verloop, behalve van de geometrie en grootte van de belasting en de laagdikte, afhankelijk zijn van de eigenschappen van het korrelskelet.

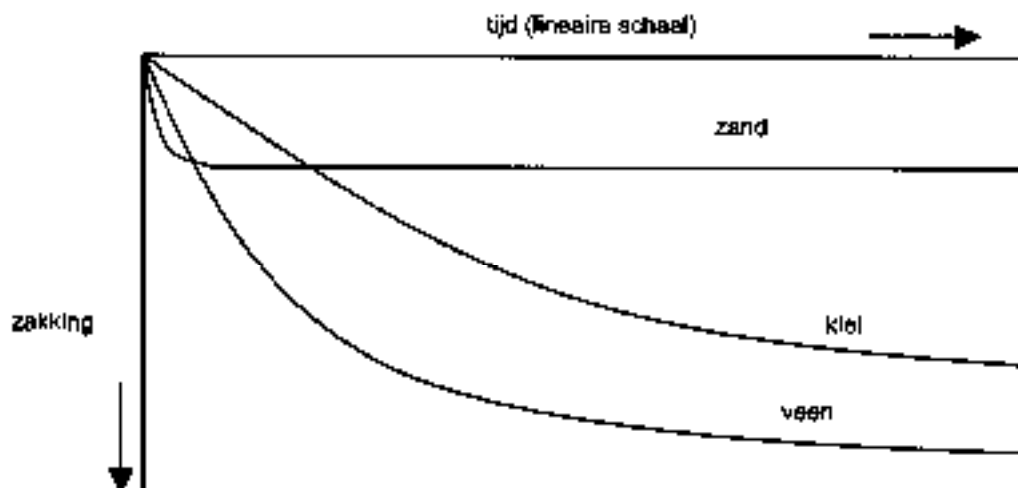
De samenstelling van de korrels en de poriënstructuur bepalen in hoge mate het zogenaamde primaire- en secundaire zettingsgedrag.

Het primaire zettingsgedrag is een gevolg van het geleidelijk uitdrijven van het poriënwater, dat ten gevolge van het aanbrengen van de belasting in overspannen toestand is geraakt. Vooral bij relatief ondoorlatende grond, zoals bijvoorbeeld klei kunnen deze wateroverspanningen slechts langzaam afvloeien. De doorlatendheid van zand is meestal zo groot dat de afvloeiing vrijwel onmiddellijk plaatsvindt. In de periode die het overspannen poriënwater nodig heeft om volledig af te stromen, dat wil zeggen in de zogenaamde consolidatieperiode, voltrekt zich het primaire zettingproces.

Veen daarentegen heeft een kleinere doorlatendheid als zand. Hierdoor zal de afvloeiing van veen veel minder snel plaatsvinden. Met andere woorden het primaire zettingsproces duurt langer dan bij bijvoorbeeld zand.

Naast de primaire zetting treedt bovendien een zogenaamde secundaire zetting op. De secundaire zetting hangt samen met het zogenaamde kruipgedrag en gaat in principe oneindig lang door; in de praktijk blijkt de zettingtoename echter na een bepaalde periode van een verwaarloosbare grootte; meestal wordt daarom aangenomen dat het zettingproces na 10^4 dagen (circa 30 jaar) beëindigd is.

Samendrukbare gronden, zoals klei en veen, vertonen kruipgedrag. Kruip in de grond wil zeggen dat bij een constante korrelspanning toch zetting optreedt. De snelheid van de kruip neemt in de tijd af en is lineair met de logaritme van de tijd.



Figuur 3.2 Tijd-zettingsverloop in de tijd van verschillende grondsoorten

Uit Figuur 3.2 kan geconcludeerd worden dat de zettingen van veen en klei een exponentieel verloop hebben, wat inhoudt dat de meeste zettingen in de eerste periode na het aanbrengen van de belasting zullen optreden. Bij een constante korrelspanning zal bij de secundaire proces toch nog zetting optreden. Dit kruipgedrag komt niet voor bij onsamendrukbare gronden als bijvoorbeeld zand. Doordat veen en klei sterk samendrukbaar zijn zullen de zettingen ook meer zijn dan bij zand.

Belangrijk om op te merken is dat bij elke belastingstoename op maaiveldniveau de primaire zetting ten gevolge van deze toename opnieuw begint. Je kunt je voorstellen dat als het secundaire zettingproces nog niet was afgelopen van een vorige ophoging (wat zowel grond, gebouw, asfalt e.d. kan zijn) er een nieuw primaire zettingproces naast dit zettingproces gaat optreden.

3.6 Maaiveldddaling door veranderingen in peilbeheer

Peilverlaging in polders en droogmakerijen leidt op tweeërlei wijze tot maaiveldddaling. Ten eerste leidt een verlaging van het peil tot een verlaging van de grondwaterstand. Door de verlaging van de grondwaterstand neemt het opdrijvend vermogen van het grondwater in de deklaag af en nemen de korrelspanningen toe. Dit gaat gepaard met samendrukking van de grond die over de gehele deklaag waargenomen wordt als zetting van het pakket. De zetting is afhankelijk van de grootte van de toename van de spanning in het korrelskelet, de verticale samendrukbaarheid van het korrelskelet (voor veen en klei groot, voor zand klein) en van de duur dat de belasting is aangebracht. Deze laatste afhankelijkheid hangt samen met de dissipatiesnelheid van de wateroverspanning en bepaald het consolidatieproces en anderzijds met het deels viscoplastische gedrag van grond tot tijdsafhankelijke kruip.

Naast de mechanische reactie van het korrelskelet ten gevolge van een daling in de grondwaterstand vindt er boven de grondwaterspiegel ook een chemisch proces plaats door toetreding van zuurstof. Met name in het veenweidegebied wordt een significante daling van het maaiveld waargenomen die direct gerelateerd kan worden aan veenoxidatie in de zone boven de grondwaterspiegel.

Als de grondwaterspiegel daalt door peilbeheer zal er een verandering in het spanningevenwicht op treden. Ter hoogte van de grondwaterspiegel neemt de korrelspanning het meest toe; onderaan de grondkolom, waar een waterspanning heerst die bepaald wordt door de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket, neemt de korrelspanning enigszins af door het verminderde gewicht van de totale grondkolom en de gelijkblijvende waterspanning (zie figuur 2.1). Het netto effect van de grondwaterstandsverlaging betreft een zetting van de grondkolom die zich vertaalt in maaiveldddaling.

4 Analyse goede / slappe gronden in Nederland

In dit hoofdstuk zullen figuren per provincie worden gepresenteerd, met daarin enerzijds aangegeven waar de goede en slappe grond zit. Slap moet relatief gezien worden want er wordt enkel gekeken naar de eerste 8 meter beneden maaiveld. In het westen van Nederland ligt veelal het slappe pakket tot een diepte van circa 15 meter. Voornamelijk in de dieper gelegen lagen ligt veen en is veelal de veroorzaker van de verzakkingen. In deze analyse is dat effect niet meegenomen. Toch geeft Met De Nieuwe Kaart van Nederland is inzichtelijk gemaakt in hoeverre de nieuwbouwlocaties voor bedrijventerreinen en woonwijken op slappe gronden gelegen zijn.

4.1 Achtergrond kaart

Op de "goede-slechte" grondkaart worden vijf verschillende gebieden onderscheiden:

- het "slechte" grondgebied, onderverdeeld in drie typen,
- het "goede" grondgebied,
- het wateroppervlak.

Het "slechte" ook wel slappe grondgebied is het gebied dat voldoet aan het criterium voor "slechte" grond en bestaat uit een minimaal 5 m dik aaneengesloten klei-, veen- of klei/veenpakket dat voorkomt binnen 8 m vanaf maaiveld. Op basis van de dikte van de eventuele veenlagen binnen de eerste 5 m van het aaneengesloten klei-, veen- of klei/veenpakket is het "slechte" grond gebied onderverdeeld in drie verschillende typen gebieden, te weten:

- het kleigebied: de cumulatieve veendikte maximaal 0,5 m;
- het klei/veengebied: de cumulatieve veendikte bedraagt tussen 0,5 m en 4 m;
- het veengebied: de cumulatieve veendikte bedraagt minimaal 4 m.

Werden binnen het pakket "slechte grond" zandlagen aangetroffen met een totale dikte minder dan 50 cm dan is het pakket als aaneengesloten beschouwd. Dat betekent dat deze lagen in dat geval als slechte grond zijn meegerekend.

Het "goede" grondgebied omvat het gebied dat niet aan het criterium voor "slechte" grond voldoet en bestaat uit één of meerdere zandlagen eventueel afgewisseld met dunnere klei- en/of veenlagen.

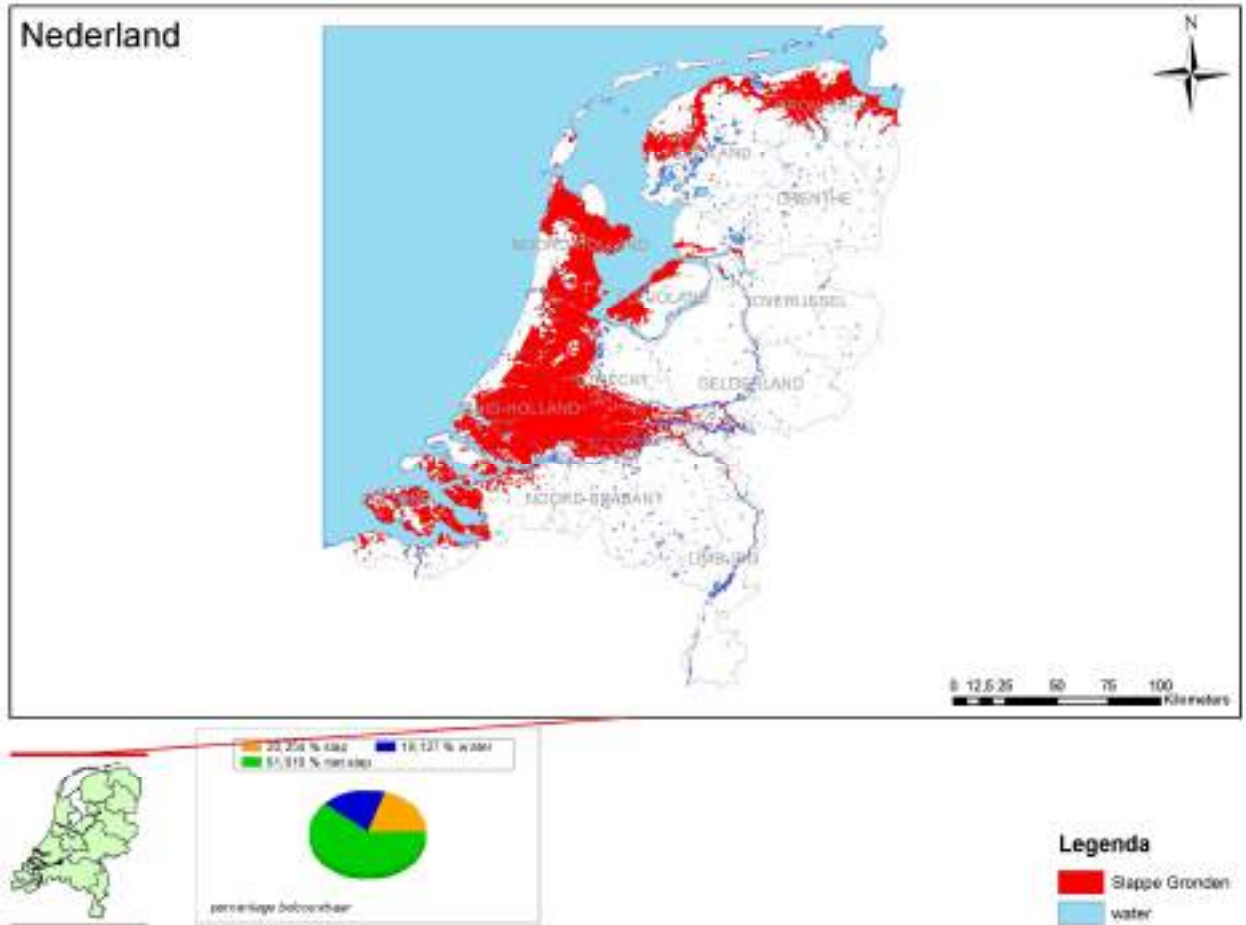
Het wateroppervlak omvat het buitenwater en het binnenwater dat breder is dan 100 m. Een (schier)eiland smaller dan 100 m, dat (aan minstens de twee langste zijden) omringd wordt door water breder dan 100 m, wordt eveneens tot het wateroppervlak gerekend.

Voor een verdere beschrijving van de meetregels en uitvoering wordt verwezen naar eindrapport "Maatstaf Bodemgesteldheid", juli 1997 (NITG-nummer: NITG 97-123 B).

Beperkingen aan deze kaart zijn dat ook lagen in het diepere grondpakket bepalend zijn voor het optreden van zettingen. Veenpakketten zitten dieper dan 8 meter beneden maaiveld. Deze pakketten zullen onder druk van de belasting gaan zettingen, met als gevolg meer zettingen dan voorspeld. In werkelijkheid zijn de gebieden meer zettingsgevoelig dan op basis van deze kaart wordt ingeschat.

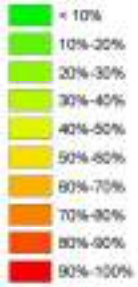
In de volgende paragrafen worden de resultaten voor slechte en goede grond voor respectievelijke Nederland en de provincies gepresenteerd.

4.2 Overzicht goede/ slappe gronden in Nederland

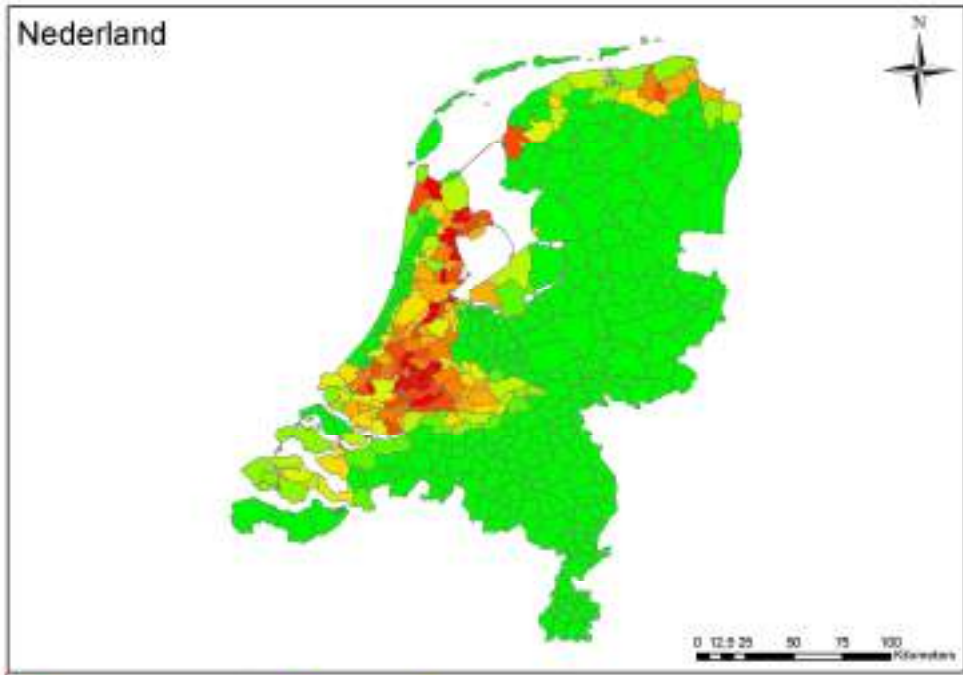


Legenda

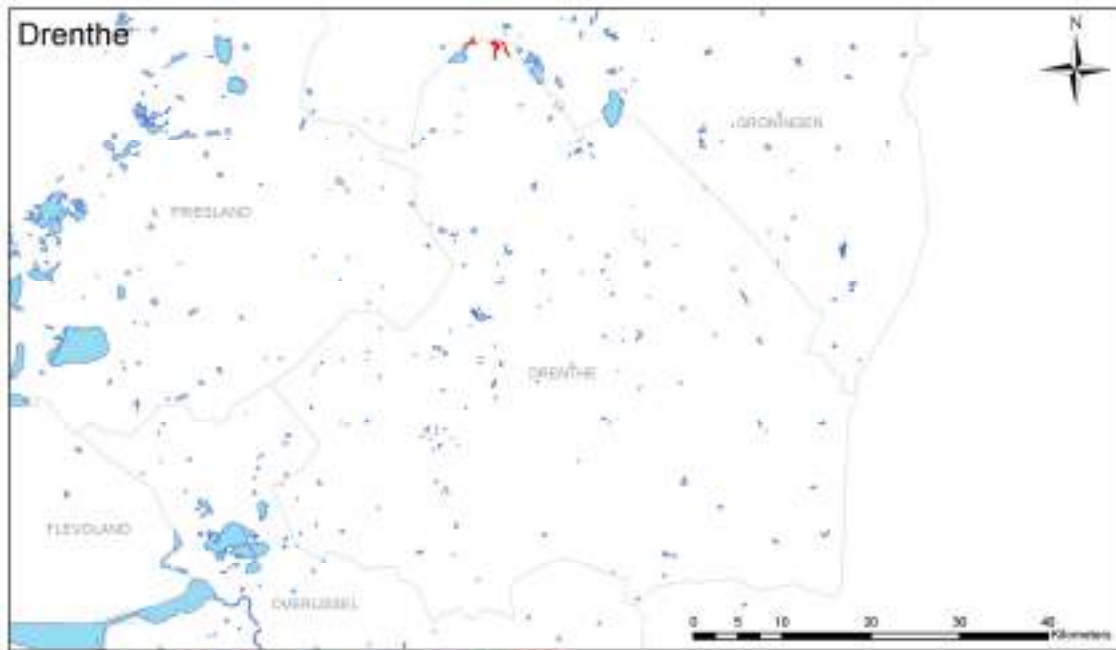
Percentage slappe grond



Nederland



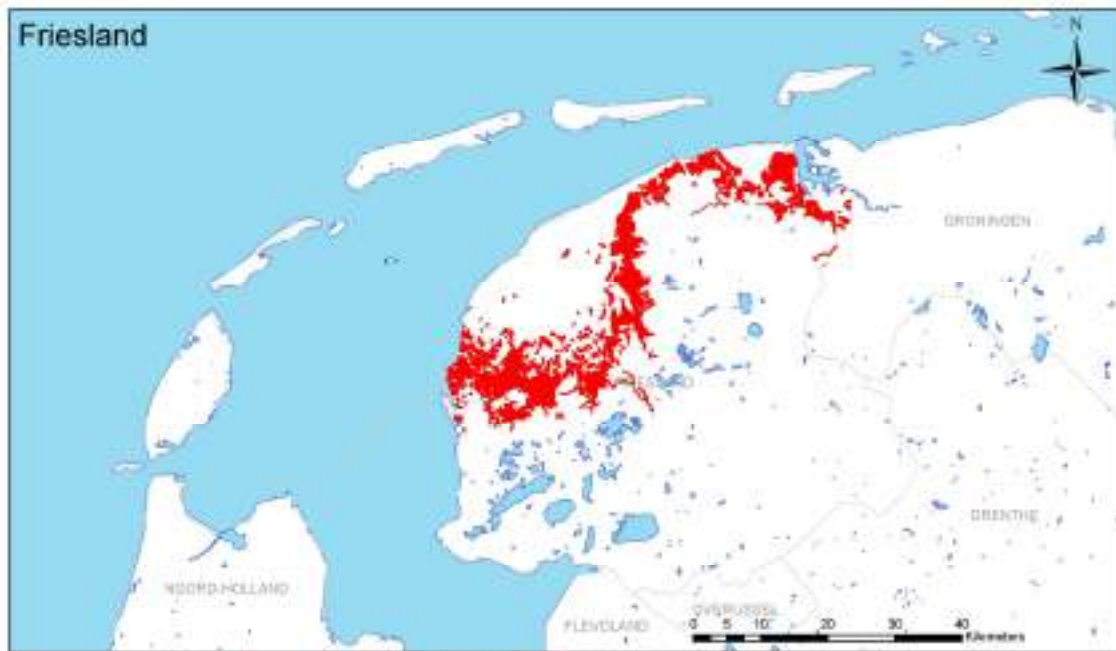
4.3 Overzicht Goede/ Slappe gronden per provincie



Legenda
■ Slappe Gronden
■ water

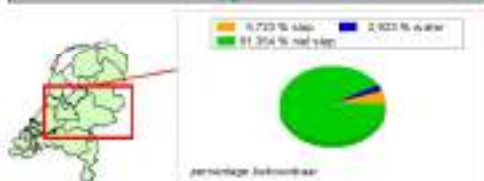
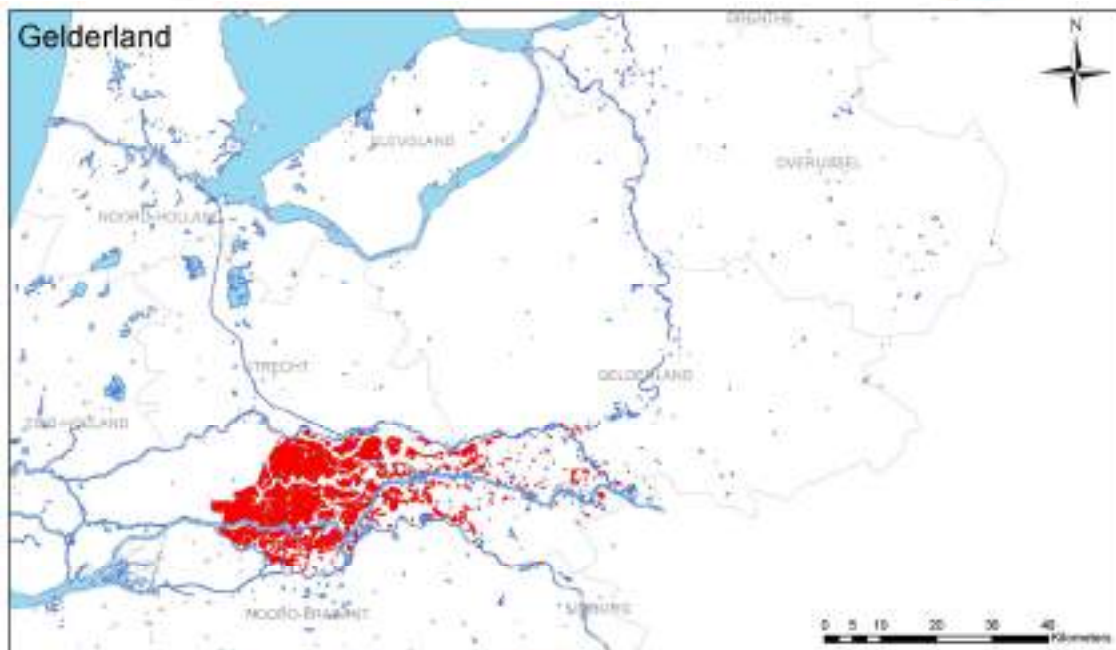


Legenda
■ Slappe Gronden
■ water



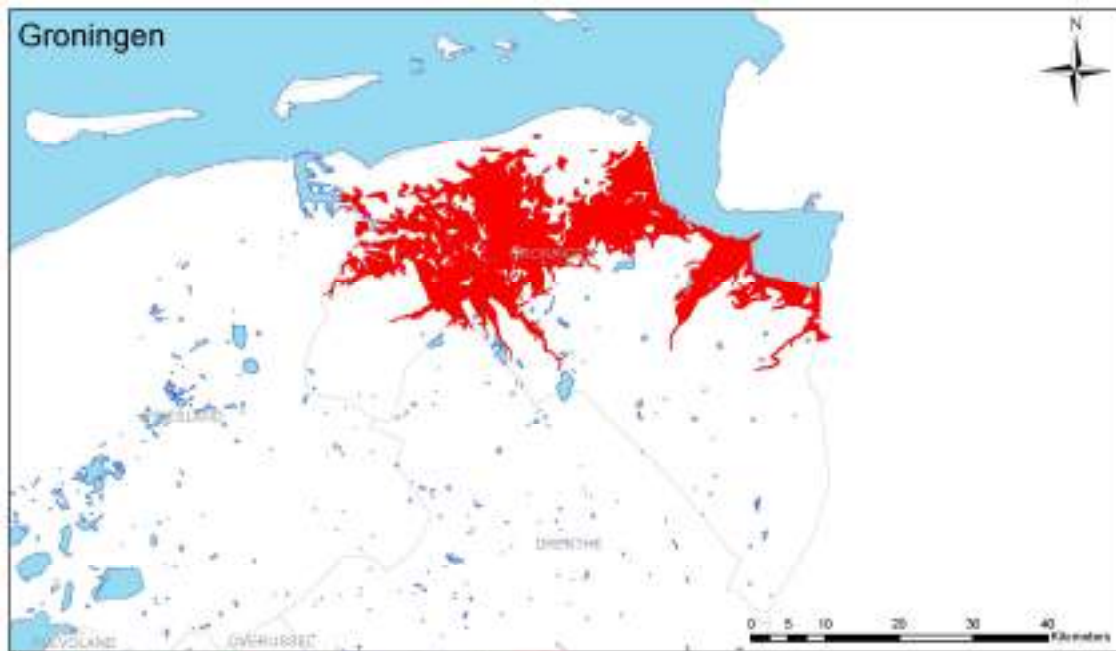
Legenda

- Steppe Gronden
- water

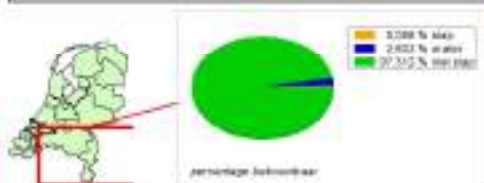
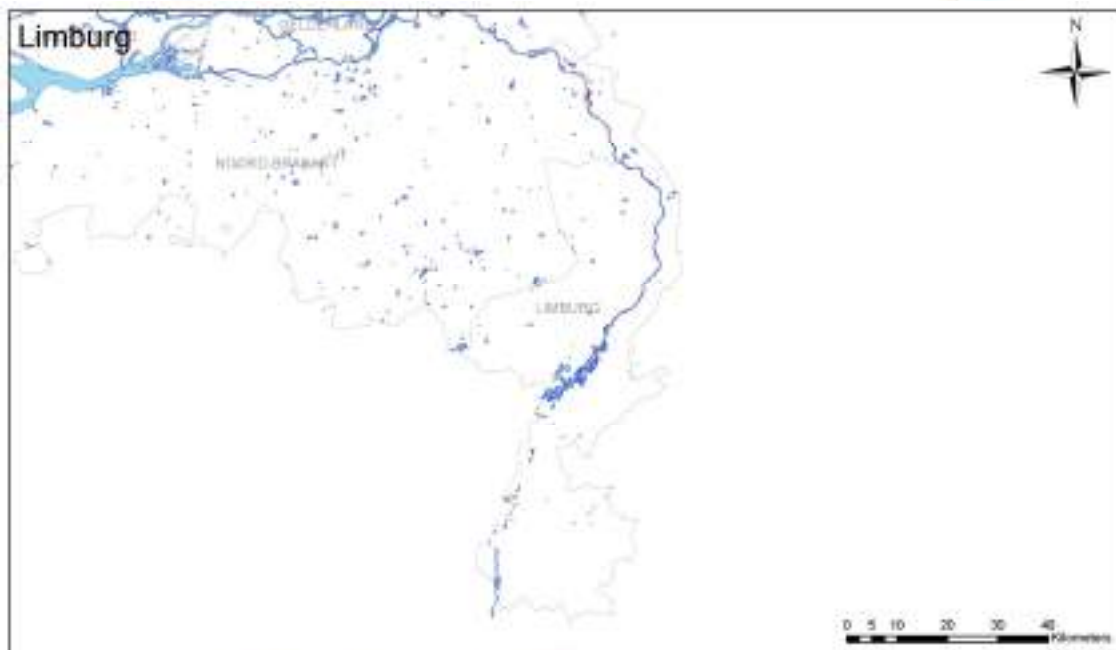


Legenda

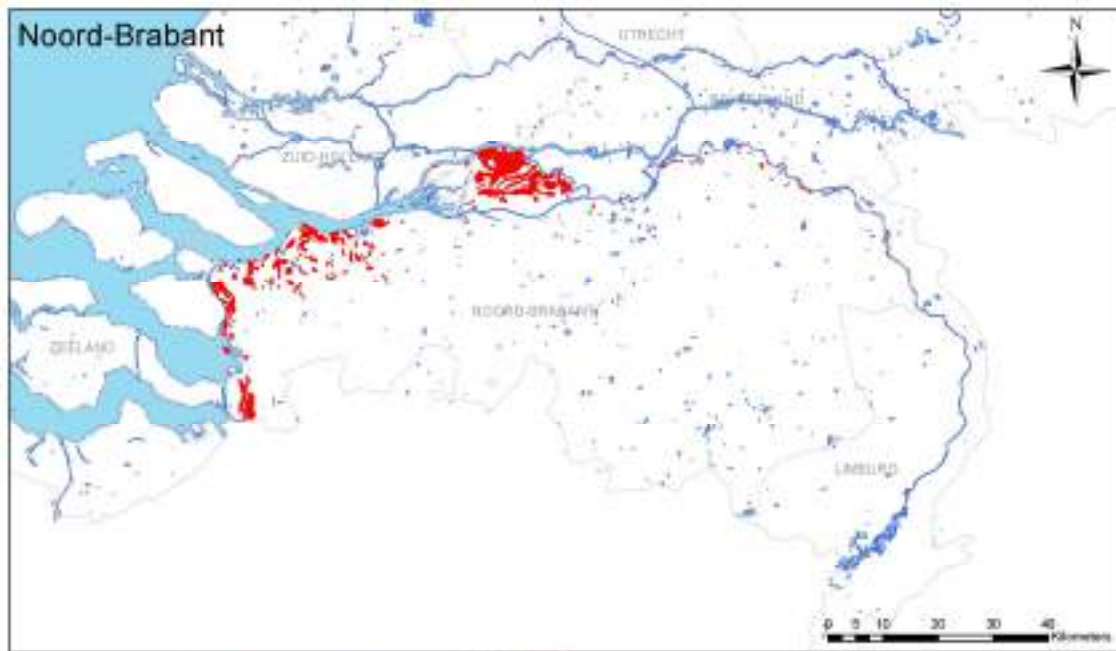
- Steppe Gronden
- water



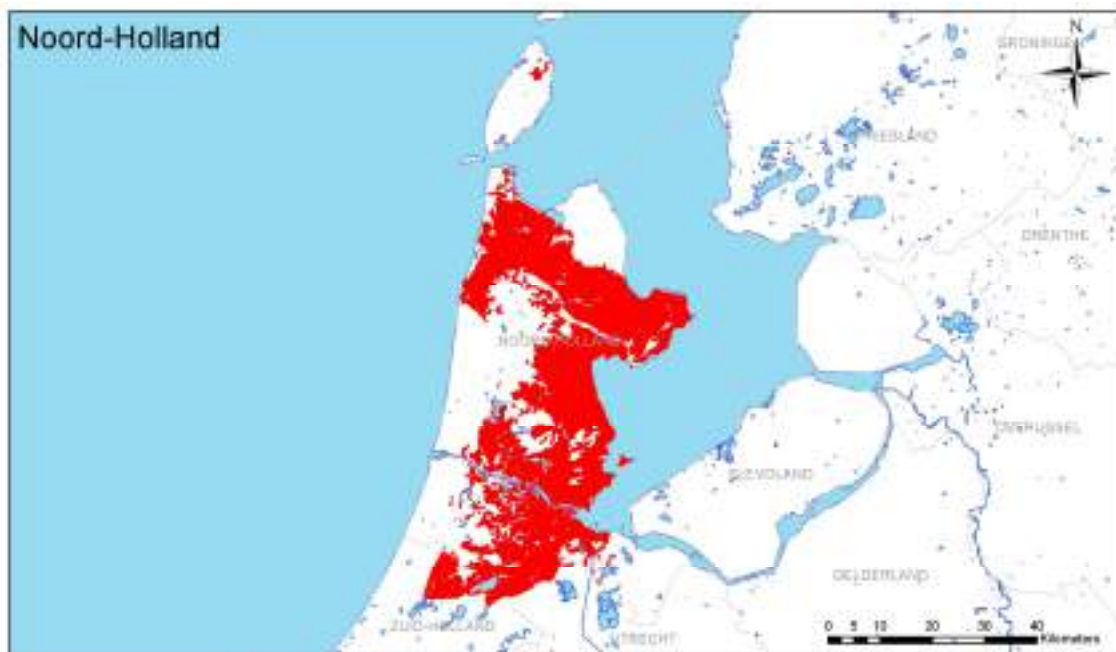
Legenda
 Steppe Gronden
 water



Legenda
 Steppe Gronden
 water

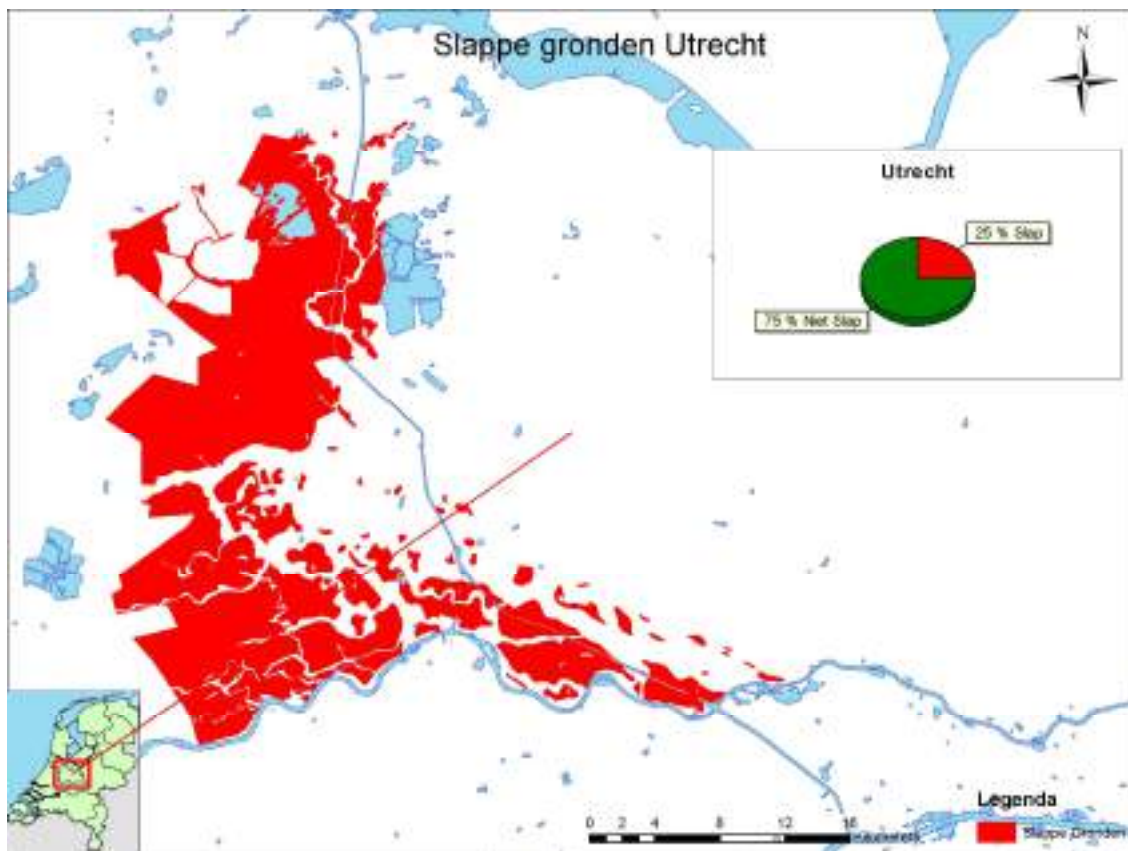
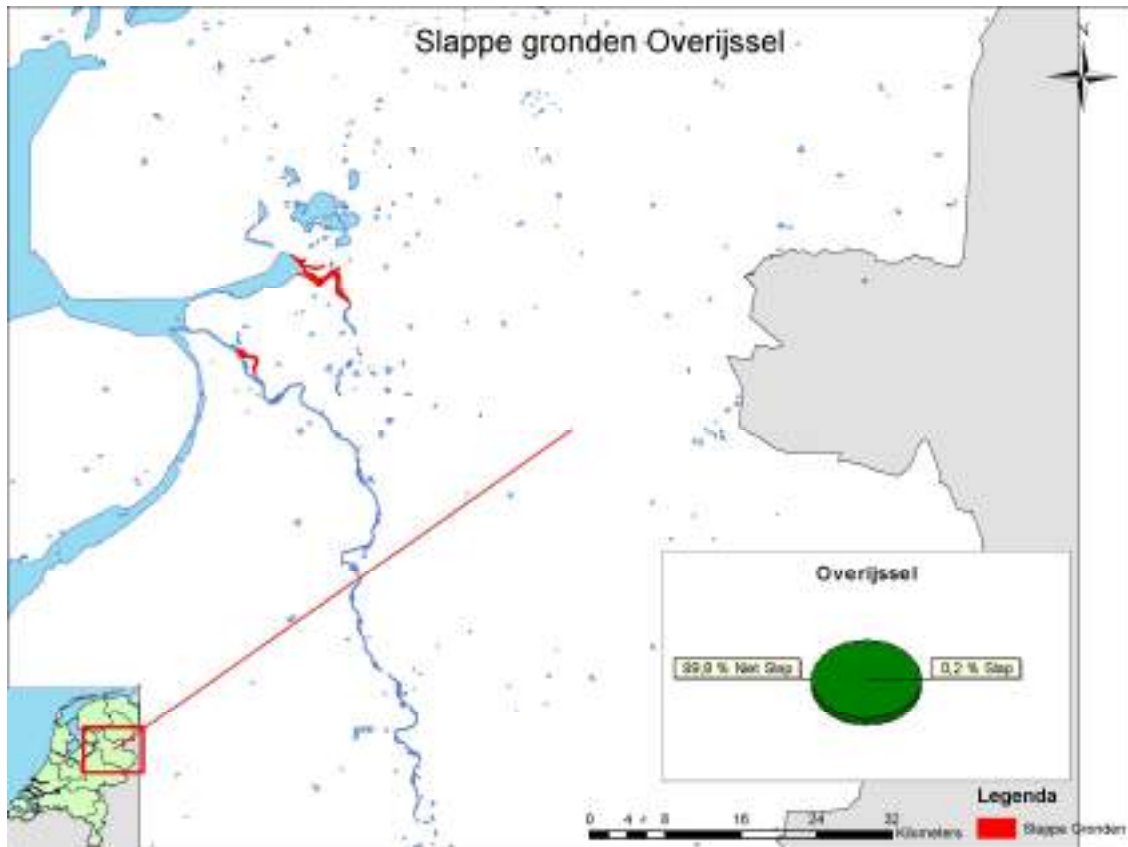


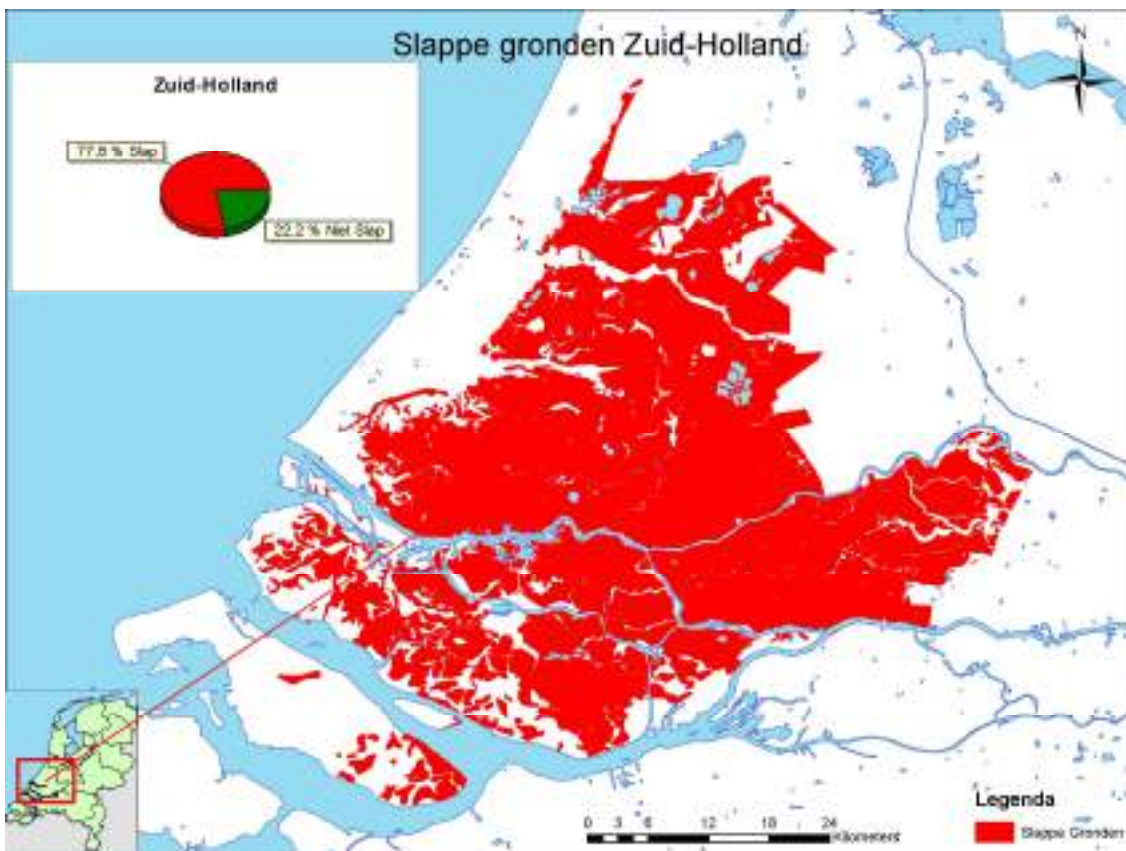
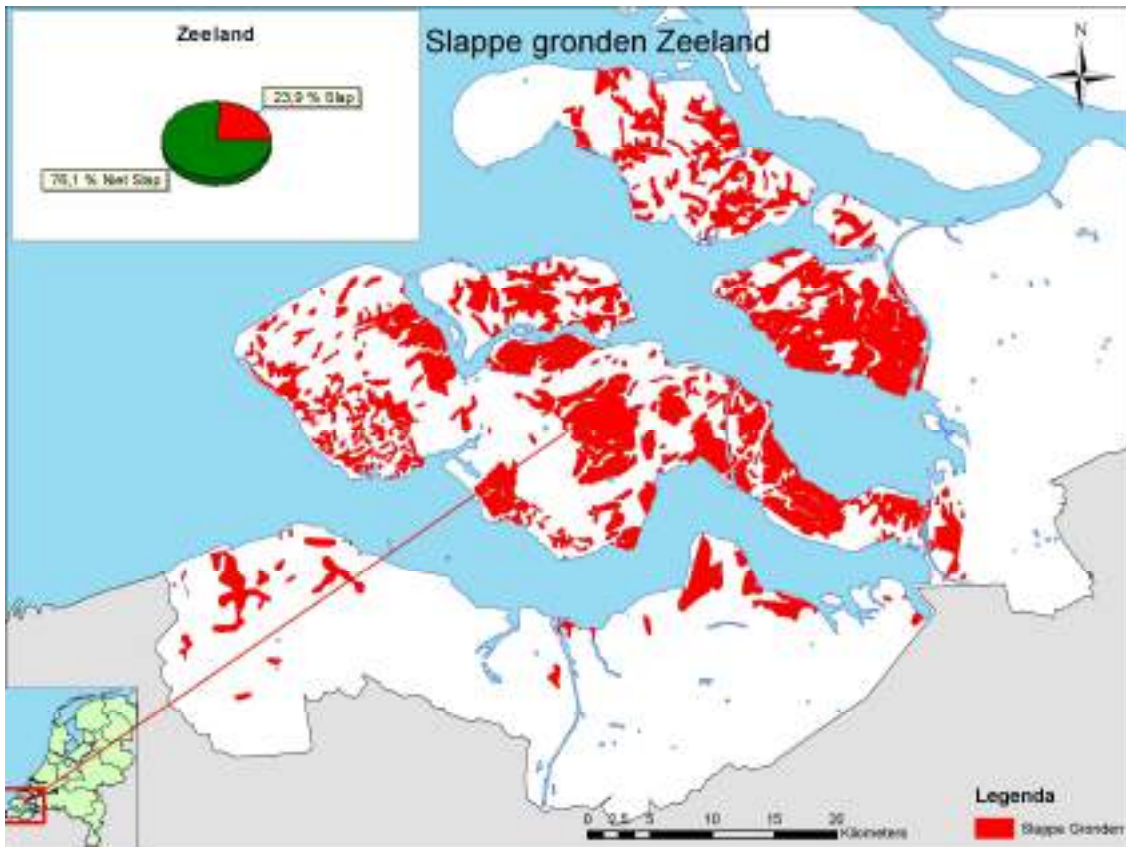
Legenda



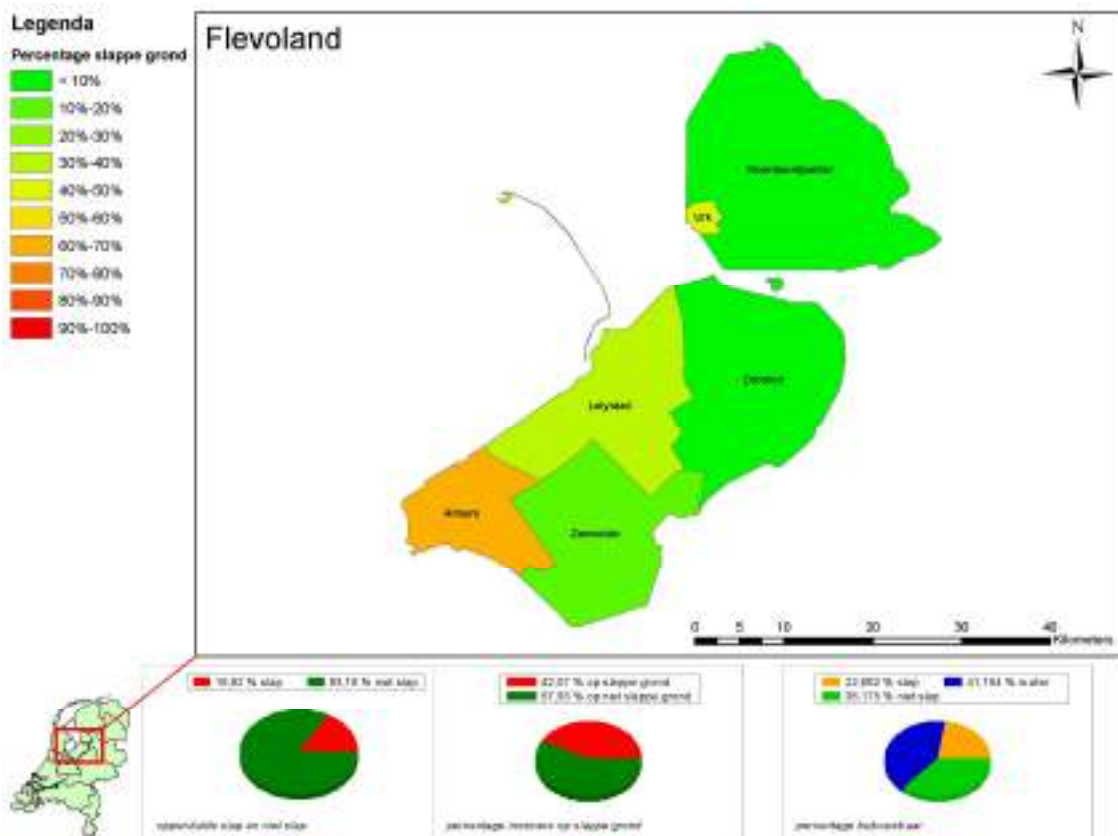
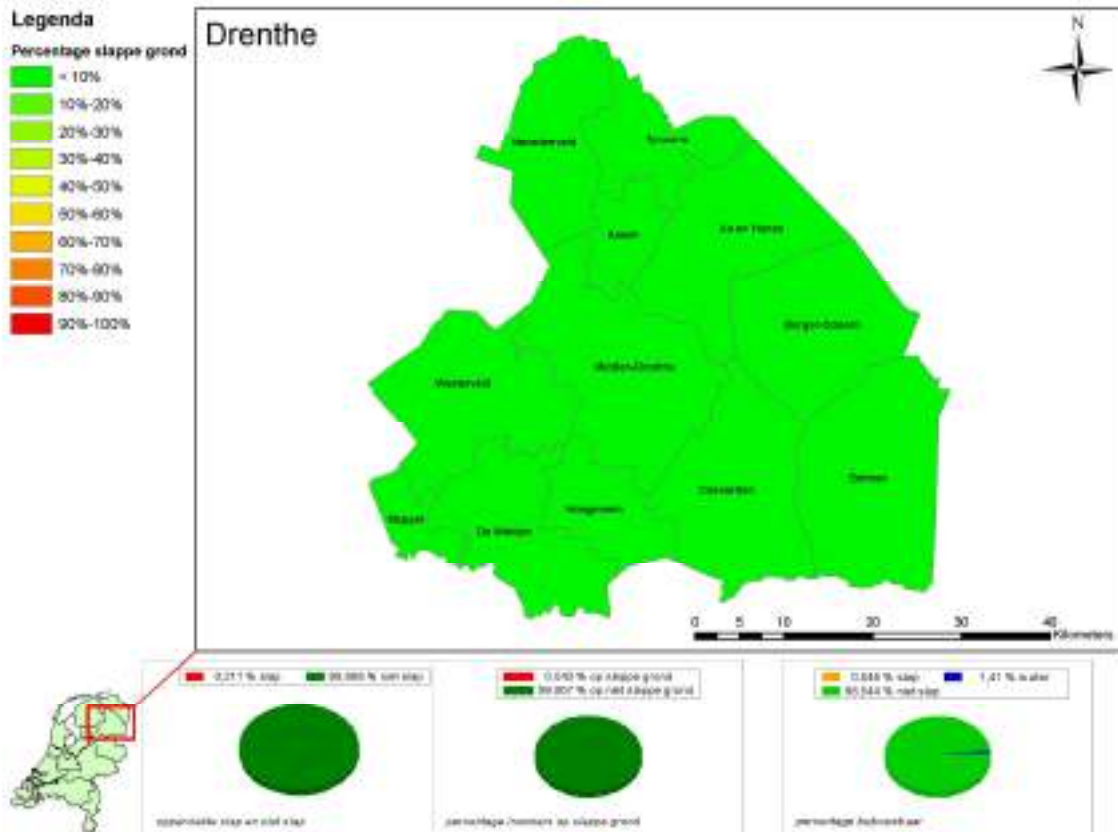
Legenda





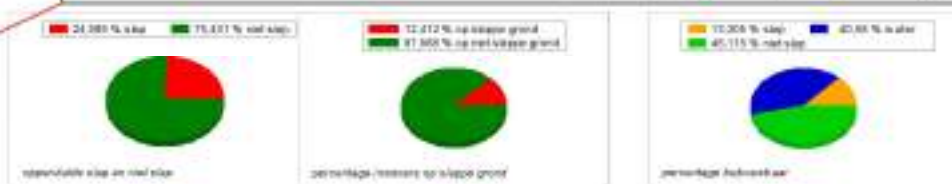
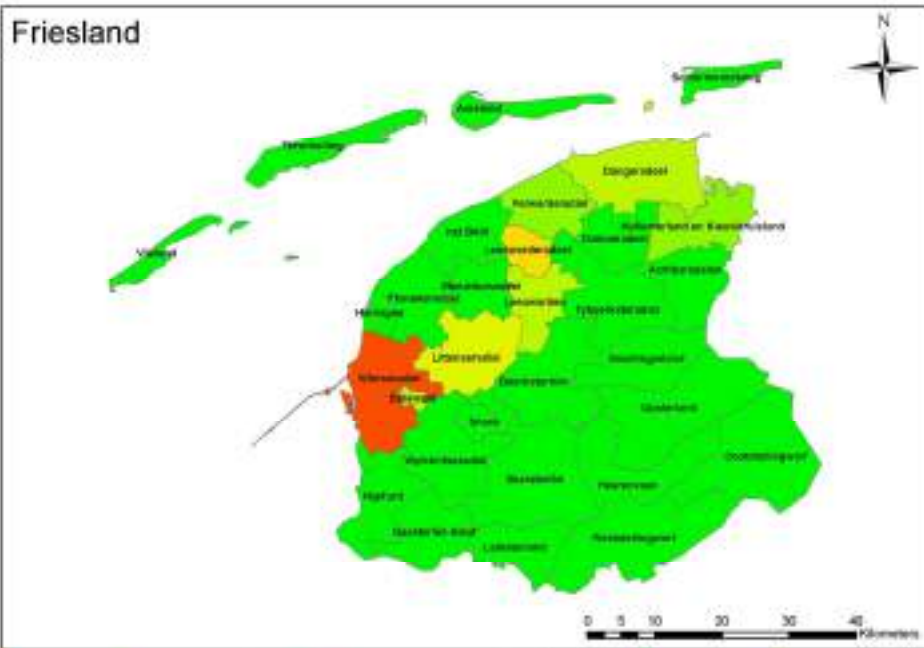
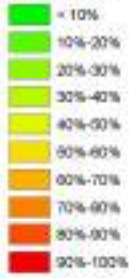


4.4 Overzicht goede/ slappe gronden per gemeente



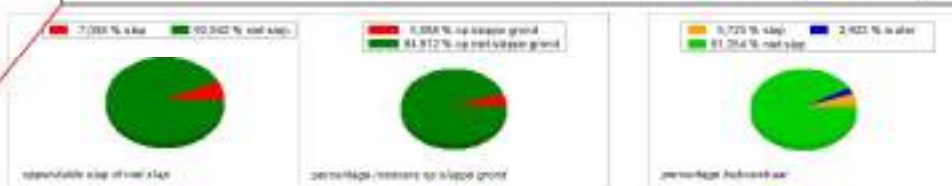
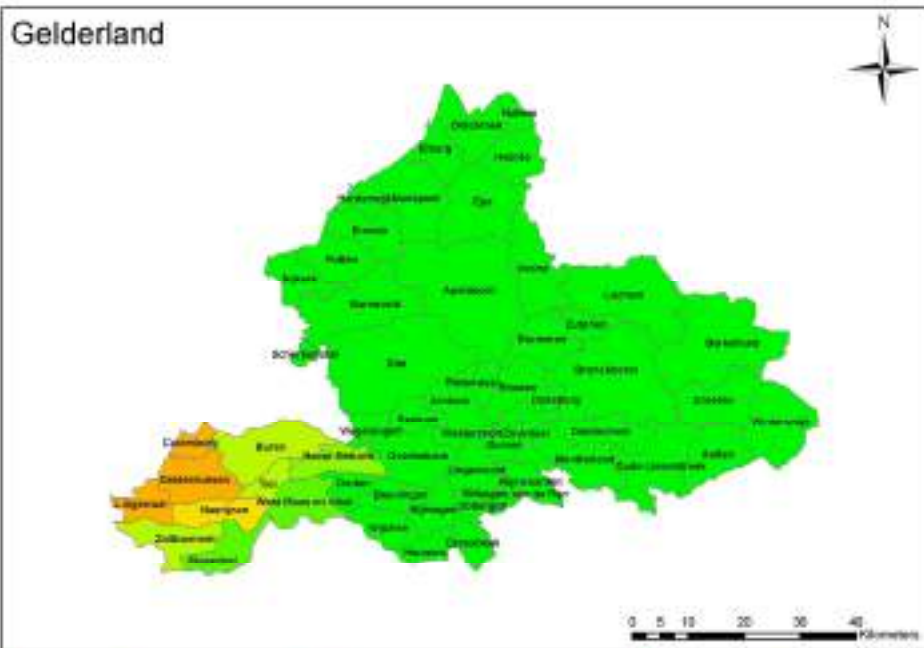
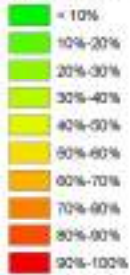
Legenda

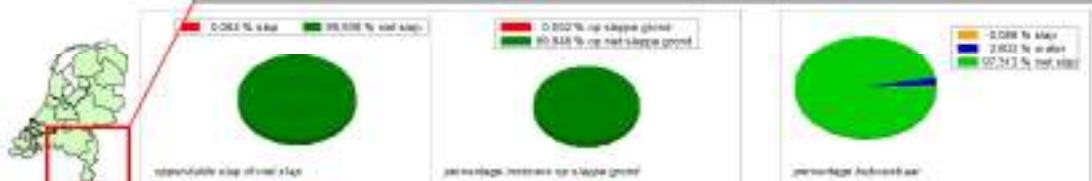
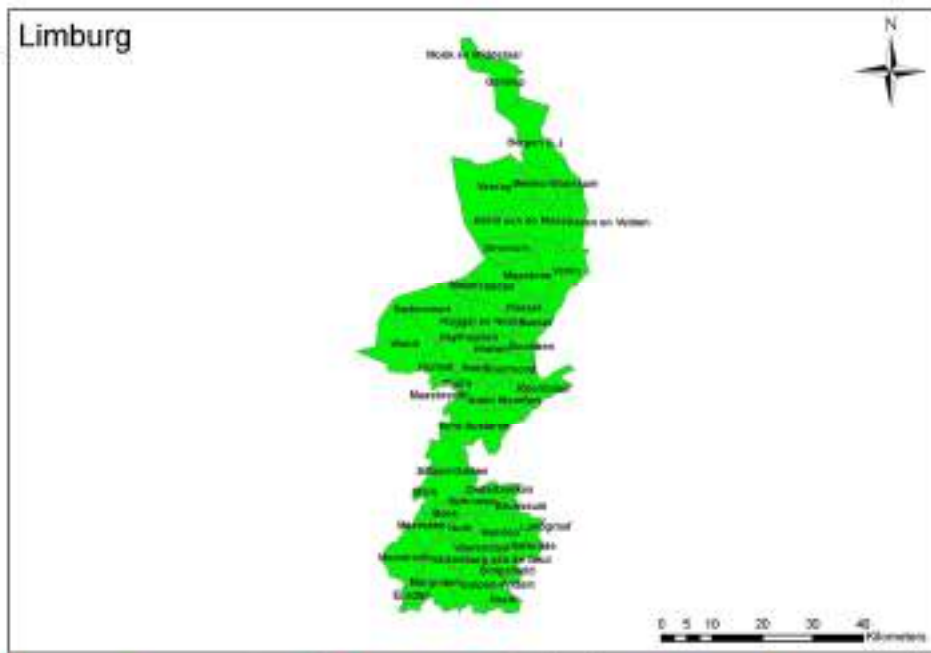
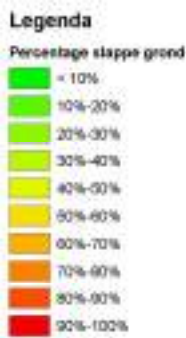
Percentage slappe grond



Legenda

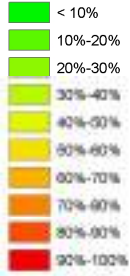
Percentage slappe grond



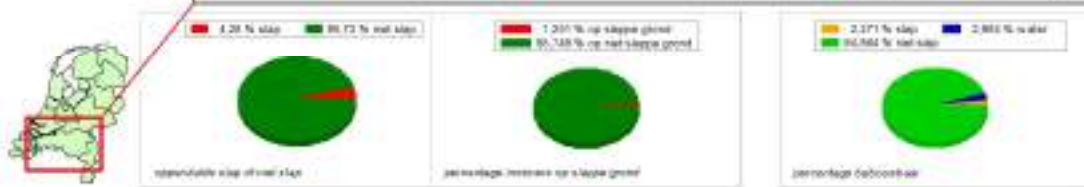


Legenda

Percentage slappe grond

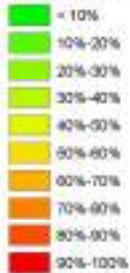


Noord-Brabant

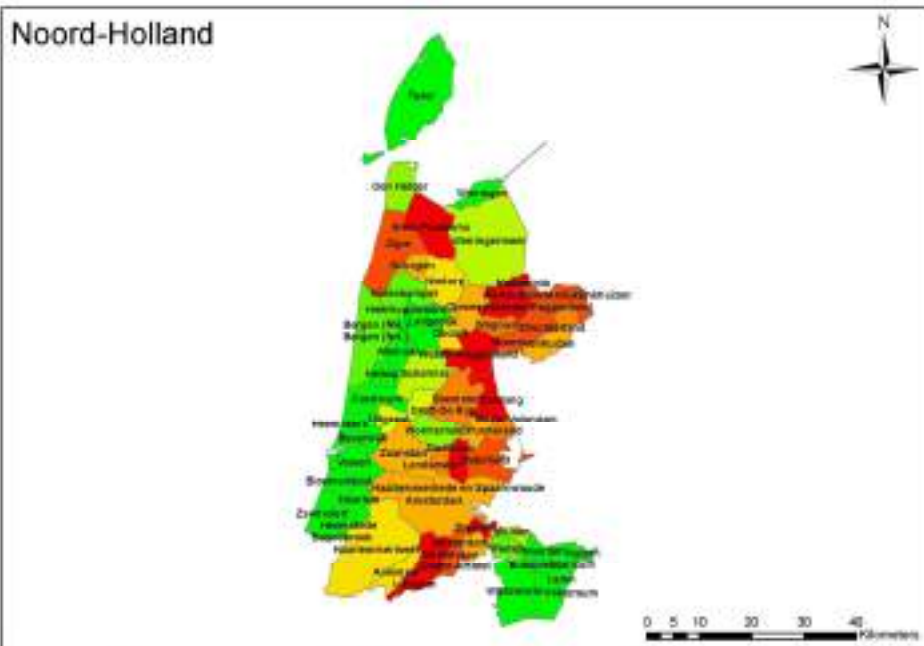


Legenda

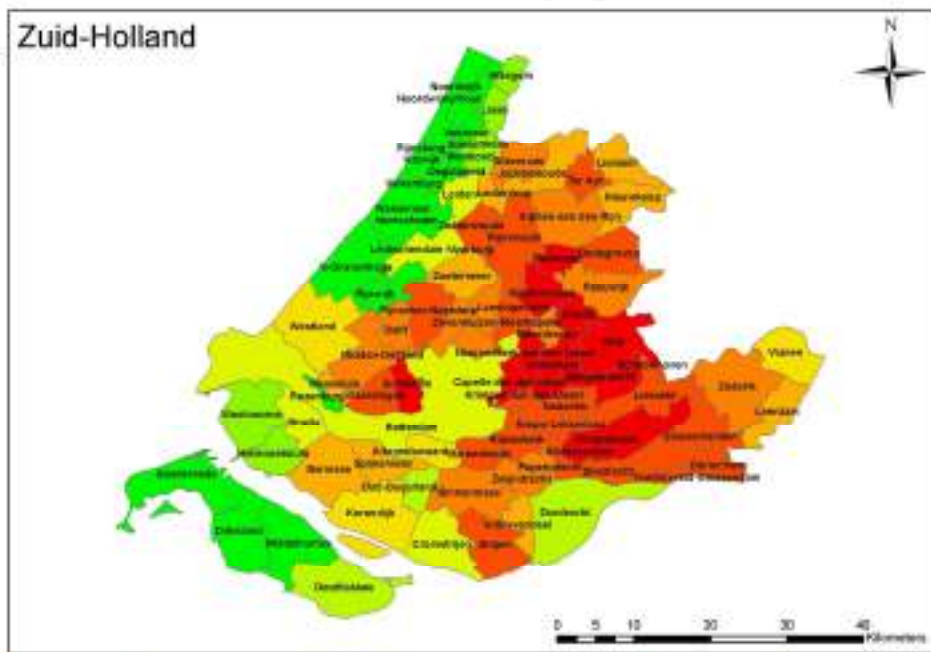
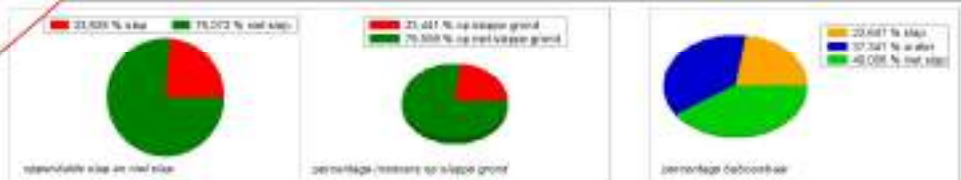
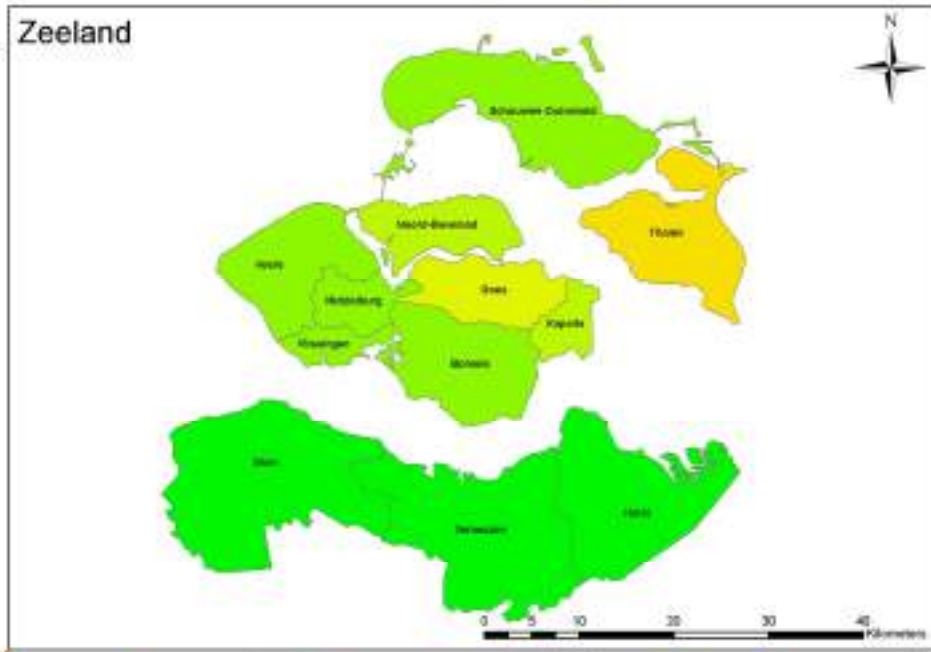
Percentage slappe grond



Noord-Holland







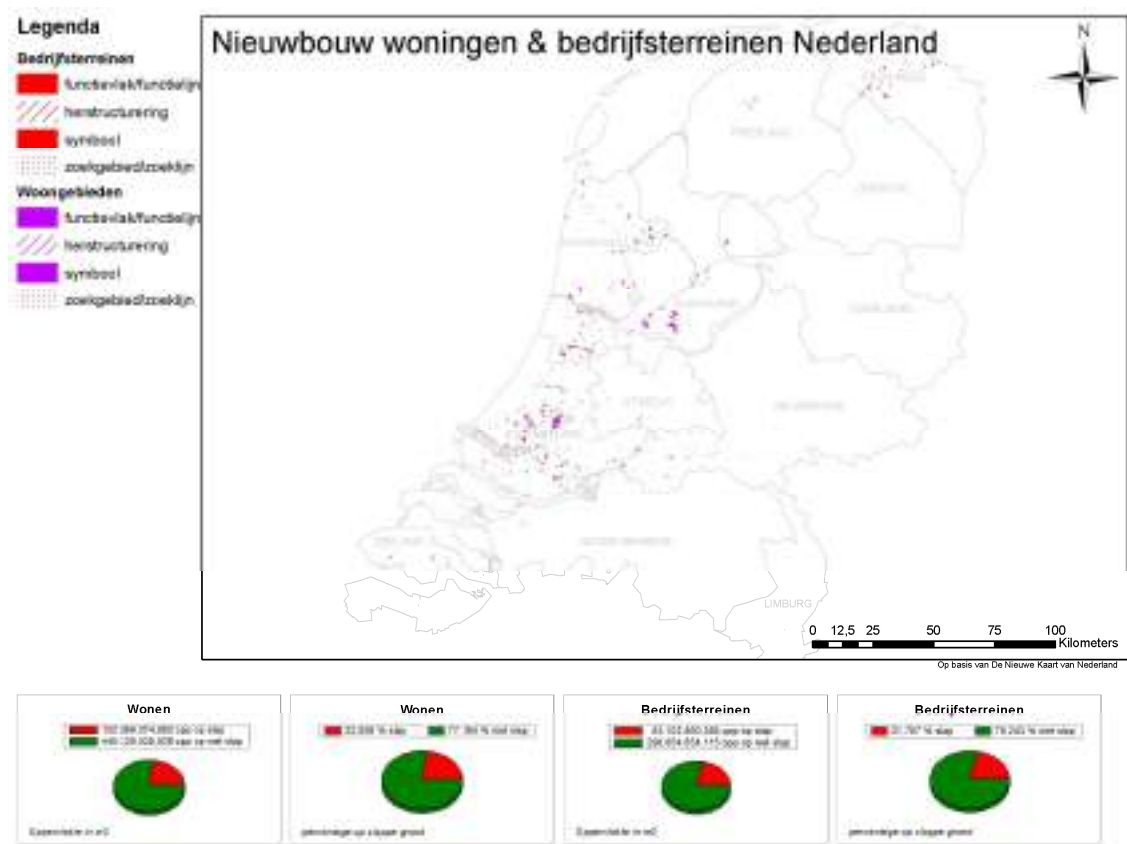
4.5 Nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen in Nederland

Bovenstaande informatie over slappe gronden zijn samengebracht met plannen die de nieuwbouw woningen en bedrijventerreinen omvatten.

Deze informatie is afkomstig van de Nieuwe kaart van Nederland, welke door NIROV te Den Haag wordt onderhouden. Het daar afkomstige GIS bestand bevat plangrenzen, functiegrenzen en plangegevens van meer dan 5.000 ruimtelijke plannen van rijk, provincies en gemeenten. Uit de originele plannen zijn die elementen overgenomen die een verandering van de ruimte of verandering van functie teweegbrengen. De plannen reiken tot ongeveer 2040.

Uit de analyse die is gedaan blijkt dat van de nieuwbouwplannen ongeveer een kwart op slappe grond zal plaatsvinden. Dit aantal zal nog hoger blijken te liggen als er ook rekening wordt gehouden met het lagenpakket tot circa 15 meter onder maaiveld.

Concreet kan echter worden vastgesteld dat circa 23% (132 km²) van de nieuwbouwwoningen op slappe grond gebouwd zal worden. 22% van de plannen om bedrijventerreinen (83 km²) te ontwikkelen zal op dergelijke ondergrond plaatsvinden.



Het bouwen op een slappe ondergrond vraagt om een aanpak gericht op de omstandigheden van de specifieke locatie. Om duurzaam en veilig te bouwen, zal er rekening gehouden moeten worden met de eisen die de ondergrond en het watersysteem aan de nieuwbouwlocatie vragen. Het is belangrijk om in een vroeg stadium de belangrijkste actoren bij het ontwerpproces te betrekken.

5 Zettingseisen

5.1 Inleiding

Door het CROW is in 2004 onderzocht voor de wegconstructies welke eisen er worden gehanteerd voor de eisen ten aanzien van zettingen. Dit is in onderstaande tabel weergegeven. Wat opvalt is dat er voor het bouw-en woonrijp maken een flink aantal zaken nog ontbreken en dat er zelfs interne tegenstrijdigheden zitten in de restzettingseisen. Zaken die nu nog ontbreken zijn bijvoorbeeld de eisen ten aanzien van de tuinen en kabels en leidingen.

Met andere woorden, een eenduidig volledig verhaal voor eisen van zettingen lijkt niet te bestaan. De vraag die gesteld kan worden, hebben we het die afgelopen 20 jaar wellicht fout gedaan en ontstaan er daardoor nu problemen met verzakkingen van wegen en gebroken rioleringsleidingen?

5.2 Zettingseisen¹⁰

Daarnaast lijkt er in de praktijk ook veel onduidelijkheid te bestaan over wat nu precies eind- en restzettingen zijn. Verschillende partijen hanteren ook weer verschillende opvattingen. Om die reden is het verstandig om dit aan het begin van een definitiefase de terminologie en bijbehorende definities vast te leggen, zodat daar in een later stadium geen discussie over kan bestaan.

Uit interviews¹¹ is gebleken dat er veel verschillende eisen worden gehanteerd ten aanzien van de zetting. Aan de absolute grootte van de eindzetting worden eigenlijk nooit beperkingen gesteld, wel aan de restzetting.

Soms wordt aan de restzetting een strenge eis gesteld, bijvoorbeeld voor een provinciale weg: een restzetting van maximaal 0,05 m in 30 jaar. Om dan toch aan de eis te kunnen voldoen, zijn extra zware maatregelen nodig, zoals een grote extra overhoogte, of grondverbeteringstechnieken. Dit laatste moet in de toekomst worden afgezet tegen de kostenbesparing in de onderhoudsperiode.

In onderstaande tabel zijn de zettingseisen samengevat, zoals die uit de interviews naar voren kwamen en zijn geïnventariseerd bij het CROW-project "Keuzemodel Wegconstructies"

Constructie	Zettingseisen volgens verschillende bronnen	Achtergrond
Hogere-orde-weg (autosnelweg)	Restzetting 10.000 dagen (bij zoab 8 a 10 jaar na oplevering grondwerk $\leq 0,15$ m)	Rijcomfort, zettingsverschil over 25 m $\leq 0,05$ m (1:500)
	bij zettingsvrij kunstwerk, restzetting 10.000 dagen na oplevering grondwerk $\leq 0,02$ a 0,24 m (afhankelijk van stootplaatlengte en tegenhelling)	veiligheid, langsonvlakheid bij kunstwerken beperkten tot 1:100; stootplaatlengte 2 a 12 m; geen of wel tegenhelling bij aanleg
	restzetting circa 12 jaar na oplevering verharding $\leq 0,10$ m	rijcomfort en veiligheid
	restzetting 10.000 dagen na ingebruikname $\leq 0,15$ a 0,30 m	Drooglegging
	Restzetting in de onderhoudsperiode $\leq 0,02$ a 0,24 m (afhankelijk van stootplaatlengte en tegenhelling)	- Langsonvlakheid bij kunstwerken beperken tot 1:100
restzetting 10 jaar na ingebruikname $\leq 0,10$ m	rijcomfort, veiligheid, afwatering,	

¹⁰ CROW-project "Keuzemodel Wegconstructies"

¹¹ Gevoelighedsanalyse zettingsprognose onderdeel Definities & Reviews, H.L. Jansen en M.Th.J.H. Smits. Fugro rapportage GZP onderdeel 2.1a, versie 1.6 d.d. 1 juni 2003

		verkanting, beperking onderhoud Drooglegging Langsonvlakheid bij kunstwerken beperken tot 1:100
Tussen-orde weg (provinciale weg)	restzetting 10.000 dagen na ingebruikname $\leq 0,20$ a $0,40$ m restzetting in onderhoudsperiode $0,03$ a $0,34$ m (afhankelijk van de stootplaatlengte en tegehelling)	
	restzetting na 30 jaar na oplevering grondwerk restzetting 10.000 dagen na ingebruikname $\leq 0,15$ a $0,30$ m	rijcomfort, veiligheid, AFwatering, verkanting, beperking invloed opbelendigen, optimaliseren onderhoud, esthetica
	voor fietspaden + bermen: restzetting 30 jaar na oplevering grondwerk restzetting 10.000 dagen na ingebruikname $\leq 0,15$ a $0,30$ m	
	restzetting 30 jaar na oplevering verharding $\leq 0,05$ m	rijcomfort, veiligheid, esthetica, beperking onderhoud
Spoorweg	HSL ballastloos spoor met $v_{trein} \geq 300$ km/h: restzetting 100 jaar na ingebruikname $\leq 0,03$ m	maximale hoekverdraaiing bk-spoor 1:1000 over 20 m
	HSL ballastspoor met $v_{trein} \geq 300$ km/h: restzetting 30 jaar na i ingebruikname $\leq 0,15$ m	bevordering rijcomfort en veiligheid, handhaving verkanting; handhaving afwatering; optimalisatie onderhoud
	IC ballastspoor met $v_{trein} \geq 140$ km/h: restzetting 30 jaar na i ingebruikname $\leq 0,30$ m	
	Betuwelijn: restzetting na ingebruikname eerste jaar $0,08$ m restzetting 3 jaar na ingebruikname $\leq 0,20$ m restzetting 30 jaar na ingebruikname $\leq 0,30$ m	rijcomfort, veiligheid, afwatering, verkanting, beperking onderhoud
Trambaan	restzetting 2 jaar na proefrijden $\leq 0,05$ m restzetting 12 jaar na proefrijden $\leq 0,10$ m	bevordering rijcomfort en veiligheid; optimalisatie onderhoud
	restzetting 1 jaar na proefrijden $\leq 0,05$ m restzetting volgende 20 jaar $\leq 0,20$ m	
	IJtram: restzetting 2 jaar na proefrijden $\leq 0,05$ m Restzetting volgende 8 jaar $\leq 0,05$ m	
Stadsuitbreiding / stedelijk gebied en lager-orde-weg	restzetting 10.000 dagen na ingebruikname $\leq 0,30$ a $0,50$ m restzetting in onderhoudsperiode $\leq 0,15$ m	drooglegging beperken langsonvlakheid over 25 m bij kunstwerken
	Restzetting 10.000 dagen na oplevering grondwerk $\leq 0,10$ m	Verhinderen van schade aan het rioleringsstelsel
	Restzetting 20 jaar na ingebruikname $\leq 0,20$ a $0,30$ m, soms $0,0$ m	Beperking onderhoud; ook: vlakheid, afwatering en beperken zettingsverschil met onderheide constructies
	Restzetting 30 jaar na heien eerste paal $\leq 0,20$ m (tijdstip heien eerste paal ligt kot voor het aanbrengen van de huisaansluitingen)	Optimaliseren onderhoud, bevorderen rijcomfort en veiligheid, verhinderen schade kabels en leidingen
	Restzetting gedurende onderhoudstermijn (oorspronkelijk 7 jaar, huidige trend 15 jaar) $\leq 0,05$ m	
	Restzetting 10.000 dagen na oplevering grondwerk $\leq 0,10$ a $0,15$ m	Beperken onvlakheid; verhinderen extra belasting op stootplaten, verhinderen van schade aan rioleringen; beperken verzakking stoep en tuinen.
	Restzetting 20 jaar na ingebruikname $\leq 0,30$ m	Optimalisatie onderhoud
Stedelijk gebied: kunstwerk op palen gefundeerd	Restzetting 30 jaar na installeren palen $\leq 0,20$ m	Verhinderen van schade aan palen door horizontale gronddruk
Vliegveld	Restzetting circa 30 jaar na ingebruikname $\leq 0,03$ m	Verschil in restzetting $\leq 0,03$ m over 45 m (1:1500) ter beperking ongewenste versnellingskrachten in vliegtuigen; bij vaste obstakels is de restzetting $0,0$ m

Tabel 5.1 Overzicht restzettingseisen , welke geïnventariseerd zijn tijdens het CROW-project "Keuzemodel Wegconstructies"

Grenstoestand

Berekeningen dienen te worden gemaakt met rekenwaarden van de parameters. Deze worden verkregen door de representatieve waarde van de parameter te delen door de bijbehorende partiële factor. Zettingsberekeningen worden veelal gemaakt voor de bruikbaarheidsgrenstoestand BGT (grenstoestand 2), waarvoor de partiële factoren gelijk zijn aan 1,0.

In bepaalde gevallen wordt een zettingsberekening gemaakt voor de uiterste grenstoestand UGT (grenstoestand 1B, falen van de constructie door te grote zetting van de ondergrond).

Hiervoor is de partiële factor niet gelijk aan 1,0.

Voorbeelden hiervan zijn waterkeringen, waarbij een te grote zetting leidt tot grote overstroming van het achterland, en ondergrondse leidingen, waarbij een te grote zetting leidt tot schade aan of breuk van de leiding.

Verwachtingswaarde of bovengrenswaarde?

De verwachtingswaarde van de berekende zetting is de gemiddelde waarde (50%overschrijdingskans). De bovengrenswaarde heeft een veel kleinere overschrijdingskans. 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 bijvoorbeeld: toegestane restzetting bedraagt niet meer dan X m in Y jaar. Het is wel heel belangrijk om te weten wat onder deze restzettingseis wordt verstaan en wanneer in het bouwproces deze in gaat.

Een aspect van de zettingsprognose is de relaties tussen de zettingseis en de maatschappelijke consequenties. Het gaat hierbij om het vastleggen van het doel (de achtergrond) van de zettingseis. In de meeste gevallen is de zettingseis gebaseerd op ervaring van de betreffende instantie. In sommige gevallen is de zettingseis afgeleid uit een berekeningsmodel, namelijk bij:

- de versnelling die een vliegtuig ondergaat bij een langsonvlakheid in de verharding
- de zetting van de stootplaat bij een op palen gefundeerd kunstwerk.

Tot op heden is er nog geen sprake van een integrale kostenafweging, waardoor ook de kosten van de eindgebruiker worden meegenomen om het terrein op orde te houden. Nu worden alleen de aanlegkosten meegenomen en de organisatie die daarvoor zorgt is veelal gebaat bij lage bouwkosten.

Vaak wordt een eis gesteld aan de restzetting, uitgaande van de wens het onderhoud te beperken en/of het rijcomfort en de veiligheid te vergroten. Deze tabel is ook afkomstig uit het CROW rapport, maar voor het bouw- en woonrijp maken ontbreken er nog een aantal aspecten en worden in onderstaande tabel toegevoegd.

Achtergrond	Toelichting
Bovenbouw (wegconstructie en spoorstaven)	
onderhoud	<ul style="list-style-type: none">- weg zo min mogelijk buiten gebruik stellen- beperking onderhoudskosten: onderhoud aan verharding/bovenbouw laten samenvallen met 'onderhoud' aan de ophoging; voor hoofdwegennet is dit tijdsinterval 10 a 12 jaar
Veiligheid, statisch	<ul style="list-style-type: none">- Handhaving zekere verkanting voor voldoende afwatering (geen plasvorming)- Beperking verkanting ter voorkoming van wegglijden bij ijzel.
Veiligheid, dynamisch	Grens aan onvlakheid ter beperking van ongewenste versnelling van passerend voertuig en lading (voertuig-weg-dynamica); hierbij aandacht voor: <ul style="list-style-type: none">- de langsonvlakheid in het algemeen- de langsonvlakheid bij zettingsvrije (onderheide) kunstwerken- nastelbaarheid van spoorstaven (strengere inzettingsseis bij ingelijmd spoor, dat niet nastelbaar is, dan bij spoor op ballastbed, dat wel eenvoudig nastelbaar is.

Rijcomfort	
Geluidsoverlast en trillingshinder	Een onvlakke weg leidt tot extra geluids- en trillingshinder in de omgeving
Drooglegging	<ul style="list-style-type: none"> - verhinderen van schade aan de wegfundering door verzadiging en/of vorst - verhinderen dat bijvoorbeeld AVI-slakken beneden grondwaterspiegel zakken
Esthetica	Onvlakke weg geeft weinig vertrouwen
Overig	
Huisaansluitingen nutsleidingen	Verhinderen van schade aan huisaansluitingen door beperking van de zetting vanaf het tijdstip van aanleg van nutsleidingen
Riolering	Verhinderen van schade aan rioleringsbuizen door te grote zettingsverschillen
Belending	Beperking verticale en horizontale gronddeformatie in verband met belending; grote zetting gaat vaak gepaard met grote horizontale gronddeformatie.
Woningbouw en omgeving (aanvullend)	
Kruipruimte bodem	De bodem zakt onder de grondwaterstand, met als gevolg natte kruipruimte en vochtproblemen
Onderhoud	Beperken van de onderhoudskosten voor burgers aan tuinen en opritten, zo veel mogelijk laten samenvallen met "onderhoud" wanneer materialen einde levensperiode zijn
Onderhoud fundering gebouw	Beperken van de inspoeling onder de funderingsbalk, door het zetten van de ondergrond
Regionale wegen	Boven het wegdek uitkomen van de putdeksels, met gevolgen voor de stootbelasting

Tabel 5.2Achtergrond zettingseisen

Economische overwegingen

De eisen die gesteld worden aan de restzettingen zijn vaak bedoeld om de onderhoudskosten te beperken. Bij infrastructurele projecten kan een afweging worden gemaakt tussen aanleg- en onderhoudskosten¹². [artikel Venmans/Barneveld]. Bij life cycle costs worden onder andere aanlegkosten, kosten van onderhoud ten gevolge van te grote restzetting en afgeleide kosten (hinder voor gebruikers) onderscheiden. Met de contantewaardenmethode kunnen de kosten, die op verschillende tijdstippen worden gemaakt, worden vergeleken. Een probleem kan zijn dat aanleg en beheer zijn ondergebracht bij verschillende instanties, met een van elkaar onafhankelijke financiering. Bovendien liggen maatschappelijke kosten veelal bij bewoners/gebruikers.

In het algemeen worden de maatschappelijke kosten vaak alleen kwalitatief beschouwd. Bij de afgenomen interviews is niet gebleken dat voor overwegingen ten aanzien van de maatschappelijke kosten een economisch rekenmodel wordt gebruikt. De eisen worden vaak op basis van ervaring gesteld.

5.3 Conclusies

Aan de hand van interviews blijkt dat in de praktijk velerlei zettingseisen worden gehanteerd, waarbij in een aantal gevallen sprake is van verwarring in de gebruikte terminologie. De bestaande eisen richten zich voornamelijk op de (spoor) wegen. Eisen voor particulier terrein ontbreken veelal nog. Dit wordt mede veroorzaakt doordat er nog geen integrale kostenafweging, plaatsvindt. Dit heeft als gevolg dat de onderhoudskosten van de eindgebruiker niet worden meegenomen bij het ontwerp. Nu worden alleen de aanlegkosten meegenomen en de organisatie die daarvoor zorgt is veelal gebaat bij lage bouwkosten. Een probleem kan zijn dat aanleg en beheer zijn ondergebracht bij verschillende instanties, met een van elkaar onafhankelijke financiering. Bovendien liggen maatschappelijke kosten veelal bij bewoners/gebruikers. Hier is nog een slag te behalen.

¹² *Decision support model for the selection of Construction methods for road embankments and widenings on soft soil*, A.S. Barneveld & A.A.M. Venmans uit: *Geotechnical Engineering for Transportation infrastructure*, Barends *et al.*, Balkema, Rotterdam, 1999..

6 Oplossingsmethodieken

Uit hoofdstuk 5 kwam al naar voren dat het belangrijk is om ook het onderhoud, welke in de beheerfase plaatsvindt, mee te nemen in de initiatieffase. Hierdoor kan veel (financieel) voordeel behaald worden.

Keuzen die in het begin van het proces worden gemaakt zullen doorwerken tot en met de onderhoudsfase en dat kan zowel positief als negatief zijn.

Door alle overwegingen in de initiatieffase kan er voordeel worden behaald in de duurzaamheid en veiligheid van een wijk. Zo kan er met een gesloten grondbalans of minimaal gebruik aan materialen gewerkt worden. Door veiligheid te creëren in steden, zullen gemeenten minder snel aansprakelijk worden gesteld voor kwetsuur die bewoners oplopen door schade aan infrastructuur, zoals bijvoorbeeld verzakkingen in de stoep.

Om de problematiek van zettingen bij constructies te voorkomen / verminderen zijn diverse oplossingen mogelijk. Deze oplossingen kunnen ruwweg in 3 methoden opgedeeld worden:

- Locatieontwikkeling
- Ophoogmethoden
- Bouwmethoden

Hieronder zullen diverse oplossingen per methodiek weergegeven worden. Deze lijst is allesbehalve geheel omvattend. Aanvullingen zijn te allen tijde welkom.

6.1 Locatieontwikkeling

Met de huidige middelen is het vrij eenvoudig om wijkfuncties en de kwalitatieve eisen (aan drooglegging en restzetting) te vertalen naar bodemgeschiktheidskaarten. Hiermee is het mogelijk prioriteiten te stellen bij de toedeling van ruimte aan diverse functies. Door een goede keuze is een minimalisatie mogelijk van de totale bouw- en onderhoudskosten. Bij een onderzoek voor Almere Pampus bleek het bijvoorbeeld mogelijk om een besparing van 600.000 m³³ zand te bereiken en een voorziene afname van 20 % op de toekomstige beheerkosten. In het voorbeeld Technopolis Delft was een masterplan voor de ruimtelijke inrichting al klaar. Hier bleken de achteraf opgestelde bodemgeschiktheidskaarten nuttig bij de detaillering over rioolkeuze, de ligging van uitvalsroutes en de locatie van waterpartijen. Een verdere optimalisatie kan ook hier tot grote besparingen leiden. In het voorbeeld van de visiestudie voor de inrichting van de Zuidplaspolder kwam naar voren dat de structuur van de aanwezige zandige geulopvullingen zich uitstekend leent als draagkrachtige basis voor de verkeerswegen¹³.

6.2 Methoden van ophogen

Voor het verbeteren van de grond van een bouwterrein zodat een goede begaanbaarheid, draagkracht, drooglegging en ontwateringsdiepte verkregen wordt, zijn drie methoden mogelijk. Er kan ook nog een variatie in het gebruik van bouwmaterialen worden onderscheiden. Qua materiaalgebruik zijn twee aparte oplossingsrichtingen te benoemen, te weten recycling van materialen en een gesloten grondbalans.

6.2.1 Integraal ophogen

Het hele gebied wordt bouwrijp gemaakt door een hoeveelheid zand op te brengen. Deze methode wordt meestal gebruikt wanneer het stedenbouwkundig plan nog niet bekend is.

¹³ Verslag Middagsymposium "Ontwikkellocaties", d.d. 26 mei 2005, te GeoDelft (www.Geodelft.nl)

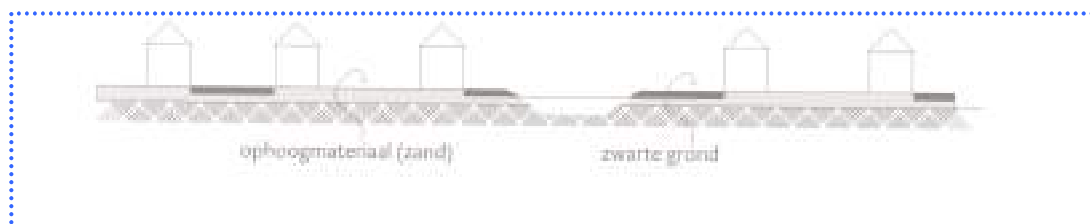
Bij integraal ophogen wordt een laagzand aangebracht over het gehele terrein. Deze maatregel wordt getroffen om een goed begaanbaar, draagkrachtig en droog bouwterrein te realiseren. Uit theoretisch oogpunt is een laagdikte van 0,50 m zand voldoende draagkrachtig, mits deze laag voldoende ontwaterd is. Door spoorvorming tijdens de bouwfase zal het vrijwel onmogelijk zijn om deze laagdikte te handhaven en daarom zal de minimale laagdikte minimaal 0,70 m moeten bedragen. Om aan de droogleggingsnorm te voldoen zal bij deze minimale ophoging het terrein intensief moeten worden gedraineerd. De minimum laagdikte van 0,70 m kan slechts dan worden toegepast:

1. Indien de zettingen die optreden ten gevolge van de ophoging beperkt blijven en de ontwateringdiepte al groot is, dat na zetting de ontwateringdiepte nog aan de gestelde eis voldoet. De vereiste ontwateringdiepte is veelal 1,20 m of groter.
2. Indien het polderpeil vrij kan worden vastgesteld. Het nieuwe peil moet dan voldoende diep zijn ingesteld beneden het door ophoging overhoogte en door zetting verlaagde maaiveld.

Om aan de droogleggingseis voor het bouwterrein te kunnen voldoen spelen twee factoren een rol:

- een dikke laag zand, waarbij een grote opbolling van het grondwater wordt toegelaten om de vereiste drooglegging a te krijgen. De drains kunnen relatief ver van elkaar liggen
- Een dunne laag zand, waarbij een kleine opbolling wordt toegelaten om de vereiste drooglegging a te krijgen. De drains moeten dicht bij elkaar worden gelegd.

Waar het optimum ligt, hangt af van de kosten die verbonden zijn aan elk van de maatregelen.



Figuur 6.1 Integraal ophogen¹⁴

6.2.2 Cunettenmethode

Alleen de locaties van de wegen worden bouwrijp gemaakt door cunetten en op te vullen met zand. Dit is alleen mogelijk wanneer in detail het stedenbouwkundige plan bekend is en de naastliggende bouwkavels voldoende draagkrachtig zijn.

Bij de cunettenmethode wordt zand aangebracht onder de verhardingen en in de kruipruimte. De rioleringsseuf wordt vaak (gedeeltelijk) gevuld met een lichter ophoogmateriaal, zoals bijvoorbeeld flugsand, om ongelijke zetting te voorkomen. De tuinen en het openbaar groen worden opgehoogd met 'zwarte grond' Deze grond wordt ontgraven uit de wegcunetten, uit de kruipruimten en uit de singels of worden van buiten het gebied aangevoerd.

¹⁴ Nationaal Pakket Duurzame Stedebouw, Nationaal Dubo Centrum, 1999



Figuur 6.2 Cunettenmethode¹⁵

6.2.3 Partieel ophogen

Wanneer het stedenbouwkundige plan bekend is worden alleen die locaties bouwrijp gemaakt die dat ook nodig hebben, zoals de bouwkvavels en de wegen. Waterpartijen en parken blijven open.



Figuur 6.3 Partieel ophogen¹⁶

6.2.4 Variatie in bouwmaterialen

Vanuit de historie wordt er opgehoogd met zand, die om de gunstige eigenschappen heeft als onsamendrukbaar en goed waterdoorlatend. Zand is echter vrij zwaar en op slappe ondergronden kunnen hierdoor relatief grote zettingen optreden.

In plaats van op te hogen met zand zijn er nog andere variaties mogelijk. Te denken valt aan ophogen met gebiedseigen materiaal. Hiermee wordt ook een gesloten grondbalans nagestreefd. Daarnaast kan er gedacht worden aan manieren om gewichtsneutraal op te hogen. In het laatste geval wordt dan vaak gewerkt met lichte ophoogmaterialen.

De aanlegkosten van lichte ophoogmaterialen liggen hoger dan door aan te leggen met zand. De voordelen kunnen in de onderhoudsperiode pas in de volle extent ervaren worden, doordat een constructie met lichte ophoogmaterialen minder vaak te onderhouden hoeft te worden, omdat de zettingen beheersbaar blijken te zijn. Theoretisch hoeft er pas onderhoud gepleegd te worden als, indien van toepassing, het asfalt daar aan toe is.

6.2.4.1 Minimalisatie aanvoer bouwmaterialen

In plaats van gebiedsvreemde materialen aan te voeren kan gebiedseigen materiaal gebruikt worden. Dit kan voordelen hebben voor de hoeveelheid zettingen optreden. Neem het voorbeeld van Vinkeveen. In vroegere dagen werd er opgehoogd met veen dat vrijkwam met de veenwinning. Op deze ophoging werd er vervolgens gebouwd. Door de ophoging van veen, kwam er een beperkte belasting op de ondergrond. Immers als het gewicht van 1 meter zand met 1 meter veen wordt vergeleken, is het gewicht van veen beduidend lager. Dit leidt tot een minder grote belasting op de ondergrond en dientengevolge minder zettingen. Tegenwoordig is veen door veenoxidatie minder goed geschikt om als ophoogmateriaal te gebruiken.

¹⁵ Nationaal Pakket Duurzame Stedebouw, Nationaal Dubo Centrum, 1999

¹⁶ Nationaal Pakket Duurzame Stedebouw, Nationaal Dubo Centrum, 1999

Toch kan er door gebruik van gebiedseigen materiaal een gesloten grondbalans worden verkregen. Daarnaast is er ook sprake van een kostenbeperking, immers de bouwmaterialen hoeven niet van heinde en verre te worden aangevoerd. Hiermee worden de transportkosten beperkt.

6.2.4.2 Lichte ophoogmaterialen¹⁷

Lichte ophoogmaterialen kunnen als een gewichtsneutraal worden aangelegd. Het is wel belangrijk om dan te kijken of er al dan niet opdrijven kan optreden.

Bij de aanleg van wegen kunnen verschillende ophoogmaatregelen worden onderscheiden. Deze ophoogmaatregelen zijn:

- Traditioneel (granulaire opbouw);
- Lichtgewicht en evenwichtsconstructies met granulair materiaal;
- EPS;
- Schuimbeton;
- Zelfdragende constructies;
- Gewapende grondconstructies;
- Grondverbeteringstechnieken.

Het onderscheid tussen traditionele ophoogmaatregelen en licht gewicht en evenwichtconstructies is gebaseerd op de waarde van de (proctor-)dichtheid van materialen die worden toegepast en het bestaande label van: "licht gewicht ophoogmateriaal" dat sommige materialen reeds hebben verkregen. Indien een materiaal een lagere proctordichtheid heeft dan 1600 kg/m^3 dan is het een materiaal dat als licht gewicht materiaal beschouwd wordt. Materialen met een proctordichtheid hoger dan 1600 kg/m^3 worden als materialen met een normale dichtheid beschouwd. Een ophoging met dergelijke materialen wordt ook wel een traditionele ophoging genoemd. De grens van 1600 kg/m^3 is gebaseerd op dichtheden van materialen die gekenmerkt zijn als lichtgewicht ophoogmateriaal.

De voor- en nadelen van de ophoogmaatregel met lichtgewicht materiaal

Hierbij wordt er een vergelijking gemaakt tussen de toepassing van lichte ophoogmateriaal en de referentie constructie. De referentie constructie is een ophoging met een granulair materiaal met een dichtheid hoger dan 1600 kg/m^3 .

Voordelen:

- Er zullen minder restzettingen optreden;
- Het risico aan schade van belendingen is beperkt;
- Er is veel ervaring met het toepassen van lichte ophoogmaterialen.

Nadelen:

- De aanlegkosten zijn hoger;
- De constructie kan gevoelig blijven voor zettingen waardoor schade gaat optreden;
- Bij het toepassen van lichte ophoogmaterialen moet er dieper ontgraven worden en moet in de meeste gevallen in gebieden met een slappe bodem bemaling toegepast worden;
- Mogelijk afwijkend gedrag lichte ophoogmaatregelen door verandering eigenschappen in de loop der tijd;
- De levensduur van de ophoogmaterialen in de constructie is onbekend;
- De contactdruk van grote korrels heeft een negatieve invloed op de levensduur van kabels en leidingen.

¹⁷ Delft Cluster, *Ophoogmaatregelen en ophoogmaterialen, "Voor voorzieningen op slappe bodem"*, DC2-3.13-01 versie 4

6.3 Grondverbeteringstechnieken¹⁸

6.3.1 Consolidatieversnellende methoden

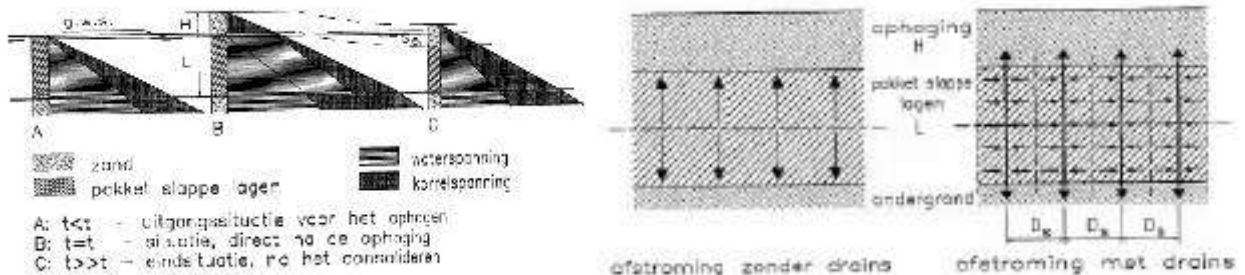
Behalve het funderen van het grondlichaam kan ook het consolidatieproces van de ondergrond versneld worden uitgevoerd middels een aantal methoden. Nieuwe technieken hierin zijn IFCO en BeauDrain. De technieken berusten op hetzelfde principe en bestaan uit het aanbrengen van verticale zandschermen of kunststof drains in de slappe lagen, onderin verbonden met horizontale drains. Het water in de slappe grondlagen stroomt sneller uit en er treedt versnelde consolidatie op. Door het aansluiten van pompen op de drains en het afdekken van de slappe lagen met folie kan middels onderdruk een nog snellere consolidatie worden verkregen. Consolidatieversnellende methoden worden veelal toegepast bij nieuwbouwprojecten en zijn pas economisch verantwoord bij projecten waaraan grote oppervlakten grondwerk verbonden zijn. De methoden zijn niet altijd toepasbaar bij het ophogen van wegen in een bebouwde omgeving.

6.3.2 Verticale drainage

Principe methode

Verticale drainage wordt met name toegepast om de consolidatietijd te verkorten. De methode is goedkoper dan de methoden met vacuümdrainage, maar zal vaak een langere consolidatietijd vergen.

Voor reconstructie van binnenstedelijke infrastructuur zal de vereiste consolidatietijd met verticale drainage doorgaans te lang zijn.



Figuur 6.4 Versnelde consolidatie middels verticale drainage

In de samendrukbare lagen worden verticale kunststof drains aangebracht die in verbinding staan met hoger en soms ook lager gelegen (Pleistocene) waterdoorlatende lagen. Het verbinden van het te consolideren pakket met de onderliggende pleistocene zandlaag moet zoveel mogelijk vermeden worden in verband met milieueisen. De werking van een verticaal drainagesysteem berust primair op het verkorten van de afstroomweg en secundair op het principe van de horizontale doorlatendheid van samendrukbare veenlagen groter is dan de verticale doorlatendheid. De tijd die het overspannen poriënwater gebruikt voor het afleggen van de weg door een slecht waterdoorlatende grondlaag naar een vrij oppervlak wordt zodoende bekort. Hiertoe worden op onderlinge afstanden van bijvoorbeeld 1,0 á 1,5 m verticale drains in de grond gebracht, in een driehoeks- of rechthoekig patroon.

Globaal zijn er twee soorten kunststofdrains beschikbaar, enkelvoudige en samengestelde drains. De enkelvoudige drains bestaan meestal uit een enkele strook niet-geweven vlies (vezelvlies of kunststofvilt) of een geperforeerde kunststofstrip die in de lengterichting afvoerkanaaltjes bevat. Samengestelde drains bestaan uit een kern die is voorzien van noppen, ribbels of een profilering met daaromheen een omhulling (filter). Dit filter moet ervoor zorgen dat

¹⁸ Delft Cluster, *Ophoogmaatregelen en ophoogmaterialen*, "Voor voorzieningen op slappe bodem", DC2-3.13-01 versie 4

water wordt doorgelaten en gronddeeltjes wordt tegengehouden. De kern dient om het langtransport van het opgenomen water mogelijk te maken. Gezien de huidige kwaliteitseisen die worden gesteld aan de verticale kunststofdrains, worden de oude enkelvoudige drains zelden of nooit meer toegepast.

Technische levensduur

De levensduur van de ophoging is afhankelijk van de grootte van de restzetting na verwijderen voorbelasting, van de levensduur van de wegbouwkundige constructie en de interactie daartussen.

Voor- en nadelen van verticale drainage als grondverbeteringstechniek

Hierbij wordt er een vergelijking gemaakt tussen de toepassing van een zandophoging met verticale drainage en de referentie constructie. De referentie constructie is een conventionele ophoging met een voorbelasting.

Voordelen:

- Verkorting van de bouwtijd door kortere consolidatieperiode;
- De aanlegkosten zijn laag;
- Veel ervaring met het toepassen van verticale drainage.

Nadelen:

- Niet geschikt bij aanwezigheid riolering, kabels en leidingen;
- Groot ruimtebeslag vanwege voorbelasting;
- Verticale drains zijn weinig zinvol bij samendrukbare lagen met een te geringe dikte, 3 tot 4 meter;
- Kunststofdrains zijn moeilijk te installeren bij dichtgepakte tussenzandlagen doordat de drukkracht van de installatiemachines beperkt is en door de optredende trekkrachten in de drain;
- Een tussenzandlaag met een van het polderpeil afwijkende stijghoogte kan een beperking voor de toepassing van verticale drainage vormen. Verticale drains tot in de tussenzandlaag kunnen in een dergelijk geval leiden tot een blijvende wijziging in de geohydrologie van het gebied. Als ervoor wordt gekozen de drains boven de tussenzandlaag te beëindigen, worden de slappe lagen onder de tussenzandlaag niet door de drains ontwaterd.

Ontwerpaspecten

- Verticale drains zijn niet toepasbaar bij tussenlagen van zand met een conusweerstand groter dan 6 MPa en een laagdikte groter dan 0,2 m;
- Het extra gewicht van het zand, de bovenbouw en de restzettingen van de voorgaande ophoging(en) bepalen de zetting;
- Verifiëren van de stabiliteit bij het aanbrengen van de belasting met betrekking tot de kantopsluiting en de belastingspreiding;
- Nagaan invloed zettingen op omgeving en op riolering, kabels en leidingen.

Onderhoud

Bij het accepteren van enige zetting zullen de onderhoudsstrategieën van het asfalt en de elementen overeenkomen met die van de CROW-publicatie 145 'Beheerkosten openbare ruimte' met een ondergrond van klei/veen. Indien de ophoogmaatregel zettingsarm is, zullen de onderhoudsstrategieën overeenkomen met een ondergrond van klei.

Riolering

De riolering kan in de zandophoging worden aangelegd. Materiaalkeuze en eventuele voorzieningen om zettingen op te vangen zijn afhankelijk van de te verwachten restzettingen.

Kabels en leidingen

Indien de zandophoging breed genoeg is, kunnen de kabels en de leidingen in de aardebaan worden gelegd. Eventuele voorzieningen om zettingen op te vangen zijn afhankelijk van de te verwachten restzettingen.

Risico's

- Kans op grotere restzetting bij dichtdrukken drains of te vroeg verwijderen van de tijdelijke voorbelasting. Daardoor kan schade ontstaan aan riolering, kabels, leidingen en belendingen;
- Grote kans op breuk huisaansluitingen. Bij gasleidingen kans op brand en/of explosie;
- Optreden van negatieve kleeft en horizontale belasting op fundering van nabij gelegen bouwwerken met kans op scheefstand en schade;
- Beïnvloeding grondwaterstroming door samendrukking slappe lagen.

6.3.3 BeauDrain-methode

De werking van het BeauDrain systeem is gebaseerd op het principe van vacuüm- of luchtdrukconsolidatie. In de atmosferische omgeving afgesloten grondlichaam wordt de luchtdruk verlaagd, dat direct als een alzijdige belasting op het grondlichaam werkt. Door consolidatie neemt de effectieve spanning geleidelijk toe in de tijd. De luchtdruk wordt verlaagd met vacuümpompen. De consolidatie wordt versneld met verticale drains en het uitgeperste water wordt opgepompt. De luchtdrukbelasting werkt als een tijdelijke voorbelasting. Bij een dik en slap lagenpakket kan de methode worden toegepast om de restzetting te verminderen. De methode is ook toegepast om het effect van de ophoging op kabels, leidingen en belendingen te verkleinen.

De BeauDrain methode bestaat uit een serie van drainageschermen, aangepast op de te consolideren grondsoort. Elk scherm is samengesteld uit een aantal verticale drains in rij waarvan de bovenkant direct verbonden is met een horizontale verzameldrain. Een folie, boven op de horizontale drain, garandeert een afdichting tussen de atmosfeer en het drainagescherm. Elke verzameldrain ligt 1 tot 2 m onder de bovenkant van het samendrukbare pakket en is aangesloten op een vacuümpomp.

De maximale belasting die met luchtdrukconsolidatie kan worden bereikt is afhankelijk van de aanzuighoogte van de pomp. Deze is theoretisch 10 m waterkolom, doch is in de praktijk aanzienlijk minder door drukverliezen (leidingweerstand, lekkage, plaatshoogte e.a.). Ook het soort pomp speelt hierbij een rol. Het luchtdrukverschil, dat werkt als bovenbelasting op de ondergrond, kan in optimale omstandigheden ongeveer 50 kPa bedragen. Het consolidatieproces dat hierdoor op gang komt, is vergelijkbaar met dat van een ongeveer 3 m hoge zandophoging. Voor de installatie van het BeauDrain-systeem is een multifunctioneel ploegmes ontwikkeld, dat volgens een sleufloze techniek door de grond snijdt. Het complete drainagescherm wordt in één werkgang aangelegd.

De voordelen van een toepassing van BeauDrain zijn:

- Minder ruimtebeslag door ontbreken van voorbelasting;
- Een korte installatieperiode en een schoon werkterrein na installatie. Het werkterrein is na installatie direct en blijvend toegankelijk voor andere werkzaamheden;
- Er hoeft geen grond te worden ontgraven. Schade door horizontale vervorming als gevolg van ontspanning en onvoldoende opvulling van de grond, wordt daardoor voorkomen;
- Zeer grote werkdiepte haalbaar met verticale drains. Het Pleistoceen zand kan op veilige afstand worden gevolgd;
- Door de vacuümdruk is de effectieve spanning hoger, waardoor het instabiliteitsrisico van de ophoging afneemt;
- Veel minder horizontale beïnvloeding leidt tot aanzienlijke reductie van seculaire zettingen en verschilzettingen.

De nadelen van een toepassing van BeauDrain zijn:

- Methode is niet geschikt voor bebouwde omgeving op afstand kleiner dan 10 meter en bij aanwezigheid riolering, kabels en leidingen;
- Effectieve onderdruk kan afwijken waardoor consolidatie langer verloopt en mogelijk grotere restzettingen overblijven;

- Er kan gasbelvorming ontstaan bij organische gronden;
- Gevoelig voor storingen aan pompen bij aanleg;

6.3.4 IFCO-methode

IFCO staat voor Intensief Forceren Consolidatie Ondergrond. De IFCO-methode is gebaseerd op enerzijds het verlagen van het grondwater en anderzijds het aanbrengen van onderdruk in de bodem. Met behulp van een diepdraineermachine worden parallelle verticale sleuven in de bodem aangebracht. De sleufconfiguratie wordt aangepast op de te consolideren grondsoort. De sleufbreedte bedraagt 0,25 m en de maximale diepte 7 m, terwijl de lengte enkele honderden meters kan bedragen. Op de bodem van de sleuf wordt een horizontale drain gelegd, waarna de sleuf wordt gevuld met zand. Het graven van de sleuf, het leggen van de drain en het vullen met zand gaat in één werkgang.

In elke drain wordt een speciale pomp neergelaten tot op de onderkant van de zandsleuf. Na het starten van de bemaling wordt eerst alleen grondwater onttrokken, maar na verloop van tijd wordt ook lucht afgezogen en ontstaat er onderdruk. Het tot stand komen van onderdruk en de grootte ervan hangt enerzijds af van de pompcapaciteit en anderzijds van de mate waarin lekkage van grondwater of gas optreedt. Optimale onderdruk wordt bereikt wanneer de slappe grond goed is afgesloten. Onderdruk tot 95 % vacuüm is mogelijk gebleken.

Elke drain opereert als een aparte eenheid, zodat in geval van lekkage alleen de onderdruk in één drain zal wegvallen, terwijl de onderdruk elders in het bemalingsstelsel in tact blijft. In gevallen waarbij gebruik wordt gemaakt van een folie om de bovenzijde luchtdicht af te sluiten, kan het voordelen bieden om het terrein tevens voor te belasten met water. Dit is te realiseren door in het terrein een bassin aan te leggen, dat is omringd door dijken en waarvan de bodem bestaat uit de folie. Het bassin wordt vervolgens gevuld met het water dat aan de zandschermen is onttrokken. Aan het einde van het project wordt eenvoudigweg het pompen gestaakt, zodat grondwater kan terugkeren naar het oorspronkelijke niveau.

De voordelen van een toepassing van de IFCO-methode zijn:

- Minder ruimtebeslag door ontbreken van voorbelasting;
- Door de vacuümdruk is de effectieve spanning hoger, waardoor het instabiliteitsrisico van de ophoging afneemt;
- Het werkterrein is na installatie direct en blijvend toegankelijk voor andere werkzaamheden;
- Veel minder horizontale beïnvloeding bij doorgaande ophoging mogelijkheden tot aanzienlijke reductie van seculaire zettingen en verschilzettingen.

De nadelen van een toepassing van de IFCO-methode zijn:

- Bij aanwezigheid van zandlagen functioneren de zandschermen minder goed;
- Methode is niet geschikt voor bebouwde omgeving op afstand kleiner dan 10 meter en bij aanwezigheid riolering, kabels en leidingen;
- Er moet grond worden ontgraven voor drains en drainzand moet worden aangevoerd voor vulling van de sleuven. Het werkterrein is tijdelijk onbegaanbaar door vrijgekomen grond;
- Effectieve onderdruk kan afwijken waardoor consolidatie langer verloopt en mogelijk grotere restzettingen overblijven;
- Er kan gasbelvorming ontstaan bij organische gronden;
- Gevoelig voor storingen aan pompen bij aanleg;
- Het systeem kan tot maximaal 9 meter diepte.

6.3.5 Opzetten van de GGOR

Een andere denkwijze om de zettingen te minimaliseren is in plaats van allerlei grondverbeteringstechnieken, het grondwaterpeil op te zetten naar een hoger peil. Hierdoor worden de waterspanningen hoger, de korrelspanningen lager, met als gevolg dat er minder zetting kan optreden.

Het Gewenst Grond- en oppervlaktewaterregime (GGOR) is een manier van werken waarbij er een duidelijke koppeling gelegd wordt tussen de eisen die functies (landbouw, natuur, stedelijk gebied) stellen en de hydrologische omstandigheden. De GGOR wordt voornamelijk in landelijk gebied toegepast. In aangepaste vorm zou de GGOR ook voor stedelijke gebieden gebruikt kunnen worden. Dit laatste is echter vrij omstrede omdat de omstandigheden in de stad wezenlijk anders zijn dan die in het landelijk gebied.

Het GGOR zou ook gebruikt kunnen worden voor het aangeven van hydrologische randvoorwaarden en gevolgen bij besluiten in de ruimtelijke ordening. Voor het stedelijk gebied kan het invoeren van een GGOR problemen opleveren. Het detailniveau in de stad ligt veel hoger, wat meer data vergt en grotere onzekerheden met zich meebrengt. Het bepalen van het actuele grondwaterregime op deze kleine schaal is daardoor al vrij moeilijk. De bovenste laag van de bodem in de stad is door het ophogen en graven behoorlijk omgeschoffeld.

De functie-eisen kunnen sterk verschillen op een korte afstand. Daarnaast is er interactie met de drainage en riolering die ook meegenomen moet worden in de berekeningen. Ook moeten voor de aanwezige functies in de stad GGOR's bepaald worden en bijbehorende doelrealisatiecurves opgesteld worden. De gevoeligheid van een functie voor een van het optimum afwijkend regime kan beïnvloed worden door de constructie, inrichting en beheer. Een goede bouw van woningen kan de gevoeligheid van die bouwconstructies voor een hogere of lagere grondwaterstand doen afnemen, maar er zijn momenteel geen (ontwerp)normen voor.

Door het omhoogzetten van de GGOR zouden de waterspanningen hoog kunnen worden gehouden, waardoor kans op zetten in slappe ondergrondgebieden beperkt zou kunnen worden. Dit vraagt echter wel om nader onderzoek of het opzetten van de grondwaterstanden wel mogelijk is in verband met bestaande bebouwing en aanwezige kruipruimten

6.3.6 Toepassing van SmartSoils¹⁹

De SmartSoils®-technieken pakken op een innovatieve wijze problemen in de civiele sector aan. Zo bieden zij de mogelijkheid te bouwen op plaatsen waar dat tot nu toe niet mogelijk was als gevolg van een slechte of onvoorspelbare ondergrond. SmartSoils®- integreert kennis uit verschillende disciplines, waaronder biotechnologie (microbiologie), geotechniek, nanotechnologie. Innovatie komt sneller tot stand doordat deze disciplines elkaar aanvullen.

Ook bouwen met minder ruimtebeslag of het realiseren van grotere, zwaardere bouwwerken op slappe grond zullen in de toekomst mogelijk zijn. Zelfs de eigenschappen van probleemgrond als veen zijn met SmartSoils® op termijn te verbeteren

BioSealing is een onlangs ontwikkelde SmartSoils®-techniek waarmee lekkages in waterremmende constructies zoals damwanden en folies eenvoudig en kosten-effectief kunnen worden afgedicht. Ook gaten in natuurlijke waterremmende lagen zoals veen of kleipakketten kunnen worden behandeld.

Bij het toepassen van BioSealing wordt het van nature aanwezige ondergrondse bacterieleven gestimuleerd door het toedienen van voedingsstoffen. Hierdoor worden biologische en chemische reacties in gang gezet die leiden tot het ontstaan van een stabiele chemische neerslag nabij het lek. Hiermee wordt het lekdebiet ten minste met een factor 5 beperkt.

Ontstaanswijze

Het idee voor BioSealing is ontstaan bij GeoDelft. In samenwerking met de aannemer Visser en Smit Bouw en met de Technische Universiteit Delft is dit eerste idee uitgebouwd tot een product dat zich inmiddels in de praktijk heeft bewezen. In 2004 heeft dit consortium een geslaagd veldexperiment uitgevoerd op de Maasvlakte. Inmiddels is octrooi verkregen op BioSealing

¹⁹ Voor informatie zie: www.smartsoils.nl

In 2005 heeft een eerste geslaagde praktijktoepassing plaatsgevonden bij het Aquaduct Ringvaart Haarlemmermeer van de HSL. In 2008 zal getracht worden, in samenwerking met Insomd, een lekkende aarden dam in Oostenrijk te dichten.

Toekomstige ontwikkelingen

De komende jaren zal het onderzoek zich voornamelijk toespitsen op het verklaren van de achterliggende processen en het modelleren daarvan. Om dat onderzoek uit te voeren zal aansluiting worden gezocht met onderzoekers aan universiteiten in binnen- en buitenland. Daarnaast zal aandacht worden besteed aan het introduceren van BioSealing op de binnenlandse en buitenlands markt.

Kostenbesparing

De mogelijke toepassingen zijn talrijk en bevinden zich in een breed werkveld. Zo kunnen lekken in damwandschermen rond bouwputten eenvoudig, snel en doeltreffend gedicht worden. Bij zeker 10% van alle in Nederland gemaakte bouwkuipen zorgen onvoorziene lekkages ervoor dat de hoeveelheid water die door het scherm de bouwkuip instroomt door aannemer, opdrachtgever en overheid als problematisch wordt ervaren. Naar schatting bedragen de kosten die gepaard gaan met het oplossen van dergelijke problemen enkele tientallen miljoenen euro per jaar. BioSealing is een methode die enkele miljoenen euro kan besparen. Door injectie van voedingstoffen in het grondwater stroomt dit min of meer vanzelf naar de probleemplek toe, waardoor dit een zeer effectieve methode is.

6.4 Bouwmethoden met betrekking tot fundatie gebouwen

In navolgende zullen enkel bouwmethoden aan de orde komen die invloed (kunnen) hebben op de fundering van de gebouwen en daarmee samenhangend de ondergrond.

De fundering of het fundament is het deel van een gebouw of constructie dat ervoor zorgt dat het gewicht ervan wordt overgedragen aan de ondergrond. Ook bij wegen en spoorlijnen is sprake van een fundering.

Men onderscheidt verschillende soorten funderingen afhankelijk van de aard en het gewicht van de te bouwen constructie en de samenstelling en draagkracht van de ondergrond.

Door een lage grondwaterstand, verdroging of grondwateronttrekking, kunnen funderingsproblemen ontstaan. Houten palen rotten weg doordat ze boven de grondwaterstand komen te liggen. Door de aanraking met zuurstof rotten de palen weg en verliezen daarmee hun draagkracht. Funderingen op staal verzakken. In beide gevallen kan grote schade ontstaan. Ook trillingen (bijvoorbeeld van motoren of generatoren in fabrieken) kunnen grote schade aanrichten als de fundering daar niet op is berekend. In Nederland is de ondergrond vaak niet erg draagkrachtig door de aanwezigheid van veen en klei. Daardoor verschilt de fundering van gebouwen in Nederland van die in andere landen met een meer draagkrachtige zand- of rotsondergrond.

De kosten voor het bouwrijp maken van een terrein worden (mede) bepaald door de eigenschappen van de grond per locatie. Bij het funderen van bouwwerken wordt als gevolg van belastingen de grond onder de fundering samengedrukt. Er treedt dan een zetting van het bouwwerk op, afhankelijk van de samendrukbaarheid van de grond. Een goede bodemgesteldheid met ideale fysische eigenschappen beperken de kosten van bouwrijp te maken terreinen en verminderen daarmee de totale grondkosten en grondprijzen.

6.4.1 Funderen op Staal

Wanneer een gebouw of constructie licht is en de bodem voldoende draagkrachtig past men een fundering op staal toe. Vaak wordt onder de constructie wel grondverbetering toegepast, zodat de draagkracht wordt verhoogd. Een fundering op staal bestaat vaak uit een met (soms) gewapend beton gevulde sleuf, waarop de rest van de constructie is gebouwd. De fundering wordt door de ondergrond op zijn plaats gehouden. Hoewel de naam anders doet vermoeden,

wordt het materiaal staal niet gebruikt in een fundering "op staal". Door het bouwen op staal, zal zowel het gebouw als de omgeving (bijvoorbeeld tuinen en wegen) gelijkmatig zakken. Er ontstaan alleen problemen met zettingen als er verschilzettingen optreden, waarbij een deel sneller zakt als het andere. Hierdoor kunnen er ondermeer scheuren ontstaan aan woningen e.d.

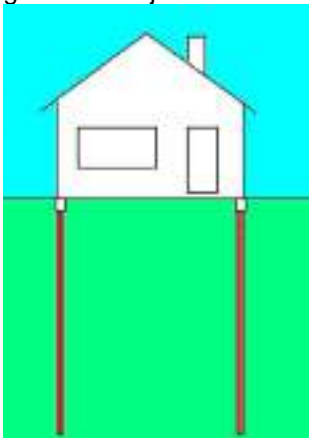


Figuur 6.5 Schematisatie fundering op staal (bron: wikipedia)

De fundering van wegen en spoorlijnen bestaat in het algemeen uit zand en menggranulaat (puin). Voordat dat wordt aangebracht wordt ter plaatse vaak eerst grondverbetering uitgevoerd.

6.4.2 Paalfunderingen

Wanneer de grond nabij de oppervlakte niet draagkrachtig genoeg is voor een fundering op staal (en er geen grondverbetering mogelijk is), wordt meestal een fundering met heipalen toegepast. Heipalen leiden het gewicht van de bovenliggende constructie af naar dieper gelegen zandlagen, die wel stevig genoeg zijn om de constructie te dragen. Heipalen kunnen ook draagkracht ontleenen aan kleef, het "plakken" aan de bodemlagen waar de paal doorheen is geheid. Er zijn talloze methoden voor het aanbrengen van een paalfundering.

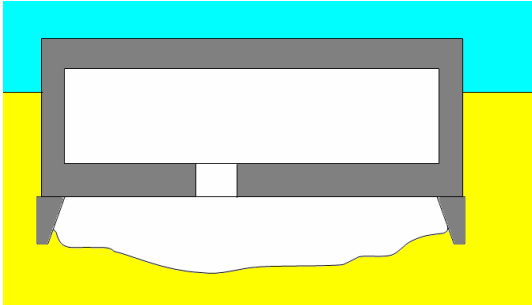


Figuur 6.6 Schematisatie Paalfundering (bron: wikipedia)

Soms worden ook damwanden of diepwanden als fundering gebruikt. Het principe hiervan is ongeveer hetzelfde als dat van een gewone paalfundering. In bebouwd gebied wendt men in de grond gevormde palen aan om beschadiging door trillingen aan bestaande gebouwen te vermijden. In dat geval wordt het aangeraden om vooraf een plaatsbeschrijving van het gebouw op te laten stellen door een bevoegd expert.

6.4.3 Caissonfundering

Een caissonfundering bestaat uit een grote, meestal betonnen "doos", die ervoor zorgt dat het gewicht van de erbovenop gebouwde constructie over een groot oppervlak wordt verdeeld. De caissons worden aan het oppervlak gebouwd en door de grond eronder te verwijderen, zakken ze naar de gewenste diepte. Deze methode wordt soms toegepast bij bijvoorbeeld brugpijlers.



Figuur 6.7 Caissonconstructie (bron: wikipedia)

6.4.4 Onderheien

De constructie bestaat uit in de grond geheide of gedrukte palen, waarop betonnen platen via betonnen kespen verankerd worden. Hierdoor wordt de bovenbelasting via de palen afgedragen naar diepere en draagkrachtige grondlagen. Dit is veelal gebeurd bij de aanleg van wegen. Een bekend voorbeeld hiervan is de N210. Andere voorbeelden zijn de Kyotoweg etc.

6.4.5 Kruipruimteloos bouwen

Bouwwijze zonder kruipruimte die het mogelijk maakt een hogere grondwaterstand te realiseren. In veel gevallen is het achterwege laten van een kruipruimte mogelijk en voordelig. De belangrijkste voordelen van kruipruimteloos bouwen zijn:

- minder warmteverliezen
- minder kans op vochtproblemen
- minder grondverzet bij het bouwrijp maken.

Nadelen van kruipruimteloos bouwen zijn:

- de onder de begane grondvloer aanwezige leidingen zijn niet meer toegankelijk voor onderhoud reparatie en wijzigingen in de plattegrond zijn daardoor moeilijker te realiseren.

Zettingen treden ook nog bij kruipruimteloos op, wateroverlast in de kruipruimte behoort echter tot het verleden. De mate van zettingen is sterk afhankelijk van de ondergrond en de belasting die er op wordt gezet.

6.4.6 Drijvende woningen²⁰

6.4.6.1 Op water

Als uitgangspunt kent de drijvende woning water als ondergrond in plaats van een droge ondergrond. Hierdoor is geen traditionele fundering nodig. De drijvende woning is in horizontale richting permanent bevestigd en kan in verticale richting met het waterpeil meebewegen. Bij de drijvende woningen is er sprake van een onroerend goed, omdat de woning permanent in horizontale richting bevestigd is.

Onder het drijflichaam van de woning bevindt zich minstens 1 meter water om een goede waterkwaliteit te kunnen waarborgen. Het is van groot belang dat de drijvende woning nooit op een droge ondergrond terecht komt, omdat het drijflichaam hier niet op is berekend. De drijvende woning zal geen kruipruimte bevatten. Omdat de uitgangssituatie van de drijvende woning water is, zal het toepassen van traditionele tuinen niet mogelijk zijn. Het is wel mogelijk om een terras aan te leggen of het drijflichaam te vergroten en voor een "tuin" geschikt te maken. Bij de ontsluiting van de drijvende woning dient rekening gehouden te worden met de waterpeilvariatie, zodat de woning ten tijde van inundatie bereikbaar is.



Figuur 6.8 Drijvende woning, Dura Vermeer PCS waterwoning

6.4.6.2 Amfibisch wonen

De uitgangssituatie bij dit woningtype kan zowel droog als nat zijn. De amfibische woning kent naast een traditionele fundering ook een drijflichaam als ondergrond. In de normale, droge uitgangssituatie rust de woning op haar fundering. In tijden van inundatie zorgt het drijflichaam van de woning ervoor dat de woning loskomt van de fundering en met het water mee omhoog stijgt. De amfibische woning is horizontaal permanent gefixeerd en kan enkel in verticale richting met het water meebewegen. Om die reden kan de amfibische woning ook als onroerend goed worden aangemerkt.

Dit woningtype kent geen fundering. Afhankelijk van de inundatiefrequentie kent dit type woning wel of niet een traditionele tuin. Wanneer de inundatiefrequentie hoog is zal een terras aan de woning de voorkeur hebben boven een traditionele tuin. Dit in verband met de waterschade die aan de tuin ontstaat ten tijde van inundatie. Bij de ontsluiting van de amfibische woning dient rekening gehouden te worden met de waterpeilvariatie, zodat de woning ook ten tijde van inundatie bereikbaar is.

²⁰ Bron: www.waterbestendigbouwen.nl



Bron: Dura Vermeer Business Development

Figuur 6.9 Amfibische woning te Maasbommel [www.waterbestendigbouwen.nl]

7 Conclusies

Bij uitbreiding van dorpen en steden wijken we steeds verder uit naar gebieden die onze voorouders links lieten liggen omdat ze te laag en te nat waren om in te wonen, en een te slappe ondergrond hadden om op te bouwen. De goede bouwgronden zijn zandgronden, de slechte gronden bevatten veel klei en veen. Die slechte gronden liggen vooral in het westen van het land. De grondwaterstand is er hoog en de ondergrond slap. Hoe meer veen in de ondergrond zit, hoe slechter de grond. Volgens de wettelijke definitie is de ondergrond 'slap' als in de bovenste 8 meter een aangesloten pakket klei en/of veen voorkomt van minimaal 5 meter dik. In de praktijk veroorzaken ook dieper gelegen klei- en veenlagen verzakkingen.

Bouwen op en in slappe grond

In gebieden met slappe grond worden zowel gemeenten, bedrijven als burgers met de nadelen geconfronteerd. Voor de gemeenten zijn de onderhoudskosten aan rioleringen en aan kunstwerken en wegen groot door verschillen in de zetting van de ondergrond. Door veenverzakkingen in het centrale deel van Holland raakten veel gemeenten zoals Gouda zodanig in de financiële problemen dat ze een artikel 12 status moesten aanvragen om financiële hulp van het Rijk te kunnen krijgen. Netbeheerders lopen schade op aan kabels en leidingen en burgers moeten regelmatig hun tuinen ophogen omdat die anders het afvoerputje van de woonwijk worden. Bouwwerken moeten worden gefundeerd met palen tot in het diepe zand om verzakkingen te vermijden.

De Nieuwe Kaart van Nederland laat zien dat bijna een kwart van de nieuwe woningen en bedrijven gepland is op slappe grond: 130 km² woningen en 80 km² bedrijven. Als ook de slappe lagen dieper dan 8 meter worden meegenomen, zijn de getallen nog hoger.

Consolidatie, het samendrukken van slappe grond onder zijn eigen gewicht (bij verlaging van de grondwaterstand) of als deze wordt belast, is een langdurig proces. Bij belasting van klei en veen neemt de spanning van het water in de grond toe. Doordat de grond slecht doorlatend is, kan dit water niet snel wegstromen en kan de ondergrond niet snel worden samengedrukt tot steviger materiaal. Als vuistregel geldt een periode van 30 jaar voordat de consolidatie is voltooid. Als wordt bijgebouwd, en de belasting van de ondergrond weer toeneemt, komt ook het proces van verdergaande, langdurige consolidatie weer op gang.

Veel ellende bij bouwen op slappe grond is te vermijden

Bij bouwen op slappe grond lijken we de problemen op te zoeken. Met de huidige kennis en technieken zijn veel problemen echter te vermijden. Allereerst moeten we bij het bouwrijp maken ook de belangen vanuit beheer en onderhoud op lange termijn meenemen. Verder kunnen we dankzij onze kennis van de samenstelling van de ondergrond en de eisen die functies aan die ondergrond stellen, bij de inrichting van het land veel selectiever te werk gaan. Zo kan een zandige geulopvulling een stevige basis zijn voor een weg.

Een slimme ontwikkeling van het gebied betekent aanzienlijk minder kosten bij de bouw en het onderhoud. Ook zijn er verschillende mogelijkheden om zelf een stevige basis te maken. Dat kan door de grond op te hogen. Dit verhoogt niet alleen de draagkracht en begaanbaarheid van het terrein maar verlaagt bovendien het overstromingsrisico van de nieuwe bouwwerken. In specifieke gevallen, zoals bij wegen, kan lichtgewicht materiaal worden gebruikt om de ondergrond op te hogen. Ook zijn er verschillende technieken om de eigenschappen van de ondergrond te veranderen. Zo kan de consolidatie worden versneld door de ondergrond te draineren. Een van de nieuwste ontwikkelingen voor lokale versterking van de grond is de toepassing van kennis uit de biotechnologie: bacteriën versterken de grond ter plekke.

Door in een vroeg stadium om tafel te gaan met alle actoren bij locatieontwikkeling is het mogelijk om een gebiedsinrichting te maken waar rekening is gehouden met onder andere de eisen die de ondergrond stelt.