



---

# Basisregistratie Ondergrond (BRO) Actualisatie bodemkaart

Herkartering van de eenheden met slappe kleilagen

Folkert de Vries, Dennis Walvoort en Fokke Brouwer



**WAGENINGEN**  
UNIVERSITY & RESEARCH

---



---

# Basisregistratie Ondergrond (BRO) Actualisatie bodemkaart

Herkartering van de eenheden met slappe kleilagen

Folkert de Vries, Dennis Walvoort en Fokke Brouwer

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research (Alterra) in opdracht van en gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Bodem Informatie Systeem' (projectnummer BO-11-017-023).

Wageningen Environmental Research  
Wageningen, september 2017

---

Rapport 2834  
ISSN 1566-7197

---

F. de Vries, D. Walvoort en F. Brouwer, 2017. *Basisregistratie Ondergrond (BRO) Actualisatie bodemkaart; Herkartering van de eenheden met slappe kleilagen*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2834. 40 blz.; 12 fig.; 9 tab.; 14 ref.

Sinds 2010 wordt er door Wageningen Environmental Research (Alterra) structureel gewerkt aan de actualisatie van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. De actualisatie richt zich vooral op kenmerken die na verloop van tijd door natuurlijke processen of door ingrepen kunnen veranderen. Dit rapport beschrijft de werkwijze en resultaten van de actualisatie van de bodemkaart van gebieden in Noord- en Zuid-Holland met slappe klei tussen 0,2 en 0,8 m-mv.

Since 2010 Wageningen Environmental Research (Alterra) works structurally to the actualisation of the soil map of Netherlands, scale 1:50 000. The updating relates mainly to characteristics that can change under the influence of natural processes. This report describes the methods and results of the actualisation of the soil map of areas with un-ripened clay between 0.2 and 0.8 m-mv. in the western part of the Netherlands.

Trefwoorden: BRO, Basisregistratie Ondergrond, bodemkaart, niet gerijpte klei, rijping

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/423728> of op [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research) (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2017 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl), [www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research). Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Environmental Research Rapport 2834 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Werelderfgoed Droogmakerij De Beemster

---

# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
	1.1 Probleemstelling	9
	1.2 Projectdoelstelling	10
	1.3 Afbakening	10
	1.4 Impact van het project	10
	1.4.1 Bijdrage aan de BRO-doelstellingen	10
	1.4.2 Bijdrage aan de aanbevelingen van het UN Data Revolution rapport	11
	1.4.3 Bijdrage aan de Sustainable Development Goals	11
	1.5 Achtergrondinformatie	13
	1.5.1 Slappe klei	13
	1.5.2 Onderscheidingen voor slappe klei op de bodemkaart	14
	1.6 Doelgebied	15
<b>2</b>	<b>Werkwijze</b>	<b>17</b>
	2.1 Data verzamelen	18
	2.1.1 Stratificeren op landschappelijke ligging	18
	2.1.2 Kalibratieset met boormonsterbeschrijving	18
	2.1.3 Validatieset met boormonsterbeschrijvingen	19
	2.1.4 Hulpinformatie met gebiedskenmerken	19
	2.2 Modelleren	24
	2.2.1 Exploratieve data-analyse	24
	2.2.2 Fitten van model	25
	2.2.3 Validatie	26
	2.2.4 Creëren ruimtelijk beeld	26
	2.3 Bodemkaart updaten	26
	2.3.1 Vaststellen rijping per polygoon van de bodemkaart	27
	2.3.2 Aanpassen van bodemcodes	27
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>28</b>
	3.1 Boormonsterbeschrijvingen	28
	3.2 Ruimtelijke voorspelling aanwezigheid van slappe klei	29
	3.2.1 Droogmakerijen	30
	3.2.2 Buitendijkse gebieden	30
	3.2.3 Bovenland	30
	3.2.4 De kaart met kans op niet-gerijpte klei binnen 0,8 m-mv	31
	3.3 Geactualiseerde bodemkaart	32
	3.4 Rijping dieper dan 0,8 m-mv	32
	3.5 Validatie	33
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>35</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>36</b>
	<b>Bijlage 1 Instructies voor het maken van boorbeschrijvingen</b>	<b>37</b>
	<b>Bijlage 2 Sleutel voor de vertaling van bodemeenheden met niet-gerijpte kleilagen naar eenheden met gerijpte kleilagen</b>	<b>38</b>

---

---

# Woord vooraf

De Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, is onderdeel van de Basisregistratie Ondergrond (BRO). De BRO maakt onderdeel uit van het stelsel van basisregistraties. De gegevens over de ondergrond worden voortaan op één plek beheerd en ontsloten. De informatie is voor veel toepassingen buitengewoon relevant, mits de gegevens actueel zijn. Het ministerie van Economische Zaken is bronhouder van de bodemkaart, maar heeft de beheer- en onderhoudstaken aan Wageningen Environmental Research (Alterra) gedelegeerd. Het ministerie financiert de werkzaamheden. Dit rapport gaat over de actualisatie van de bodemkaart van gebieden in Noord- en Zuid-Holland waar slappe kleilagen in het bodemprofiel voorkomen.

Bij de uitvoering van het project was een groot aantal collega's betrokken. Het veldwerk, waarbij op bijna 800 locaties een boorbeschrijving is opgesteld, is met veel inzet uitgevoerd door Gert Stoffelsen, Willy de Groot, Fokke Brouwer, Eduard Hummelink en Falentijn Assinck. Voor boorlocaties in de buitendijkse gebieden zoals de Biesbosch moesten we gebruikmaken van een boot en werden we gehinderd door de vaak dichte begroeiing. De modellering is uitgevoerd door Dennis Walvoort in samenspraak met Dick Brus. Fokke Brouwer en Folkert de Vries zorgden voor de verdere verwerking van de gegevens. De planning van het project lag bij Folkert de Vries. Het project maakt onderdeel uit van het BRO-programma onder leiding van Joop Okx. Joop Okx heeft ook de interne review van dit rapport uitgevoerd. We bedanken de grondeigenaren voor de medewerking om op hun percelen grondboringen te verrichten.

Wageningen, september 2017





---

# Samenvatting

Rond 1960 is de toenmalige Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) gestart met het vervaardigen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. In 1995 kwam de kaart voor geheel Nederland gereed. De bodemkaart is onlangs onderdeel geworden van de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Met de registratie beoogt de overheid de informatievoorziening sterk te verbeteren, door publieke gegevens over de ondergrond op gestandaardiseerde wijze via één loket als open data aan te bieden. De BRO maakt onderdeel uit van het stelsel van basisregistraties. Om de informatie van de bodemkaart adequaat te kunnen gebruiken voor landelijke en regionale toepassingen, is er voortdurend onderhoud nodig. Dit onderhoud richt zich de komende jaren op:

- Verbetering en actualisatie van de inhoudelijke informatie; dit is nodig omdat er deels door natuurlijke processen en deels door ingrepen veranderingen optreden in bodemkenmerken.
- Verbetering van de geografische nauwkeurigheid; dit heeft o.a. betrekking op een nauwkeurigere begrenzing van de grote rivieren, meren en kanalen, op de begrenzing van markante bodemkundig-landschappelijke eenheden en op de afstemming van de patronen van de Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, het andere bodemkundige model dat onderdeel uitmaakt van de BRO.
- Kwaliteitsindicatoren; om de kwaliteit te monitoren en de bruikbaarheid van het model voor toepassingen te kunnen inschatten, zijn er objectieve kwaliteitsindicatoren nodig.

Sinds 2010 wordt er, gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken, structureel aan de actualisatie van de bodemkaart gewerkt. Tijdens de eerste jaren is de bodemkaart van de veengebieden geactualiseerd en is extra informatie verzameld over de grondwatertrappen van de kleigebieden in West-Nederland.

Dit project heeft betrekking op gebieden met kleigronden in Noord- en Zuid-Holland met niet-gerijpte klei in het profiel, beginnend tussen 0,2 en 0,8 m-mv. In de twee provincies geldt dit voor een areaal van ca. 42.000 ha. Niet-gerijpte klei heeft een relatief groot volume aan poriën dat gevuld is met water. Het materiaal is slap en heeft weinig draagkracht. Bij ontwatering verandert het slappe sediment geleidelijk in een stevige, doorlatende bodem met structuur. Dit 'rijpingsproces' gaat gepaard met een onomkeerbaar verlies aan water en een volumeverlies van 10% tot 30%. Het volumeverlies gaat gepaard met maaiveldvaling. Bij bodems met slappe kleilagen is er dus een risico op bodemdaling. Om dit risico in te schatten, is het van belang om te weten in welke mate nu nog niet-gerijpte klei aanwezig is. Daarvoor is deze actualisatie uitgevoerd.

De actualisatie is uitgevoerd met behulp van "Digitale Bodemkartering" (DBK). Dit is een geo-statistische methode waarbij met een combinatie van bodemgegevens uit veldwaarnemingen en informatie over terreinkenmerken kaartbeelden worden gecreëerd. DBK wordt in drie fasen uitgevoerd:

- Data verzamelen, bestaande uit:
  - Het opstellen van boorbeschrijvingen op een groot aantal locaties om de actuele rijpingstoestand van de kleilagen in de ondergrond vast te stellen.
  - Het vervaardigen van gebiedsdekkende hulpbestanden met terreinkenmerken, zoals hoogteligging, reliëf, diepte GLG, kwel en wegzijging, grondgebruik etc.
- Modelleren en valideren; hiermee wordt op basis van een relatie tussen rijpingstoestand, vastgesteld bij de boorlocaties, en verschillende terreinkenmerken gebiedsdekkend een voorspelling gedaan over de aanwezigheid van niet-gerijpte klei. Het doelgebied is, vanwege verschillen in landschappelijke ligging, opgedeeld in drie landschapstypen: droogmakerij, buitendijkse gebied en bovenland. Per landschapstype is een voorspellingsmodel opgesteld. Deze fase resulteert in een 'Kansenklassenkaart van ongerijpte klei'.
- Updaten bodemkaart; aan de hand van de 'Kansenklassenkaart van ongerijpte klei' wordt per kaartvlak van de bodemkaart vastgesteld of er nog niet-gerijpte klei voorkomt. Bij de kaartvlakken waarbinnen de klei inmiddels gerijpt is, wordt volgens een schema de bodemcode aangepast.

---

Uit de resultaten blijkt dat bij 57% van het areaal veranderingen in het bodemtype zijn opgetreden. De mate van rijping verschilt per landschapstype en bodemtype. Bij bodemtypen met dunne veenlagen zijn de veranderingen minder groot dan bij bodemtypen waarbij het bodemprofiel geheel uit zavel of klei bestaat. In de buitendijkse gebieden zijn de minste veranderingen in bodemtypen opgetreden.

---

# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Rond 1960 is de toenmalige Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) gestart met het vervaardigen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. In 1995 kwam de kaart voor geheel Nederland gereed. De leeftijd van de informatie op de bodemkaart varieert dus van 20 tot meer dan 50 jaar. De legenda van de bodemkaart onderscheidt bodemtypen waarvan bepaalde kenmerken geleidelijk een ontwikkeling doormaken. Zo treden er bij veengronden en moerige gronden veranderingen op als gevolg van oxidatie en klink. Veenlagen kunnen zelfs geleidelijk verdwijnen. Onder invloed van cultuurtechnische ingrepen treden er veranderingen op in het grondwaterstandverloop. Slappe kleilagen worden geleidelijk steviger als gevolg van 'rijpingsprocessen'.

De Bodemkaart van Nederland is onlangs onderdeel geworden van de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Met de Basisregistratie beoogt de overheid de informatievoorziening sterk te verbeteren, door publieke gegevens over de ondergrond op gestandaardiseerde wijze voor zowel de overheid als andere partijen ter beschikking te stellen. De BRO maakt deel uit van het stelsel van basisregistraties. Om de informatie van de bodemkaart adequaat te kunnen gebruiken voor landelijke en regionale toepassingen is er voortdurend onderhoud nodig. Dit onderhoud richt zich de komende jaren op:

- Verbetering en actualisatie van de inhoudelijke informatie; dit is nodig omdat er deels door natuurlijke processen en deels door ingrepen veranderingen optreden in bodemkenmerken.
- Verbetering van de geografische nauwkeurigheid; dit heeft o.a. betrekking op een nauwkeurigere begrenzing van de grote rivieren, meren en kanalen, op de begrenzing van markante bodemkundig-landschappelijke eenheden en op de afstemming van de patronen met de Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, het andere bodemkundige model dat onderdeel wordt van de BRO.
- Kwaliteitsindicatoren; om de kwaliteit te monitoren en de bruikbaarheid van het model voor toepassingen te kunnen inschatten, zijn er objectieve kwaliteitsindicatoren nodig.

De verbetering en het onderhoud van de gegevens worden gefinancierd door het ministerie van Economische zaken. In de periode 2010–2014 is de bodemkaartinformatie van de veengebieden geactualiseerd (De Vries *et al.* 2014) en is extra informatie verzameld over de grondwatertrappenkaart van de kleigebieden in West-Nederland (Hoogland *et al.* 2014).

De actualisatieprojecten in de periode 2010–2014 hadden voor een klein deel betrekking op bodemeenheden met een slappe kleilaag. Bij het veldwerk is toen geconstateerd dat op veel plaatsen de lagen inmiddels steviger zijn en slappe lagen op grotere diepte voorkomen dan bij de eerste opname van de bodemkaart is vastgesteld. Dus de dikte van het pakket stevige klei is groter dan voorheen, waardoor de bodems op basis van het voorkomen van slappe kleilagen bij een ander bodemtype ingedeeld dienen te worden. Op basis van deze ervaringen is de verwachting dat bij eerder niet onderzochte verwante bodemtypen met slappe lagen ook veranderingen zijn opgetreden.

---

## 1.2 Projectdoelstelling

De actualisatie van de bodemkaart richt zich in 2016 op verbetering van de informatie in gebieden in Noord- en Zuid-Holland met bodemtypen waarbij slappe kleilagen voorkomen. De totale oppervlakte van de bodemtypen met slappe kleilagen in beide provincies bedraagt 42.077 ha. De resultaten van het project bestaan uit:

- een geactualiseerde Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 van de gebieden met bodemtypen waarbij slappe kleilagen voorkomen;
- een dataset met boormonsterbeschrijvingen;
- dit rapport.

## 1.3 Afbakening

De actualisatie van de bodemkaart heeft betrekking op gebieden in Noord- en Zuid-Holland waar volgens de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, bodemtypen voorkomen met slappe kleilagen binnen 0,8 m-mv. Dit rapport beschrijft de werkwijze en de resultaten. De actualisatie heeft puur betrekking op de bodemtypen en niet op de grondwatertrappen. De actualisatie van het grondwaterstandverloop (Gt) wordt in andere BRO-projecten uitgevoerd. Reden hiervoor is dat dit hydrologische kenmerk, onafhankelijk van het feit of we al dan niet met gerijpt of ongerijpt materiaal te maken hebben, kan veranderen. De actualisatie van de Gt dient dus voor alle gebiedsdekkende bodemtypen uitgevoerd te worden.

## 1.4 Impact van het project

Het onderzoek heeft betrekking op een bodemkenmerk dat beïnvloedbaar is en geleidelijk kan veranderen. Door de actualisatie van de bodemkaart kennen we nu de actuele ligging van bodemtypen met slappe kleilagen binnen 0,8 m-mv. In deze gebieden is de kans op maaiveldddaling groter dan in gebieden waar de ondiepe bodemlagen inmiddels gerijpt zijn. De informatie is belangrijk voor provincies en waterschappen in verband met het beheer en onderhoud aan wegen en in verband met het waterbeheer van gebieden. Ook in groter verband is beschikbaarheid van actuele bodeminformatie van belang. In de volgende hoofdstukken wordt de bijdrage van dit project aan de doelstelling van de Basisregistratie Ondergrond (BRO) opgesomd en de relatie met de aanbevelingen en de duurzame ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties.

### 1.4.1 Bijdrage aan de BRO-doelstellingen

De Basisregistratie Ondergrond wordt hét informatiesysteem met publieke gegevens van de Nederlandse ondergrond. Deze basisregistratie maakt het mogelijk om bodem- en ondergrondgegevens via één digitaal loket te raadplegen (<https://bro.pleio.nl/>). De bestaande informatiesystemen, zoals het *DINO*Loket van TNO en *BIS*Nederland van Alterra, zijn onderling onvoldoende met elkaar verbonden, waardoor er geen adequaat overzicht is van wat er onder de grond al bekend is. Alle met overheidsgeld verzamelde gegevens over de bodem en de ondergrond worden in de BRO opgenomen. De BRO-gegevens komen vanaf 2017 gefaseerd beschikbaar. Het lopende project Actualisatie Bodemkaart is gerelateerd aan een tweetal registratieobjecten:

- Boormonsterprofielen, waarmee de boormonsterbeschrijvingen worden bedoeld;
- Bodemkundig model, waarmee de bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 wordt bedoeld.

In 2016 zijn in Noord- en Zuid-Holland 780 boringen aan het bestand toegevoegd en is ca. 42.000 ha bodemkaart geactualiseerd.

## 1.4.2 Bijdrage aan de aanbevelingen van het UN Data Revolution rapport

*“Data en modellen zijn van levensbelang voor besluitvorming en leveren het ruwe materiaal voor af te leggen verantwoording. Zonder de juiste informatie is het ontwerpen, monitoren en evalueren van beleid een bijna onmogelijke opgave.”*

Zo begint het rapport ‘A world that counts’ van de UN Expert Advisory Group on a Data Revolution for Sustainable Development (2014). De adviesgroep doet een aantal aanbevelingen die ervoor moeten zorgen dat het verzamelen, opslaan en verstrekken van data beter wordt afgestemd op de informatie die we nodig hebben om de vorderingen op weg naar de Sustainable Development Goals (SDG) te monitoren.

De doelstellingen van de Basisregistratie Ondergrond komen in grote lijnen overeen met enkele doelstellingen van de UN Expert Advisory Group (Tabel 1). We moeten opmerken dat wat betreft de realisatie van de Landelijke Voorziening van de BRO nog onvoldoende wordt gekeken naar de aansluiting bij de internationale bodemwereld.

**Tabel 1** Bijdrage van dit project aan de aanbevelingen van de UN Expert Advisory Group.

Aanbeveling	Bijdrage	Opmerkingen
Ontwikkelen van consensus betreffende principes en standaarden	De binnen het project verzamelde gegevens en de gerealiseerde actualisatie van de Bodemkaart 1 : 50 000 worden via de BRO gepubliceerd. BRO draagt bij aan een <i>nationale</i> data exchange standaard voor boormonsterprofielen en het bodemkundig model	Nog onvoldoende aansluiting bij internationale data exchange standaarden zoals INSPIRE ML Soil en/of Soil ML v.w.b. boormonsterprofielen.
Ontwikkelen van systemen die voor iedereen toegankelijk zijn	BRO realiseert een voor iedereen toegankelijk systeem (de Landelijke Voorziening BRO) en een deel van de informatie zal via PDOK worden ontsloten	Het feit dat het enkel en alleen verstrekken van xml-bestanden het gebruik van de data in ernstige mate in de weg zou staan, is goed opgepakt en daarom is een alternatieve uitlevering via PDOK gerealiseerd
Voldoende middelen voor verbetering van data, modellen en de toegankelijkheid hiervan	De Ministeries van EZ en IenM dragen bij aan het realiseren van de Landelijke Voorziening BRO en aan de actualisatie van de daarbij horende data en modellen	
Leiderschap voor coördinatie	BRO is leidend en toonaangevend voor wat betreft aardwetenschappelijke en bodemkundige data	Er is voor de bodemkundige data nog onvoldoende aansluiting gezocht bij de internationale bodemwereld
Zorg voor <i>quick wins</i> in relatie tot de SDG-data	Niet gerealiseerd	De potentiële bijdrage is onderwerp van studie

## 1.4.3 Bijdrage aan de Sustainable Development Goals

Nederland heeft de ambitie en streeft ernaar alle door de regeringsleiders van de lidstaten van de Verenigde Naties vastgestelde Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDGs, Figuur 1) in 2030 te behalen (minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking, 2016). Ons werk is gerelateerd aan een beperkt aantal SDGs zoals in onderstaande Tabel 2 is opgenomen. Elke SDG kent een aantal indicatoren (Inter-Agency and Expert Group, 2016); de door ons opgeslagen gegevens en modellen hebben in een beperkt aantal gevallen een relatie met die indicatoren. Uit Tabel 2 is te concluderen dat de gegevens in de BRO niet overeenstemmen met de gewenste indicatoren, maar wel een rol kunnen spelen bij de totstandkoming van de indicatoren.

## Sustainable Development Goals



**Figuur 1** Overzicht van de Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties.

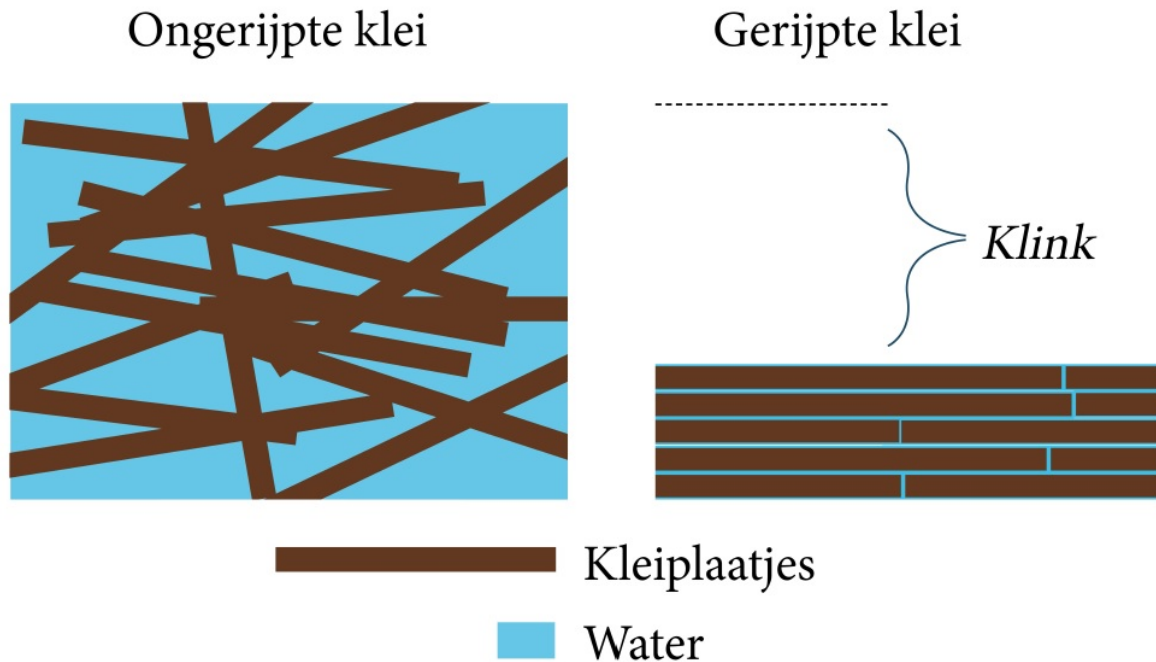
**Tabel 2** Relatie actualisatie bodemkaart met Sustainable Development Goals van de Verenigde Naties.

SDG	Indicator	Bijdrage	Opmerking
2 Geen honger	Percentage duurzame landbouw (landbouw gericht op het behoud van ecosystemen, op klimaatbestendigheid en op een voortdurende verbetering van land- en bodemkwaliteit)	Uit de huidige gegevens is voor een aantal bodemkwaliteitsparameters een nulmeting af te leiden	De combinatie van data en bodemkaart met het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) is waarschijnlijk onvoldoende om een indicatie van het percentage duurzame landbouw te geven
6 Schoon water en sanitair	Percentage onbedreigde watervoorraad	De bodemopbouwgegevens geven een indicatie van de kwetsbaarheid van onderliggende watervoerende pakketten	
12 Verantwoorde consumptie en productie	-		
13 Klimaatactie	-		
15 Leven op het land	Percentage aangetaste bodem t.o.v. het totale landoppervlak	Met behulp van de Bodemkaart zijn voor verschillende aantastingen inschattingen gemaakt van de diverse bodembedreigingen	
17 Partnerschap om doelstellingen te bereiken	Aantal samenwerkings-overeenkomsten en -programma's inzake SDG gerelateerde gegevensverwerking	Samenwerking met TNO inzake BRO Lid van het European Soil Bureau Network Samenwerking met ISRIC - World Data Center for Soils	

## 1.5 Achtergrondinformatie

### 1.5.1 Slappe klei

Kleiige sedimenten die onder water zijn afgezet, bezitten een groot poriënvolume en bevatten hierdoor een grote hoeveelheid water. Bij droogvallen verandert het slappe sediment geleidelijk in een stevige, doorlatende bodem met structuur. Dit 'rijpingsproces' gaat gepaard met een onomkeerbaar verlies aan water en een aanzienlijk volumeverlies, variërend van 10% bij lichte zavel tot wel 30% bij zware klei (Jongmans *et al.* 2013). Er ontstaan scheuren in de bodem en door het volumeverlies treedt maaiveld daling op (Figuur 2).



**Figuur 2** Schematische weergave van de structuur van kleiplaatjes in ongerijpt materiaal (links) en in gerijpt materiaal (rechts; naar Jongmans *et al.* 2013).

Deze fysische rijping is een onomkeerbaar proces van waterverlies en volumeafname. Wanneer een bodem gerijpt is, treedt er geen verdere onomkeerbare afname van het volume meer op, maar door wisselende vochtgehalten kan het materiaal wel zwellen en krimpen. Bodems verschillen in zwel- en krimpgedrag, afhankelijk van de korrelgrootteverdeling en de aard van het moedermateriaal. Zwel- en krimpgedrag nemen bijvoorbeeld toe bij een hoger lutumgehalte. Door structuurvorming die bij rijping in de bodem ontstaat, neemt de doorlatendheid toe en kan lucht tot een grotere diepte in de bodem doordringen. Deze aeratie bevordert de chemische rijping waarbij allerlei stoffen oxideren, waaronder ijzer, pyriet en organische stof. Wateronttrekking door begroeiing, inpoldering en ontwatering versnellen het rijpingsproces aanzienlijk.

Op basis van de consistentie van het sediment is een indeling gemaakt naar de mate van rijping in 5 klassen (De Bakker en Schelling, 1989). Pas gesedimenteed waterrijk bodemmateriaal is erg slap en geheel ongerijpt, het materiaal loopt tussen de vingers door zonder er in te knijpen. Volledig gerijpt materiaal is stevig, ook bij hard knijpen kan het niet door de vingers worden geperst (Tabel 3).

Tabel 3 Indeling naar rijpingstoestand van kleiige sedimenten.

Rijpingsklasse	Omschrijving
Geheel ongerijpt	Erg slap, loopt tussen de vingers door zonder te knijpen
Bijna geheel ongerijpt	Slap, is gemakkelijk tussen de vingers te knijpen
Half gerijpt	Matig slap, loopt tussen de vingers door bij sterk knijpen
Bijna gerijpt	Matig hard, kan tussen de vingers geperst worden door sterk te knijpen
Gerijpt	Hard, kan niet meer tussen de vingers door worden geperst door sterk knijpen

### 1.5.2 Onderscheidingen voor slappe klei op de bodemkaart

In de legenda van de bodemkaart is rijping een van de indelingscriteria. De begindiepte van ongerijpte lagen is daarbij van belang. Gronden die vanaf maaiveld ongerijpt zijn, zoals bij de recent gesedimenteerde klei in de slikken en schorren langs de Waddenzeekust, worden tot de 'niet-gerijpte minerale gronden gerekend' (Tabel 4). De meeste zeeklei- en rivierkleigronden hebben het rijpingsproces al grotendeels of geheel doorgemaakt. In de legenda worden de kleigronden met een ongerijpte ondergrond binnen 0,8 m-mv apart onderscheiden. De kleigronden worden verder ingedeeld naar:

- Het moedermateriaal, zeeklei of rivierklei.
- De aanwezigheid van een eerdlaag, dit is een donkere humusrijke bovengrond van ten minste 0,15 m dik.
- De textuur van de bovengrond.
- Het profielverloop, met informatie over verandering in de aard en samenstelling van het moedermateriaal met de diepte.
- Kalkgehalte in de bodemlagen.
- Aanwezigheid en begindiepte van zgn. Hydromorfe kenmerken, zoals roest en reductievlekken.

Bij de indeling van de moerige gronden met een ondergrond van zavel of klei speelt de aanwezigheid van ongerijpt materiaal binnen 0,8 m-mv ook mee (Tabel 4). Moerige gronden hebben een 0,1 tot 0,4 m dikke moerige laag die binnen 0,4 m-mv begint. Deze laag begint dus aan maaiveld of is bedekt door een maximaal 0,4 m dikke zand-, silt- of kleilaag.

Tabel 4 Rijping als indelingscriterium bij moerige gronden en kleigronden.

Diepte (m)	Rijpingstoestand					Benaming bodemeenheden		Code	
	Geheel ongerijpt	Bijna geheel ongerijpt	Half gerijpt	Bijna gerijpt	Gerijpt	Zeeklei	Rivierklei		
<u>Moerige gronden</u>									
Vanaf 0,4 à 0,8	x	x	x			Plaseerdgronden		Wo	Wo
					x	Broekeerdgronden		Wg	Wg
<u>Niet-gerijpte minerale gronden</u>									
<0,2	x	x				Slikvaaggronden		MOo	ROo
			x	x		Gorsvaaggronden		MOB	ROB
<u>Kleigronden met (p.) of zonder eerdlaag</u>									
Vanaf 0,4 à 0,8	x	x	x			Tochteerdgronden		pMo	pRo
	x	x	x			Nesvaaggronden		Mo	Ro
				x	x	Leek-Woudeerdgronden		pMn	pRn
				x	x	Poldervaaggronden		Mn	Rn



## 1.6 Doelgebied

De actualisatie richt zich in Noord- en Zuid-Holland op de bodemkaartvlakken met slappe kleilagen binnen 0,8 m-mv. Uit het bestand van de bodemkaart zijn de kaartvlakken geselecteerd met de bodemeenheden die aan deze voorwaarde voldoen. Figuur 3 geeft een overzicht van deze bodemeenheden en Tabel 5 bevat een oppervlakteoverzicht.

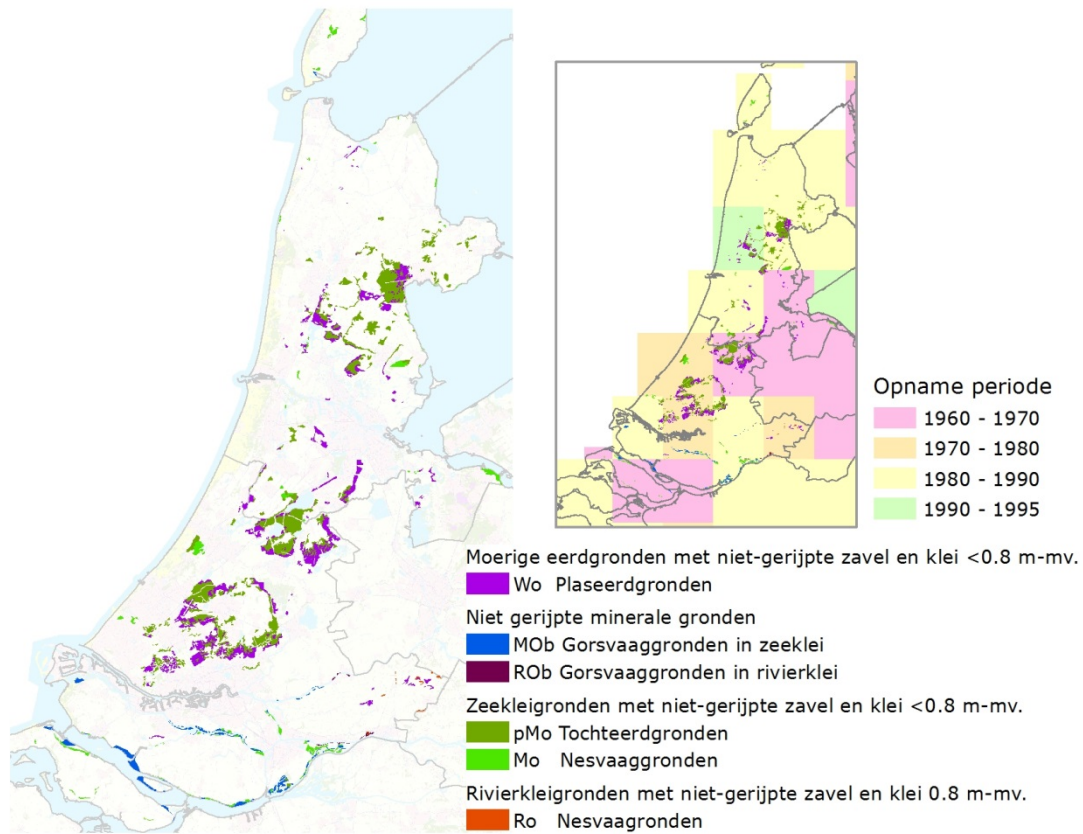
**Tabel 5** Oppervlakteoverzicht van de bodemeenheden in het doelgebied.

Code	Naam	Oppervlakte (ha)
Wo	Plaseerdgronden	17 204
MOB	Gorsvaaggronden in zeelei	2 046
ROB	Gorsvaaggronden in rivierlei	162
pMo	Tochteerdgronden in zeelei	17 550
Mo	Nesvaaggronden in zeelei	4 868
Ro	Nesvaaggronden in rivierlei	246
Totaal		42 077

Veruit de grootste oppervlakte wordt ingenomen door plaseerd- en tochteerdgronden. Beide bodemtypen hebben een donkere bovengrond en een ondergrond van niet-gerijpte klei beginnend tussen 0,4 en 0,8 m-mv. Bij de tochteerdgronden (pMo) bedraagt het organische stofgehalte in de donkere bovengrond 5 à 10%. De plaseerdgronden (Wo) hebben een moerige laag van maximaal 0,4 m ondiep in het profiel. Deze laag begint vaak aan maaiveld of is afgedekt door een zavel- of kleidek van maximaal 0,4 m dikte. De plaseerdgronden treffen we met name aan in droogmakerijen. Ze zijn dan veelal gesitueerd langs de binnenrand van de ringdijk. Door de lokale kwel vanuit de ringsloot is het rijpingsproces bij de lagen in de ondergrond vertraagd.

De nesvaaggronden hebben eveneens een niet-gerijpte ondergrond vanaf 0,4 à 0,8 m-mv. Bij deze gronden is, in tegenstelling tot de tochteerdgronden, de bovengrond met 1 tot 5% organische stof minder humeus en lichter van kleur.

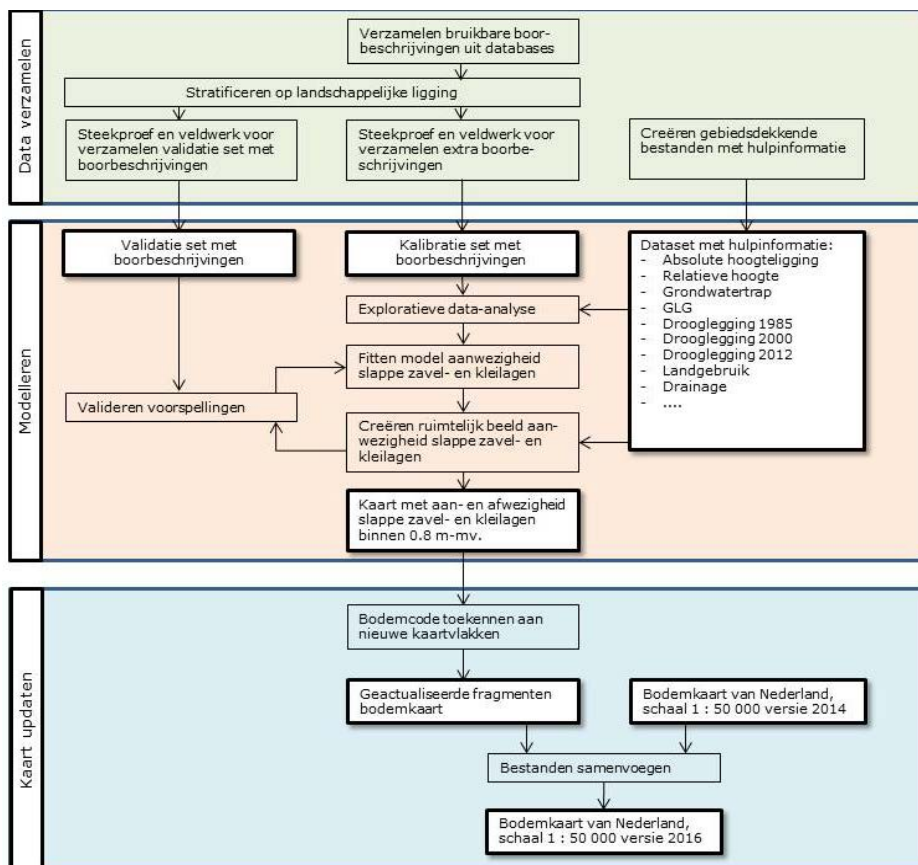
De gorsvaaggronden, dit zijn bodemtypen waarbij nagenoeg vanaf maaiveld ongerijpte zavel of klei aanwezig is, zijn met name gesitueerd in de buitendijkse gebieden langs de Zuid-Hollandse eilanden. Ook langs de Noord-Hollandse IJsselmeerkust en Waddenzeekust komen enkele kaartvlakken met dit bodemtype voor. Door de lage ligging t.o.v. de standen van het oppervlaktewater en de daaraan gerelateerde ondiepe grondwaterstanden, voltrekt het rijpingsproces zich bij deze gronden niet of slechts heel langzaam.



**Figuur 3** Doelgebied met een overzicht van de bodemeenheden en een overzicht van de jaren waarin het veldwerk voor de bodemkaart is uitgevoerd.

## 2 Werkwijze

De actualisatie van de bodemkaart wordt uitgevoerd met behulp van 'Digitale BodemKartering' (DBK). Dit is een geostatistische methode waarbij door een combinatie van bodemgegevens uit veldwaarnemingen en informatie over terreinkenmerken, zoals reliëf, grondwaterstanddiepte, ontwateringsdiepte en bodemgebruik, kaartbeelden worden gecreëerd. Naast een voorspelling van het bodemkenmerk geeft het model ook een indicatie van de onzekerheid van de voorspelling. Vanwege de kosten en doorlooptijd is deze methode gekozen in plaats van de karteringsmethode die gehanteerd is bij de eerste opname van de bodemkaart. Destijds is een uitgebreide veldverkenning uitgevoerd, waarbij veel grondboringen werden verricht en de begrenzing van de kaartvlakken in het veld werd opgespoord en ingetekend. Bij DBK is het benodigd aantal veldwaarnemingen per oppervlakte-eenheid geringer en worden de patronen via ruimtelijke interpolatie verkregen. Dit bespaart tijd en geld. Tevens zijn de kaarten, vervaardigd met DBK, reproduceerbaar en bij het beschikbaar komen van nieuwe locatiegegevens kan het model opnieuw worden toegepast om het kaartbeeld te actualiseren.



**Figuur 4** Stroomschema met de activiteiten voor de actualisatie van de bodemkaart.

Figuur 4 geeft een overzicht van de activiteiten om de kaart te actualiseren. Er is een onderverdeling in 3 fasen:

1. Data verzamelen.
2. Modelleren.
3. Updaten bodemkaart.

In de volgende paragrafen worden deze activiteiten per fase beschreven.

---

## 2.1 Data verzamelen

Om de bodemkaart met behulp van DBK te actualiseren, zijn actuele waarnemingen nodig over de rijpingstoestand van de kleilagen in het bodemprofiel en gebiedsdekkende hulpbestanden met informatie over de terreintoestand. De informatie over de rijpingstoestand wordt ontleend aan boormonsterbeschrijvingen. De te actualiseren kaartfragmenten komen in duidelijk verschillende landschappen voor. Voor de modellering wordt er onderscheid gemaakt in een drietal landschappen.

### 2.1.1 Stratificeren op landschappelijke ligging

De te actualiseren eenheden van de bodemkaart liggen vooral in droogmakerijen en buitendijkse gebieden. De gronden in droogmakerijen worden veelal beïnvloed door kwelwater uit de omringende, hoger gelegen terreinen en ringsloten. De hydrologie van buitendijkse gebieden staat onder invloed van het aangrenzende oppervlaktewater. Het grondwaterstandverloop is een belangrijke trigger bij het rijpingsproces van kleigronden, daarom wordt vanwege de verschillen in hydrologie het onderzoeksgebied onderverdeeld in drie strata (Figuur 5):

- Droogmakerijen.
- Buitendijkse gebieden; dit zijn vooral gebieden langs de grote rivieren en verder enkele gebiedjes langs de ijszeldmeerkust en bij Texel langs de waddenzee-kust.
- Overige gebieden, zoals fragmenten in het bovenland te midden van droogmakerijen en in een aantal polders verspreid in de twee provincies. Deze gebieden worden in het vervolg aangeduid met 'bovenland'.

### 2.1.2 Kalibratieset met boormonsterbeschrijving

Een boormonsterbeschrijving geeft schematische informatie over de gelaagdheid in een bodemprofiel op een bepaalde locatie. Om een boormonsterbeschrijving te kunnen maken, haalt de veldbodemkundige met een zgn. edelmanboor of met een gutsboor bodemmateriaal uit het boorgat omhoog en legt dit op volgorde neer. Vervolgens wordt op basis van kleur, samenstelling en consistentie de gelaagdheid vastgesteld. Begin- en einddieptes van de lagen worden genoteerd en van elke laag worden belangrijke kenmerken geschat, zoals organische stofgehalte, veensoort, lutumgehalte, leemgehalte, siltgehalte, zandgrofheid, consistentie en aanwezigheid van kalk. De locatie wordt vastgelegd doormiddel van x- en y-coördinaten. De boormonsterbeschrijvingen worden opgeslagen in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) van Wageningen Environmental Research (Alterra). De boormonsterbeschrijvingen in BIS zijn via internet in te zien (<http://maps.bodemdata.nl/bodemdata.nl/index.jsp>). BIS bevat voor het doelgebied 3542 boormonsterbeschrijvingen die in het verleden zijn opgesteld. De mate van rijping is een dynamisch kenmerk. Daarom zijn niet alle boormonsterbeschrijvingen bruikbaar voor de actualisatie. Daarnaast is de verdeling van de beschikbare beschrijvingen over het doelgebied zeer wisselend. Er is een aantal gebieden met een afwijkend hogere concentratie aan boringen. Zulke concentraties kunnen verstrend werken bij de modellering. Een gelijkmatige verdeling van de boringen over het gebied heeft de voorkeur. Op basis van de overweging dat de rijpingstoestand in de loop van de tijd kan veranderen, gebruiken we alleen boringen van na 2010. Dit resulteert in een set van 415 boormonsterbeschrijvingen die reeds in BIS aanwezig is.

Om te beschikken over een uitgebreide kalibratieset met actuele boormonsterbeschrijvingen, zijn evenredig over het doelgebied en de drie landschappelijke strata 700 extra locaties geloot. Op deze locaties, of in de nabije omgeving, is in de periode april–september 2016 een beschrijving van de profielopbouw opgesteld. Hierbij zijn de richtlijnen voor bodemkundige boormonsterbeschrijvingen gevolgd (Ten Cate *et al.* 1995). Tevens is er in een protocol een aantal richtlijnen gegeven voor het kiezen van de locatie en de boordiepte (Bijlage 1). De opdracht was om steeds tot minimaal 1,5 m te boren en indien op deze einddiepte nog slappe zavel of klei of veen voorkomt, dan dieper te boren tot minimaal 2 m.

Voor het opstellen van de boormonsterbeschrijvingen wordt gebruikgemaakt van de VeldGis-applicatie op veldcomputers. Dit is een door Wageningen Environmental Research ontwikkelde module in ArcGIS met een invulscherm voor boormonsterbeschrijving. Met gps worden de x- en y-coördinaten van de

---

locatie automatisch bepaald. Voor een aantal attributen in de VeldGIS-applicatie (zoals bodemgebruik, horizontcode en veensoort) zijn keuzelijsten beschikbaar, hetgeen het invullen vergemakkelijkt en fouten voorkomt. Tevens bevat VeldGis controleprogramma's om te checken of de beschrijvingen consistent zijn.

De 415 boringen uit BIS en de 700 extra boormonsterbeschrijvingen vormen samen de kalibratieset voor het model.

### 2.1.3 Validatieset met boormonsterbeschrijvingen

Om de ruimtelijke voorspellingen over het aanwezig zijn van niet-gerijpte kleilagen te toetsen of te valideren, is een onafhankelijke set met gegevens nodig. Daarvoor hebben we een validatieset met boormonsterbeschrijvingen samengesteld. De informatie uit deze beschrijvingen is dus niet gebruikt bij de met DBK geproduceerde kaart.

Er is gebruikgemaakt van een steekproefontwerp dat bekendstaat als 'gestratificeerde kanssteekproef' (stratified simple random sampling, De Gruijter *et al.* 2006, p.89-95). Hiervoor is het doelgebied opgedeeld in relatief homogeen veronderstelde deelgebieden, de zogenaamde strata. De strata zijn geconstrueerd op basis van combinaties van landschapstype (droogmakerij, buitendijks, overig, zie paragraaf 2.1.3) en bodemmateriaal (mineraal of moerig). In totaal zijn binnen het doelgebied 100 locaties geloot, proportioneel naar stratumoppervlakte.

Voor het opstellen van de boormonsterbeschrijvingen worden eveneens de richtlijnen voor bodemkundige boormonsterbeschrijvingen gevolgd (Ten Cate *et al.* 1995). Als belangrijke voorwaarde geldt dat exact op de aangegeven locatie wordt geboord. Indien dat niet mogelijk is, vervalt de locatie en wordt gekozen voor een tweede gelote locatie. Ook deze set wordt verzameld en gecontroleerd met de VeldGis-applicatie.

### 2.1.4 Hulpinformatie met gebiedskenmerken

Om digitale bodemkartering toe te kunnen passen, zijn GIS-bestanden nodig met gebiedskenmerken die van invloed kunnen zijn op de bodemvariabele die in kaart gebracht wordt. Aan de hand van deze gegevens wordt een relatie afgeleid tussen het bodemkenmerk ter plekke van de boorlocaties – in dit project de aanwezigheid van slappe zavel- of kleilagen binnen 0,8 m-mv – en één of meer gebiedskenmerken. Met deze relatie voorspellen we vervolgens de ruimtelijke verbreiding van de aan- en afwezigheid van slappe kleilagen in het doelgebied. Voorwaarde voor deze toepassing is dat deze hulpinformatie gebiedsdekkend beschikbaar is, zodat er voor het totale gebied voorspellingen gedaan kunnen worden. Voor dit project is een set met hulpvariabelen aangemaakt. De gegevens zijn in GIS beschikbaar als rasterbestand met een celgrootte van 50x50 m<sup>2</sup>. De informatie wordt afgeleid uit beschikbare GIS-bestanden van o.a. hoogtekaart, bodemkaart en grondgebruikskaart. De hulpvariabelen worden hierna kort besproken.

#### **Doelgebied**

Het gebied waarvan in dit project de bodemkaart geactualiseerd wordt. Dit is een selectie van kaartvlakken van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000, met bodemtypen die binnen 0,8 m-mv slappe/ongerijpte klei in het profiel hebben (Figuur 5). Binnen dit doelgebied is voor ca. 6700 ha een recentere en gedetailleerde bodemkaart met schaal 1 : 10 000 of 1 : 25 000 beschikbaar. Volgens deze detailkaarten komen er gebiedjes voor met gronden die al tot ten minste 0,8 m diepte gerijpt zijn.

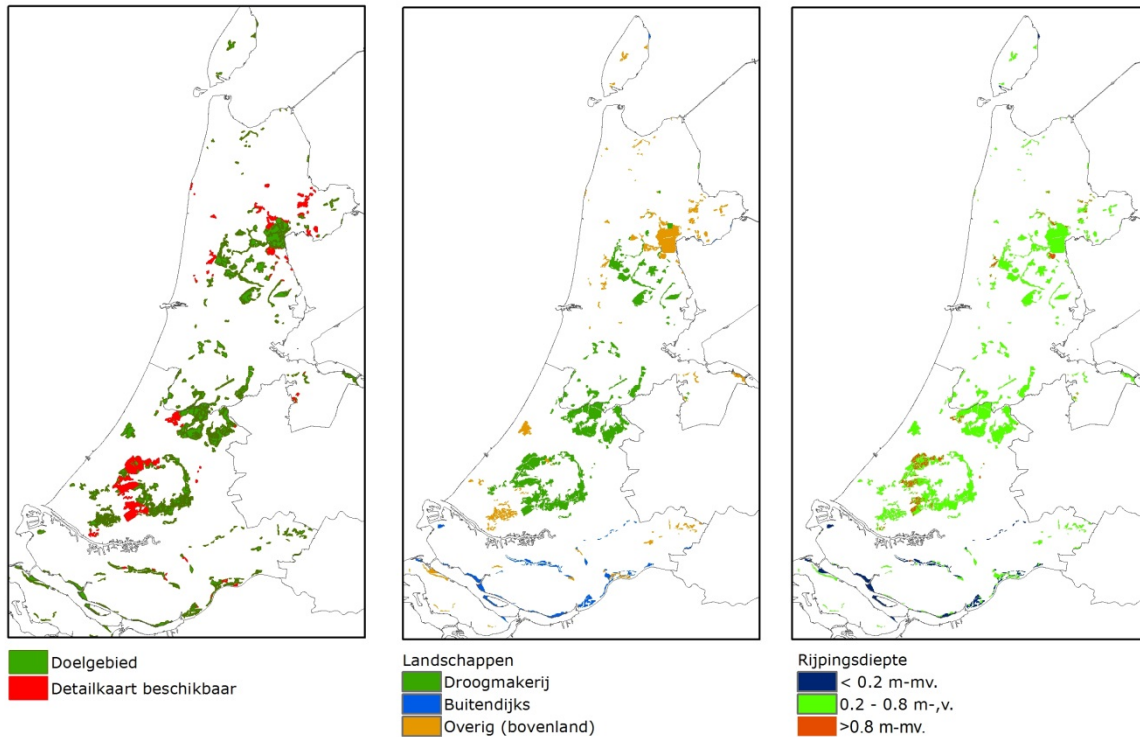
#### **Rijpingsdiepte**

Rijpingsdiepte volgens de eerste uitgave van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 en de gedetailleerde bodemkaarten (Figuur 5). Op basis van de legenda's van de bodemkaarten wordt onderscheid gemaakt in de begindiepte van de ongerijpte lagen. Er is een indeling in 3 klassen:

1. <0,2 m-mv; hierbij gaat het om de 'niet-gerijpte minerale gronden'. Deze worden aangetroffen in de buitendijkse gebieden langs de rivieren en de zeekust. Dit worden ook wel initiale gronden genoemd en bestaan uit gorsvaaggronden.

2. 0,2–0,8 m-mv; dit zijn de zee- en rivierkleigebieden met plaseerdgronden, tochteerdgronden en nesvaaggronden.
3. >0,8 m-mv.; dit betreft de gebieden waar volgens de bodemkaart, schaal 1 : 50 000, ongerijpte klei binnen 0,8 m-mv voorkomt, maar waarvoor in detail en recenter is vastgesteld dat er wel een gerijpte ondergrond aanwezig is tot ten minste 0,8 m-mv.

Voor het samenstellen van het bestand met deze hulpvariabele zijn de legendaeenheden van de bodemkaart geclusterd in bovengenoemde klassen. Dit bestand wordt daarom in het vervolg Bodemcluster-2014 genoemd.



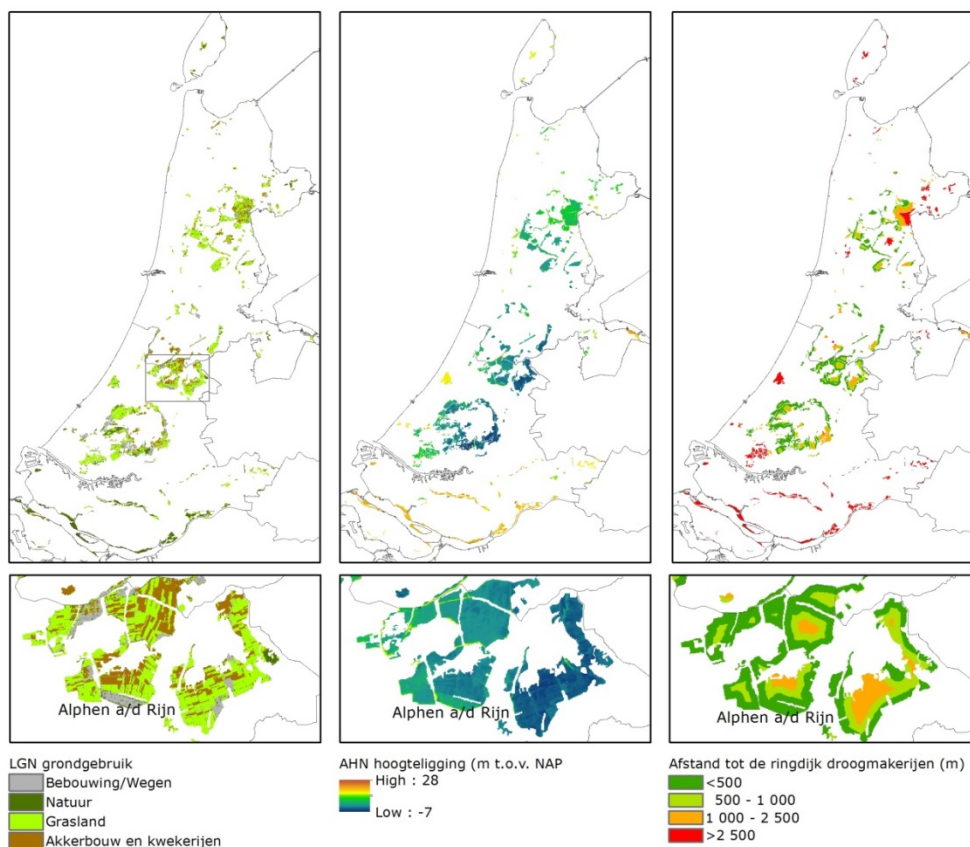
**Figuur 5** Weergave van het doelgebied, indeling in landschappen en de rijpingsdiepte op basis van de bodemkaart, schaal 1 : 50 000 en de beschikbare detailkarteringen.

### LGN-grondgebruik

Onderverdeling naar grondgebruik (Figuur 6). Er worden vier klassen onderscheiden:

1. Bebouwing en wegen.
2. Natuur.
3. Grasland.
4. Akkerbouw en kwekerijen.

De gegevens zijn afgeleid door meerdere versies van het Landelijke Gebruiksbestand Nederland (LGN, Hazeu *et al.* 2014) te combineren en daaruit het dominante gebruik te kiezen. De LGN-bestanden hebben een resolutie van 25x25 m<sup>2</sup> met een groot aantal grondgebruiksklassen op het gebied van natuurlijke vegetatie en landbouwgewassen. Deze klassen zijn samengevoegd tot de vier klassen, waarna voor de rastercellen van 50x50 m<sup>2</sup> uit de onderliggende cellen het dominante grondgebruik is gekozen.



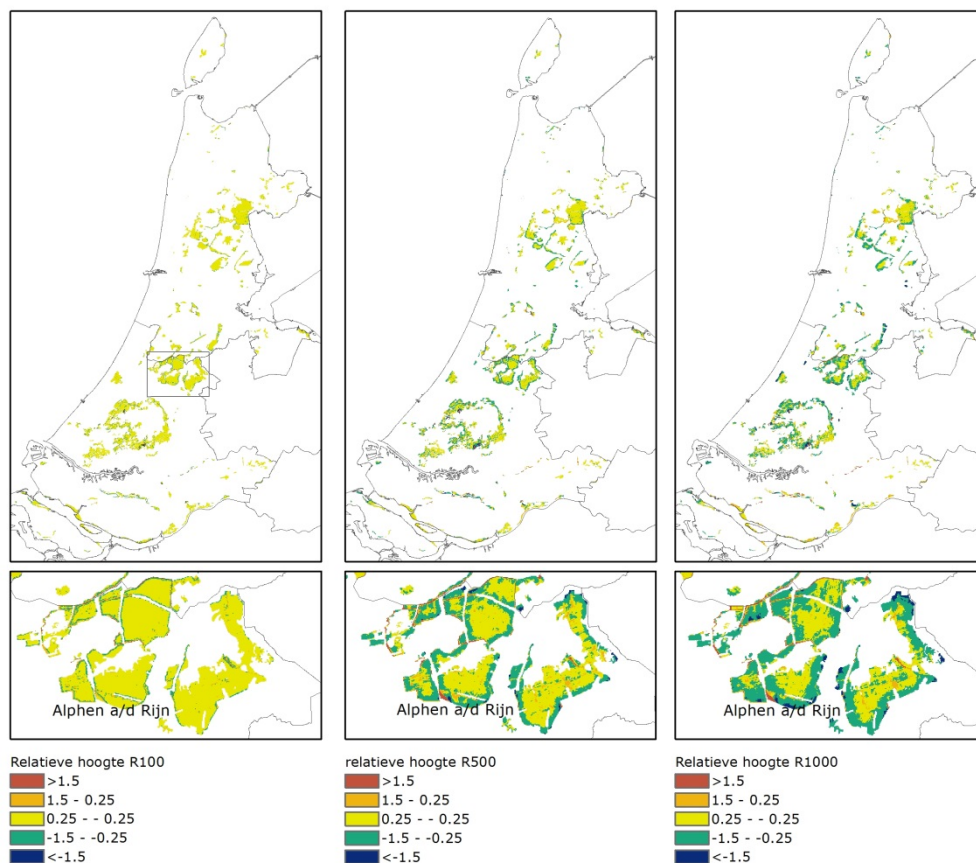
**Figuur 6** Weergave van de hulpbestanden voor de kenmerken grondgebruik, hoogteligging en afstand tot de buitengrens van de droogmakerijen, met detail van een fragment bij Alphen a/d Rijn.

### AHN

Dit bestand geeft de absolute hoogte in meters t.o.v. NAP (Figuur 6). Het is afgeleid van het Actueel Hoogtebestand Nederland versie 2 (ahn.nl, 2013). Het AHN2-bestand heeft een resolutie van 5x5 m<sup>2</sup> en is gebaseerd op (vlucht)gegevens uit 2008 in Zuid-Holland en 2010 en 2011 in Noord-Holland. Voor toepassing in dit project is voor de rastercellen van 50x50 m<sup>2</sup> de gemiddelde hoogte berekend uit de onderliggende 5x5 m<sup>2</sup>-cellen.

### Afstand tot de ringdijk van droogmakerijen

Dit bestand geeft voor de gebieden in de droogmakerijen de afstand tot de ringdijk (Figuur 6). De afstanden zijn in GIS berekend.



**Figuur 7** Weergave van de hulpbestanden met de relatieve hoogteligging met verschillende zoekstralen in meters (R100, R500, R1000), met detail van een fragment bij Alphen a/d Rijn.

### Relatieve hoogte

Hoogteligging ten opzichte van de nabije omgeving. Verschillen in bodemopbouw gaan vaak gepaard met verschil in hoogteligging. Vaak gaat het hierbij niet om de absolute hoogte, maar lagere of hogere delen ten opzichte van de omgeving, de zgn. relatieve hoogte. Deze relatieve hoogteligging is berekend voor elke rastercel, met verschillende zoekstralen (100, 250, 500, 750 en 1000 m). Hierbij wordt, uitgaande van AHN2, de gemiddelde hoogte voor de cellen in de zoekstraal berekend en dit gemiddelde wordt vervolgens van de absolute hoogte van de centraal gelegen cel afgetrokken. Dit levert voor de centraal gelegen cel de relatieve hoogte. Bij een positieve waarde ligt het gebied van de rastercel hoger dan de omgeving en bij een negatieve uitkomst ligt het gebied van de cel lager dan de omgeving. In Figuur 7 wordt een aantal voorbeelden gegeven.

### Buisdrainage

De aanwezigheid en diepteligging van buisdrainage in landbouwpercelen worden getoond in Figuur 8. Met buisdrainage wordt de ontwatering van de percelen beïnvloed. Naarmate de drains dieper liggen, is de ontwatering ook dieper. De gegevens hierover zijn afkomstig uit onderzoek van Massop *et al.* (2013). Daarvoor is bij de landbouwstellingen van 2010 een enquête uitgevoerd over de aanwezigheid van drainage op het bedrijf. Uit deze enquête blijkt dat er bij een groot deel van het doelgebied geen drainage aanwezig is. Aan deze gebieden is draandiepte 0 toegekend. Naast de diepteligging heeft drainafstand invloed op de ontwatering. Over drainafstanden is geen informatie beschikbaar.

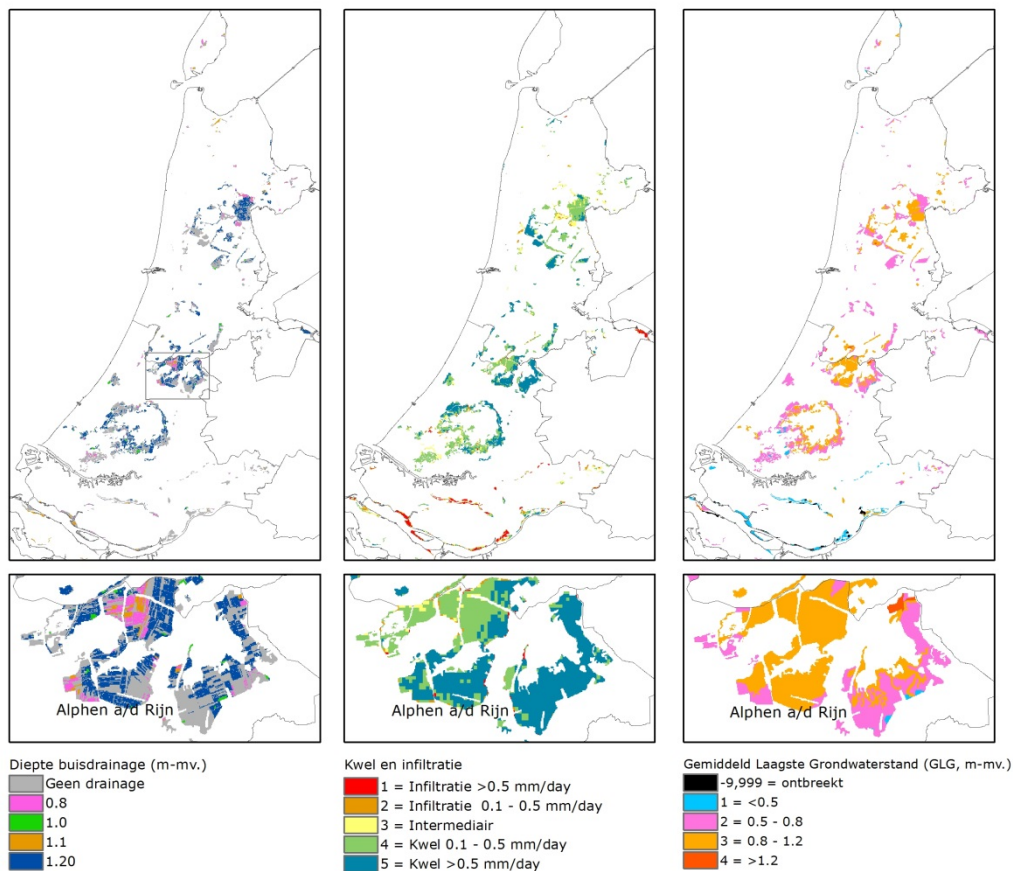
### Kwel en infiltratie

Kaart met de mate van kwel en infiltratie (Figuur 8). Bij kwel vindt door laterale aanvoer aanvulling van grondwater plaats. En bij infiltratie wordt het grondwater ondergronds juist afgevoerd. Bij infiltratie zakt de grondwaterstand in de zomer dieper weg dan bij kwelsituaties. De informatie is afgeleid uit berekeningen van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) <http://nhi.nu/nl/index.php/data/nhi-lhm/uitvoer/v302/kwel/>.



## Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG)

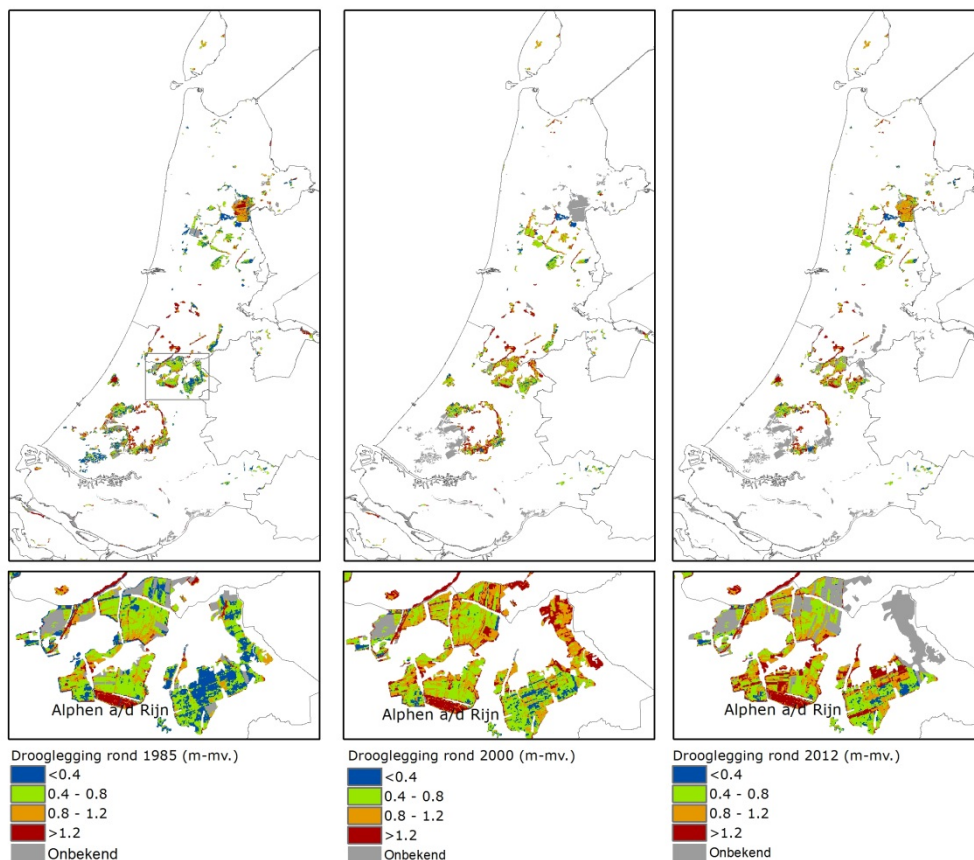
Doelgebied ingedeeld naar de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG, Figuur 8). Afhankelijk van neerslag en verdamping treden lage grondwaterstanden jaarlijks op in augustus en september aan het einde van het groeiseizoen. De GLG is afgeleid van de grondwatertrappen die deel uitmaken van het bestand van de Bodemkaart van Nederland versie 2006 en de gedetailleerde bodemkaarten.



**Figuur 8** Weergave van de hulpbestanden voor de kenmerken buisdrainage, kwel en infiltratie en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, met detail van een fragment bij Alphen a/d Rijn.

## Drooglegging (1985, 2000 en 2012)

Drooglegging is het verschil tussen maaiveldhoogte en het zomerslootpeil (Figuur 9). Er zijn verschillende bronnen geraadpleegd. Voor het bestand met zomerpeilen in 1985 is uitgegaan van het Waterstaatkundig Informatie Systeem (WIS) van Rijkswaterstaat (2001). De zomerpeilen in 2000 zijn ontleend aan het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium NHI (<http://nhi.nu/nl/>). En de zomerpeilen in 2012 zijn afkomstig uit de Polderpeilen kaart Holland. Voor de maaiveldhoogte is uitgegaan van de gegevens in AHN2. Geen enkele kaart geeft een gebiedsdekkend beeld. De informatie uit het WIS (situatie 1985) is het meest compleet en de informatie uit 2012 is het minst compleet. Uit de gezamenlijke bestanden is een compleet mozaïekbeeld samengesteld waarbij, uitgaande van het bestand uit 2012, de gebieden zonder informatie zijn opgevuld met gegevens uit het bestand van 2000 en daarna met gegevens uit het bestand van 1985. Voor de overgebleven gebieden is vervolgens de drooglegging ingevuld met gegevens over de gemiddelde drooglegging per GLG-klasse. Hiervoor is een overlay uitgevoerd van de droogleggingskaart 2012 met de GLG-kaart. Per GLG-klasse is de mediane drooglegging berekend. Deze mediane drooglegging is gebruikt om het mozaïekbestand te completeren.



**Figuur 9** Weergave van de hulpbestanden voor het kenmerk drooglegging in verschillende perioden, met detail van een fragment bij Alphen a/d Rijn.

## 2.2 Modelleren

De rijpingstoestand van de bodem is bepaald op een groot aantal boorlocaties in het doelgebied (paragraaf 2.1.2). Om de rijpingstoestand op tussenliggende locaties te verkrijgen, maken we gebruik van een model. We stellen een model op voor elk van de drie landschapstypen (droogmakerijen, buitendijkse gebieden en bovenland).

### 2.2.1 Exploratieve data-analyse

De exploratieve gegevensanalyse is erop gericht om inzicht te krijgen in de gegevens (aantal, verdeling, ruimtelijk beeld e.d.) en om eventuele fouten op te sporen. We kijken daarbij zowel naar de veldbepalingen als naar de gebruikte hulpinformatie.

## 2.2.2 Fitten van model

We willen een model opstellen dat op basis van de hulpinformatie (paragraaf 2.1.4) kan voorspellen of in het bodemprofiel binnen 0,8 m-mv niet-gerijpte klei voorkomt. Omdat de hulpinformatie overal in het studiegebied bekend is, kunnen we met het model de rijpingstoestand op elke locatie in het studiegebied voorspellen. In navolging van het project 'Veenactualisatie' (De Vries *et al.* 2014) fitten we de logistische functie:

$$p = \text{logit}^{-1}(a) = \frac{\exp(a)}{1 + \exp(a)}$$

waarin:

$$a = (b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i)$$

$\text{logit}(p) = \log(p/(1-p))$ ,  $b_i$  (voor  $i=0\dots k$ ) zijn regressiecoëfficiënten,  $x_i$  (voor  $i=1\dots k$ ) zijn  $k$  hulpvariabelen, en  $p$  is de kans op het vóórkomen van ongerijpte klei in de bodem ondieper dan 0,8 m-mv. Voor een Nederlandstalige inleiding in logistische regressieanalyse wordt verwezen naar Oude Voshaar (1995).

Bij het selecteren en fitten van het logistische regressiemodel gebruiken we alleen de gegevens uit de kalibratieset (paragraaf 2.1.2). De validatieset (paragraaf 2.1.3) laten we buiten beschouwing.

In paragraaf 2.1.4 is een groot aantal hulpvariabelen beschreven. Een deel van deze variabelen gebruiken we als hulpvariabele  $x_i$  in het logistische regressiemodel. Het heeft geen zin om alle variabelen op te nemen in het model. Dat kan namelijk leiden tot een gelegenhedsfit ('over-fitting'), met een beperkt bruikbaar model als gevolg. We selecteren daarom per landschapstype een beperkt aantal hulpvariabelen.

Voor het kiezen van een geschikte combinatie van hulpvariabelen maken we geen gebruik van automatische selectieprocedures. Deze kunnen namelijk leiden tot ongewenste resultaten. Dat komt doordat automatische selectieprocedures meestal sturen op een enkel selectie criterium, zoals het AIC (Akaike's An Information Criterion), terwijl meestal meerdere selectiecriteria van belang zijn.

Wij hanteren de volgende selectiecriteria:

1. **Verklaarbaarheid**: de relatie tussen de mate van rijping en de geselecteerde hulpvariabelen moet verklaarbaar zijn. Variabelen die leiden tot een goed model maar waarvan de achterliggende processen niet duidelijk zijn, zullen we niet opnemen in het model. We willen immers geen variabelen in het model waarvan de relatie met rijping op toeval kan berusten.
2. **Voorspellend vermogen**: de combinatie van hulpvariabelen moet leiden tot een logistisch model met een goed voorspellend vermogen. Om het voorspellend vermogen uit te drukken in een getal, definiëren we de volgende kostenfunctie (zie ook Canty & Ripley, 2016, manual 'cv.glm'):

$$c(y, \hat{y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(y, \hat{y}_i)$$

waarin indicatorfunctie  $I(y, \hat{y})$  gelijk is aan:

$$I(y, \hat{y}) = \begin{cases} 1 & \text{als } \text{abs}(y - \hat{y}) > 0.5 \\ 0 & \text{anders} \end{cases}$$

In de kostenfunctie is  $y$  de gemeten rijpingstoestand ( $y=1$  staat voor ongerijpt,  $y=0$  gerijpt), en  $\hat{y}$  de voorspelde rijpingstoestand. De kostenfunctie neemt waarden aan tussen 0 (goed model) en 1 (slecht model). Voor het berekenen van de kostenfunctie maken we gebruik van '10-fold-kruisvalidatie' (Canty & Ripley, 2016). Daarbij worden de meetgegevens opgedeeld in tien

---

ongeveer even grote delen. Vervolgens worden modelvoorspellingen gedaan voor elk van de tien delen, nadat gefit is op de overige negen delen. Daarna wordt de kostenfunctie berekend.

3. *significantie*: de regressiecoëfficiënten ( $b_i$  voor  $i=0\dots k$ ) moeten significant verschillen van nul.
4. *eenvoud*: als op grond van bovenstaande criteria geen keuze kan worden gemaakt, kiezen we voor het eenvoudigste model. Dat wil zeggen het model met de minste hulpvariabelen  $x_i$ .

In totaal beschikken we over 20 variabelen waaruit we een beperkte set willen kiezen die aan bovenstaande criteria voldoet. Om op voorhand een idee te krijgen welke combinaties van variabelen potentieel interessant zijn, voeren we '10-fold-kruisvalidatie' uit voor een groot aantal combinaties van hulpvariabelen. Het totale aantal mogelijke combinaties die we kunnen construeren, is zeer groot (1 048 575 om precies te zijn). Het is praktisch ondoenlijk en tevens weinig zinvol om alle combinaties te bekijken. Omdat we een eenvoudig model willen, beperken we ons tot alle combinaties van hooguit vijf variabelen. Ook willen we geen model waarin variabelen gecorreleerd zijn, zoals GLG (cm) en GLG-klassen, of kwel (mm/d) en kwelklassen. Van de resulterende modellen selecteren we slechts de 100 beste modellen per landschapstype. Dat wil zeggen, modellen die leiden tot de kleinste kruisvalidatiefout (= kleinste waarde van de kostenfunctie).

### 2.2.3 Validatie

De validatieset in paragraaf 2.1.3 hebben we niet gebruikt voor het selecteren en fitten van de modellen (paragraaf 2.2.2). De validatieset zullen we pas gebruiken als we de definitieve modellen gaan beoordelen.

### 2.2.4 Creëren ruimtelijk beeld

De definitieve modellen voor de drie landschappen (droogmakerij, buitendijks en bovenland) worden toegepast op alle locaties waar hulpvariabelen beschikbaar zijn. Het resultaat is de '*kansenkaart van ongerijpte klei*', een rasterkaart (met celgrootte van 50x50 m<sup>2</sup>) met de ruimtelijke verbreiding van de kans op ongerijpte kleilagen binnen 0,8 m-mv. Bij een kans van  $P=1$  is de kans maximaal dat er ongerijpte zavel of klei aanwezig is. En bij een kans van  $P=0$  is de kans nihil dat er ongerijpte zavel of klei aanwezig is.

## 2.3 Bodemkaart updaten

Deze paragraaf beschrijft de laatste stap bij de actualisatie van de bodemkaart, namelijk het daadwerkelijk actualiseren van bodemtypen in Noord- en Zuid-Holland, met slappe ongerijpte kleilagen binnen 0,8 m-mv. Hierbij worden verschillende bronnen gebruikt:

- De 'kansenkaart van ongerijpte klei'; de kansen worden ingedeeld in drie klassen, waarbij de 'kansenklassenkaart van ongerijpte klei' ontstaat:
  1. Ongერიpt:  $P_{\text{ongerijpt}} > 0.6$
  2. Twijfel:  $0.4 < P_{\text{ongerijpt}} \leq 0.6$
  3. Gerijpt:  $P_{\text{ongerijpt}} \leq 0.4$

De klasse twijfel ( $0.4 < P_{\text{ongerijpt}} \leq 0.6$ ) is een tussenklasse waarbij de kans op rijping onzeker is.

- De grondwatertrappenkaart, schaal 1 : 50 000 (Gt-kaart). In het verleden was de Gt-kaart onderdeel van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000. Bij de actualisatieactiviteiten in de periode 2010–2014 is een separate Gt-kaart ontstaan en een separaat bestand met de bodemkaart (versie 2014).
- De vergravengrondenkaart. Deze kaart lokaliseert de gebieden waar de oorspronkelijke bodemopbouw verstoord is als gevolg van diepe grondbewerking.
- Een rasterbestand met alle digitale detailbodemkaarten binnen het doelgebied met twee klassen: gerijpt en ongerijpt. De klasse twijfel is bij de gedetailleerde bodemkaarten niet onderscheiden. Dit rasterbestand van de gedetailleerde bodemkaarten is niet gebiedsdekkend en kan alleen daar worden gebruikt waar deze informatie aanwezig is (Figuur 5).
- De boommonsterbeschrijvingen binnen het doelgebied.

---

Bij de actualisatie wordt zo veel mogelijk per kaartvlak (polygoon) van de bodemkaart beslist of er veranderingen zijn. In eerste instantie wordt voor elk kaartvlak – met de gegevens uit de Kansensklassenkaart Ongerijpte Klei en de gedetailleerde bodemkaarten – de verdeling van de rijpingsklassen bepaald. Vervolgens worden voor de polygoonen met een hoog percentage gerijpte gronden aan de hand van een schema de bodemcodes aangepast. Dit updateproces wordt in de volgende paragrafen uitgebreider beschreven.

### 2.3.1 Vaststellen rijping per polygoon van de bodemkaart

Binnen het te actualiseren gebied bepalen we per bodemkaartvlak (polygoon) of de van oorsprong ongerijpte ondergrond inmiddels gerijpt is. Zoals hierboven genoemd, gebruiken we daarvoor de Kansensklassenkaart Ongerijpte Klei en – indien aanwezig – het raster van de detailbodemkaarten. In die gevallen waar informatie uit de detailbodemkaarten aanwezig is en de rastercelwaarde daarvan gelijk is aan gerijpt, krijgt deze informatie voorrang boven de Kansensklassenkaart.

Polygoonen met over de gehele oppervlakte dezelfde rastercelwaarde kunnen direct worden getypeerd. Polygoonen met alleen de rastercelwaarde twijfel beschouwen we als ongerijpt. Bij polygoonen met verschillende rastercelwaarden worden de volgende regels toegepast:

- Rastercelwaarden ongerijpt en twijfel binnen één polygoon → ondergrond blijft ongerijpt voor gehele polygoon.
- Rastercelwaarden gerijpt (meer dan 25% van de polygoonoppervlakte) en twijfel binnen één polygoon → ondergrond wordt gerijpt voor gehele polygoon.
- Rastercelwaarden ongerijpt en gerijpt (al dan niet met twijfel) binnen één polygoon → indien mogelijk polygoon opsplijten over Gt-lijn of over vergravingslijn. Is dit niet mogelijk, dan wordt de beslissing genomen door de oppervlakteverdeling van de rastercelwaarden te combineren met de boorpuntinformatie (gebeurt vooral visueel). Bij twijfel blijft de ondergrond ongerijpt voor gehele polygoon.

### 2.3.2 Aanpassen van bodemcodes

Van elk polygoon in het doelgebied is nu bekend of de ondergrond ongerijpt is gebleven of dat de ondergrond inmiddels gerijpt is. De bodemvlakken die nog steeds ongerijpt zijn, laten we verder ongemoeid. De bodemvlakken die inmiddels gerijpt zijn, moeten worden aangepast. Daarvoor wordt een vertaaltabel opgesteld, met daarin de unieke codes van bodemtypen met ongerijpte lagen binnen 0,8 m-mv en de vertaling naar aanverwante bodemtypen met een gerijpte ondergrond. Op de bodemkaart komen kaartvlakken voor met enkelvoudige legenda-eenheden, hetgeen wil zeggen dat binnen het kaartvlak één legenda-eenheid voorkomt (bijv. pMo50) en er zijn kaartvlakken met samengestelde legenda-eenheden, kaartvlakken met een combinatie van maximaal drie legenda-eenheden (bijv. Wo/pMo50). In het GIS-bestand van de bodemkaart is dit vastgelegd in de attributen BODEM1, BODEM2 en BODEM3. De Tabel in Bijlage 2 bevat een overzicht van de unieke codes van de eenheden die onderdeel uitmaken van de actualisatie (BODEM1, BODEM2 en BODEM3) en de vertaling naar eenheden met een gerijpte ondergrond. Bij sommige bodemcodes zijn meerdere vertalingen mogelijk, dit is in de Bijlage te zien aan het woordje 'of'.

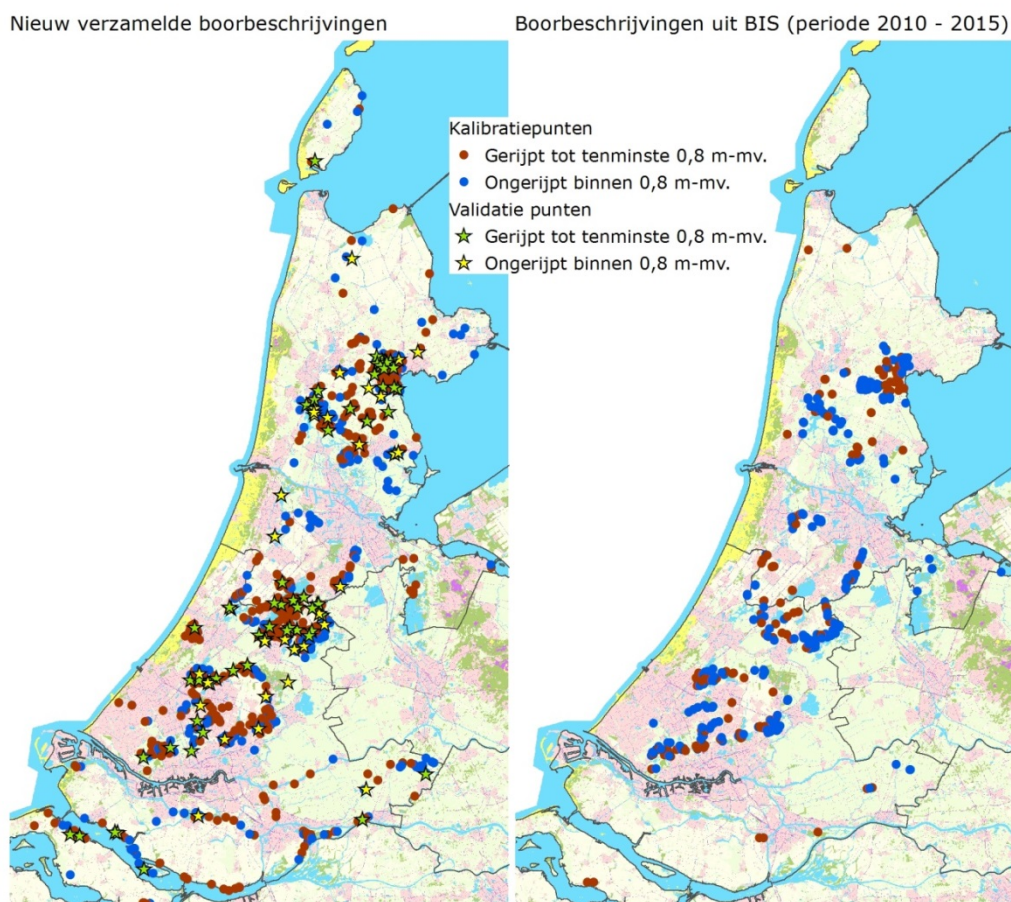
Er zit een verschil in de opbouw van de bodemcode voor bodemtypen met een ongerijpte ondergrond en bodemtypen met een gerijpte ondergrond. Bij bodemvlakken met een ongerijpte ondergrond wordt geen profielverloop onderscheiden. Bij bodemvlakken met een minerale eerdlaag en een ongerijpte ondergrond wordt geen kalkverloop onderscheiden. Wanneer deze gronden rijpen, zijn volgens de legenda van de bodemkaart in de bodemcode het profielverloop en het kalkverloop verplicht. Voor de toewijzing van profielverloop en kalkverloop zal de informatie van inliggende boorpunten en/of aangrenzende bodemvlakken van de bodemkaart worden gebruikt.

De niet-gerijpte minerale gronden (MO... en RO...; oppervlakte ca. 2 200 ha), ook wel initiële gronden genoemd, zijn gronden waarbij niet alleen de ondergrond ongerijpt is, maar ook (een deel van) de bovengrond. Via de 'kansenskaart van ongerijpte klei', en dus ook per polygoon, kunnen gronden met deze bodemcodes de klasse gerijpt krijgen. Wanneer dit het geval is, worden ze niet vertaald naar gerijpte gronden, maar naar gronden met een ongerijpte ondergrond (MO.. wordt Mo..).

# 3 Resultaten

## 3.1 Boormonsterbeschrijvingen

In totaal zijn er tijdens de veldwerkperiode maart–september 2016 780 boormonsterbeschrijvingen opgesteld. Vooraf waren er door middel van een steekproef 700 locaties geloot voor de kalibratiepunten. Op 13 locaties was het niet mogelijk om een boring uit te voeren, omdat de locatie in de bebouwde kom lag of omdat er geen toestemming werd verkregen en er ook geen alternatieve locatie was. Van de 100 gelote locaties voor de validatie set zijn 7 locaties afgefallen wegens het niet verkrijgen van toestemming en ligging in bebouwd gebied of water. Uit BIS zijn boormonsterbeschrijvingen geselecteerd uit de periode 2010–2015. Dit leverde 415 boormonsterbeschrijvingen op (Figuur 10).



**Figuur 10** Ligging van de nieuw verzamelde kalibratie- en validatieboringen (links) en van de beschikbare boormonsterbeschrijvingen in BIS (rechts), met een onderverdeling naar de rijpingstoestand van de lagen ondieper dan 0,8 m-mv.

In de Figuur 10 zijn de boringen ingedeeld naar de rijpingstoestand van de lagen binnen 0,8 m-mv. Van de nieuw verzamelde kalibratie- en validatieboringen komt bij respectievelijk 34 en 36% van de boringen niet-gerijpt materiaal binnen 0,8 m-mv voor. Bij de boormonsterbeschrijvingen uit BIS bedraagt het percentage boringen met niet-gerijpt materiaal binnen 0,8 m-mv 65%. Tabel 6 geeft een overzicht van de nieuw verzamelde en de BIS-boringen, onderverdeeld naar het doel (kalibratie of validatie) en de rijpingstoestand van de kleilagen binnen 0,8 m-mv.

**Tabel 6** De kalibratie- en validatieboringen onderverdeeld naar de rijpingstoestand van de kleilagen binnen 0,8 m-mv en de bron (S: steekproefpunten 2016 en B: BIS boringen 2010–2015).

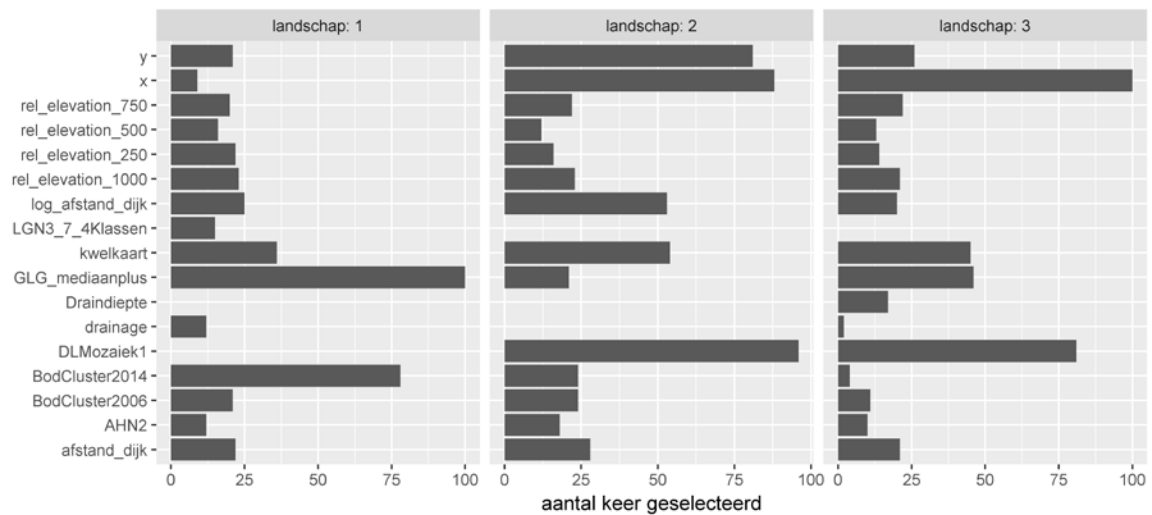
Bodemtype	Bron	Kalibratieboringen			Validatieboringen		
		Aantal	% Gerijpt	% Niet gerijpt	Aantal	% Gerijpt	% Niet gerijpt
Wo	S + B	502	32	68			
	S	208	42	58	31	45	55
	B	294	25	75			
Mo	S + B	82	74	26			
	S	76	74	26	5	60	40
	B	6	83	17			
pMo	S + B	461	76	24			
	S	347	80	20	52	75	25
	B	114	63	37			
MO	S	43	47	53	4	50	50
Ro	S + B	11	55	45			
	S	10	60	40	1	100	
	B	1		100			
RO	S	2	100				

De Tabel toont dat de rijpingstoestand per bodemtype verschilt. Bij de nesvaaggronden (Mo) en de tochteerdgronden (pMo) is bij meer dan 70% van de boringen gerijpte klei tot ten minste 0,8 m-mv aangetroffen. Bij de plaseerdgronden (Wo) overheersen de niet-gerijpte ondergronden. Bij dit bodemtype is er een opvallend verschil tussen de recent verzamelde boringen en de boringen afkomstig uit BIS. Bij de BIS-boringen is het percentage met een niet-gerijpte ondergrond veel hoger dan bij de nieuw verzamelde gegevens. Voor een deel is dit te verklaren door de geconcentreerde ligging van de boringen uit 2011 in polder Mijzen. Het kaartfragment van deze polder is toen geactualiseerd. Bij de 63 boringen binnen het kaartvlak met bodemtype Wo komt een niet-gerijpte ondergrond voor.

Een deel van de buitendijks gelegen gebieden, zoals de Biesbosch, is moeilijke toegankelijk vanwege de begroeiing met struiken, bramen, hoge brandnetels en riet. De boringen konden daardoor niet altijd op de van tevoren gelote locaties worden uitgevoerd. Vanwege de slechte toegankelijkheid zijn er 7 validatiepunten vervallen.

### 3.2 Ruimtelijke voorspelling aanwezigheid van slappe klei

Figuur 11 geeft voor elk landschapstype aan welke hulpvariabelen van belang zijn bij het voorspellen van de kans op ongerijpte kleilagen binnen 0,8 m-mv. Deze Figuur is geconstrueerd op basis van de 100 beste modellen zoals bepaald met '10-fold-kruisvalidatie' (paragraaf 2.2.2). Zo komt variabele GLG\_mediaanplus bij de droogmakerijen in alle modellen voor. De gemiddeld laagste grondwaterstand is dus een belangrijke verklarende variabele. Dit is heel goed te begrijpen doordat bij een diepere grondwaterstand verwacht mag worden dat de rijping wordt bevorderd.



**Figuur 11** Aantal keren dat een variabele per landschapstype bij de 100 beste modellen zit (landschap 1: droogmakerijen, landschap 2: buitendijkse gebieden en landschap 3: bovenland).

Op basis van Figuur 11 en de selectiecriteria genoemd in paragraaf 2.2.2 hebben we per landschapstype een model geselecteerd.

### 3.2.1 Droogmakerijen

We zien dat voor de droogmakerijen de GLG (GLG\_mediaanplus) en de bodemkaart (BodCluster2014) belangrijke hulpvariabelen zijn. Deze hulpvariabelen worden relatief vaak geselecteerd (criterium 2).

Het bijbehorende model luidt:

$$\text{logit}(p) = 5.47 - 0.0604 * \text{GLG\_mediaanplus} - 1.12 * \text{BodCluster2014\_2}$$

De kruisvalidatiefout bedraagt 0.23 (paragraaf 2.2.2). De regressiecoëfficiënten verschillen significant van nul (criterium 3, significantie). Uit de tekens van de regressiecoëfficiënten blijkt dat de kans op ongerijpte klei binnen 0,8 m toeneemt als het bodemcluster gelijk is aan 1 (plaseerdgronden Wo en deels de niet-gerijpte kleigronden (MO en RO)) en de GLG ondieper ligt. Dat is conform de verwachting (criterium 1, verklaarbaarheid).

### 3.2.2 Buitendijkse gebieden

Kijken we naar Figuur 11, dan blijkt dat voor de buitendijkse gebieden de geografische coördinaten (x, y) en de drooglegging (DLMozaiek1) van belang zijn. Het voorspellend vermogen van dit model is echter beperkt (criterium 2, voorspellend vermogen) en bovendien is het model lastig te verklaren (criterium 1).

Daarom hebben we ook andere hulpvariabelen geprobeerd (met bodem, (relatieve) hoogteligging, afstand tot de dijk). De kruisvalidatiefout van die modellen was relatief hoog. Bovendien verschilden niet alle regressiecoëfficiënten significant van nul (criterium 3). We hebben daarom besloten om voor dit landschapstype geen gebruik te maken van logistische regressie. In plaats daarvan maken we gebruik van een eenvoudige ruimtelijke interpolatiemethode (inverse squared distance weighting, Isaaks & Srivastava, 1989) om een kaart te maken.

### 3.2.3 Bovenland

Op basis van Figuur 11 hebben we modellen uitgetoetst op basis van drooglegging (DLmozaiek), de GLG (GLG\_mediaanplus) en kwel (kwelkaart). Een eenvoudig model (criterium 4) met alleen kwel (kwelkaart) als hulpvariabele leidt tot significante regressiecoëfficiënten (criterium 3) en een lage



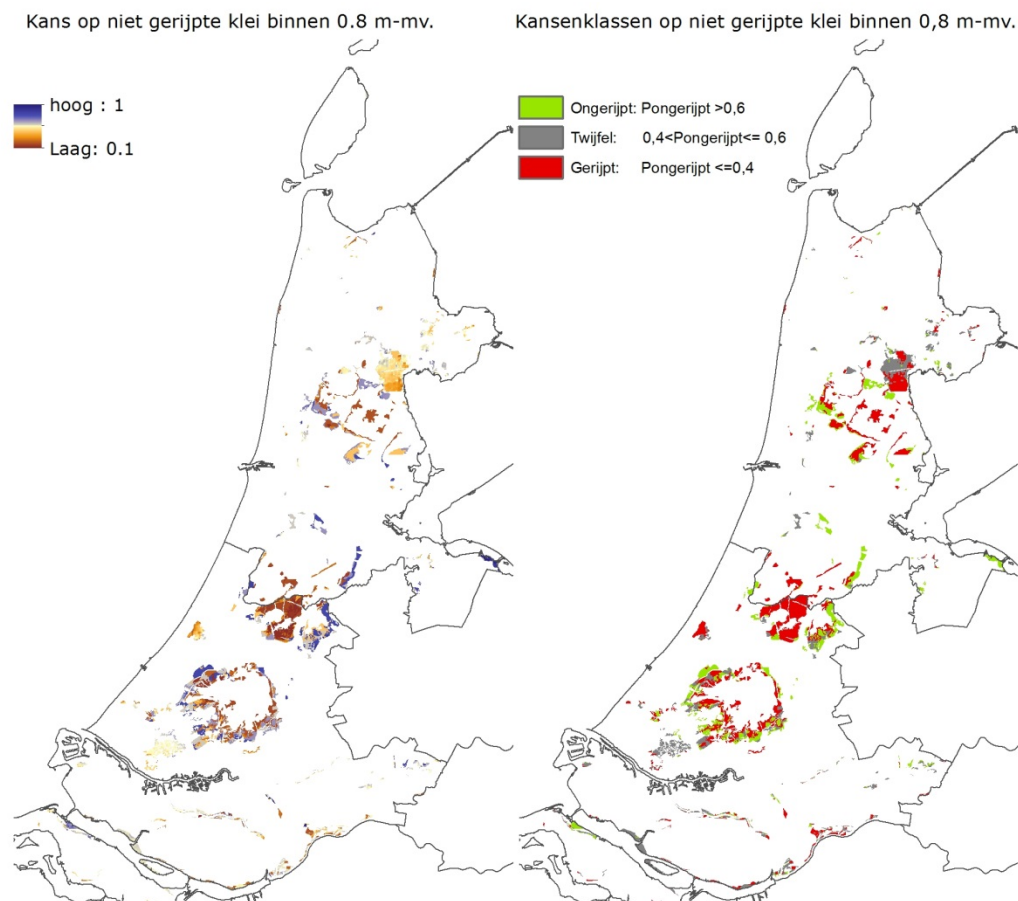
validatiefout (0.27, criterium 2). Met dit model neemt de kans op ongerijpte klei binnen 0,8 m toe als de kwel toeneemt. Dit is verklaarbaar (criterium 1). Dit model is echter niet toepasbaar voor alle bovenlandgebieden, omdat we niet overal over kwelinformatie beschikken. Een alternatief model dat wel overal kan worden toegepast, is:

$$\text{logit}(p) = 1.1484 - 2.1002 * \text{DLMozaiek1}$$

Volgens dit model neemt de kans op ongerijpte klei binnen 0,80 m toe naarmate de drooglegging afneemt. Ook dit model is dus verklaarbaar (criterium 1) en heeft significante regressiecoëfficiënten (criterium 3). Dit model heeft een vergelijkbare validatiefout (0.28, criterium 2).

### 3.2.4 De kaart met kans op niet-gerijpte klei binnen 0,8 m-mv

De ruimtelijke voorspellingen resulteerden binnen het doelgebied in een gebiedsdekkende rasterkaart (celgrootte van 50x50 m<sup>2</sup>) met de kans (P) op niet-gerijpte klei binnen 0,8 m-mv, de 'Kansenkaart van ongerijpte klei'. Voor de verdere verwerking zijn de kansen ingedeeld in drie klassen, hetgeen resulteert in de 'Kansenklassenkaart van ongerijpte klei' (Figuur 12).



**Figuur 12** Kans op het voorkomen van niet-gerijpte klei binnen 0,8 m-mv met links in continue waarden ('Kansenkaart van ongerijpte klei') en rechts in klassen ('Kansenklassenkaart van ongerijpte klei').

Bij ca. 26% van de oppervlakte wordt een niet-gerijpte ondergrond voorspeld en bij ca. 46% een gerijpte. Voor 27% van de oppervlakte (klasse twijfel) doet het model geen duidelijke uitspraak. Het betreft vooral gebieden in de landschapseenheden uiterwaard en bovenland waar uit de gegevens niet duidelijk is op te maken of de ondergrond inmiddels gerijpt is of niet.

### 3.3 Geactualiseerde bodemkaart

Uit de combinatie van de polygonen van de bodemkaart en de kansenklassenkaart OngerijpteKlei is per polygoon de verdeling van de kansenklassen berekend. Met deze verdeling is aan de hand van de richtlijnen uit paragraaf 2.3.1 voor elk polygoon bepaald of er nog gronden voorkomen met ongerijpte lagen binnen 0,8 m-mv. De polygonen zijn geclassificeerd als gerijpt of ongerijpt. Bij de polygonen die als gerijpt zijn aangemerkt, hebben we de bodemcode aangepast. Dit geldt voor 57% van het totale areaal. Bij de aanpassingen is uitgegaan van de sleutel uit Bijlage 1. Voor de codes waarvoor meerdere opties zijn, is gebruikgemaakt van aanvullende informatie, zoals de inliggende boorbeschrijvingen en de gegevens van de omliggende kaartvlakken. De bodemvlakken met nog steeds een ongerijpte ondergrond zijn ongemoeid gelaten.

Tabel 6 geeft inzicht in de veranderingen. In deze Tabel is binnen de drie landschappen een onderverdeling gemaakt naar kleigronden (Mo, pMo, Ro en MO) en moerige gronden (Wo). Bij de gronden in het bovenland is verhoudingsgewijs het grootste areaal nu gerijpt en bij de buitendijkse gronden komen vooral nog bodemtypen voor met een niet-gerijpte ondergrond binnen 0,8 m-mv. Binnen de droogmakerijen is bij de meeste moerige gronden (83%) weinig verandering geconstateerd, er komt nog steeds een niet-gerijpte slappe kleilaag binnen 0,8 m-mv voor, terwijl bij de kleigronden in dit landschapstype nu bij meer dan 90% de ondergrond binnen 0,8 m-mv gerijpt is. Dit verschil tussen de kleigronden en de moerige gronden wordt vooral toegeschreven aan een verschil in hydrologie: de moerige gronden komen vooral langs de randen van de droogmakerijen voor, waar onder invloed van kwel de grondwaterstanden in de zomer op peil blijven, waardoor het rijpingsproces zich niet voortzet naar diepere lagen. Bij de meer centraal in de droogmakerijen gelegen kleigronden is de kweldruk geringer en de GLG dieper, waardoor meer aeratie en rijping kan optreden.

**Tabel 7** Oppervlakteoverzicht met per landschapstype en de arealen kleigronden (Mo, pMo, Ro en MO) en moerige gronden (Wo) met een onderverdeling naar rijpingstoestand. Bij de gebieden met gerijpte gronden is de bodemcode aangepast.

Landschap en oorspronkelijk profieltype	Totale oppervlakte (ha)	Areaal in% van totaal	
		Niet gerijpt	Gerijpt
Droogmakerijen	26 359	42.6	57.4
Kleigrond	13 424	3.6	96.4
Moerige grond	12 935	83.1	16.9
Buitendijks	4 266	61.8	38.2
Kleigrond	4 248	61.7	38.3
Moerige grond	18	100	0.0
Bovenland e.d.	11 451	36.1	63.9
Kleigrond	7 201	31.2	68.8
Moerige grond	4 251	44.3	55.7
Totaal oppervlakte (ha)	42 077	42.8	57.2

### 3.4 Rijping dieper dan 0,8 m-mv

In dit project is vooral gefocust op de rijpingstoestand van kleilagen binnen 0,8 m-mv. Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat bij meer dan de helft van het onderzochte gebied binnen 0,8 m-mv geen ongerijpt materiaal meer voorkomt. Dat wil nog niet zeggen dat bij dieper liggende lagen het ongerijpte materiaal ook ontbreekt. Om daar meer duidelijkheid over te verschaffen, is aan de hand van de boorbeschrijvingen de rijpingstoestand van de lagen dieper dan 0,8 m-mv geïnventariseerd. Daarvoor zijn per landschapstype de boorbeschrijvingen geselecteerd waarbij tot 0,8 m-mv gerijpt materiaal aanwezig is.

**Tabel 8** Rijpingstoestand van de lagen dieper dan 0,8 m-mv. bij boringen waarbij de tot 0,8 m-mv. gerijpt materiaal voorkomt.

Landschapstype	Totaal aantal boringen met gerijpt materiaal <0,8 m-mv.	% boringen ingedeeld naar de aard van de ondergrond >0,8 mv.		
		Ongerijpte klei	Gerijpte klei	Zand
Droogmakerijen	424	42	37	20
Buitendijks	44	7	73	20
Bovenland	187	22	57	21

Uit Tabel 8 blijkt dat in alle landschappen bij ca. 20% van de boringen dieper dan 0,8 m-mv. zand is aangetroffen. Verder is uit de Tabel op te maken dat in de droogmakerijen bij veel boringen (42%) dieper dan 0,8 m-mv nog wel ongerijpte klei voorkomt. Bij de boringen in de het bovenland en de buitendijkse gebieden is dit veel minder.

### 3.5 Validatie

In paragraaf 2.1.3 staat beschreven hoe met een gestratificeerde kanssteekproef een aparte dataset is verzameld voor validatie. Deze validatieset hebben we gebruikt om de modelvoorspellingen (paragraaf 3.2) en de geactualiseerde bodemkaart (paragraaf 3.3) op onafhankelijke wijze te toetsen. Dat is mogelijk, omdat de validatieset niet is gebruikt bij de modellering (zie paragraaf 2.2.3). Een kanssteekproef maakt het tevens mogelijk om op objectieve wijze te valideren. Voor een kanssteekproef hoeven immers geen (model)aannames te worden gedaan. De Gruijter *et al.* (2006, p.92) beschrijven hoe een gestratificeerde kanssteekproef op eenvoudige wijze kan worden verwerkt.

Tijdens het veldwerk bleek dat niet elke waarnemingslocatie zich in het correcte stratum bevond. Dat komt doordat de relatief grove bodemkaart 1:50 000 is gebruikt voor het afleiden van de stratificatie. De stratificatie en de bijbehorende kaarten zijn daarom, indien nodig, tijdens het veldwerk gecorrigeerd. Hoewel de kaart hierdoor verbetert, wordt de verwerking van de validatieresultaten lastiger. We kunnen nu niet meer de verwerkingsmethode uit De Gruijter *et al.* (2006, p.92) gebruiken, maar moeten onze toevlucht zoeken tot een zogenaamde 'ratioschatter voor het schatten van domeingemiddelden'. In ons geval is een domein niets anders dan een landschapstype waarvan de grenzen in het veld zijn gecorrigeerd.

Minder technisch gezegd: we gaan de gemiddelde fout berekenen per landschapstype op basis van de oorspronkelijke steekproefopzet, aangevuld met de gecorrigeerde grenzen van de landschapstypen. Voor details wordt verwezen naar Brus (2017).

We voeren twee validaties uit:

1. Validatie waarbij we kijken naar het verschil tussen de berekende en waargenomen rijpingstoestand op validatiepunten.
2. Validatie waarbij we kijken naar het verschil tussen de berekende rijpingstoestand en de rijpingstoestand volgens de geactualiseerde bodemkaart (paragraaf 3.3).

De eerste validatie geeft aan hoe goed de gebruikte modellen zijn. De tweede validatie geeft aan hoe goed de geactualiseerde bodemkaart is, waarbij zowel de modelresultaten, ruimtelijke patronen en expertkennis zijn gebruikt.

Voor het valideren maken we gebruik van hetzelfde criterium dat we ook hebben gebruikt bij het afleiden van de modellen, d.w.z. de kostenfunctie zoals beschreven in paragraaf 2.2.2. Dit criterium hebben we toegepast voor elk landschapstype. De resultaten staan weergegeven in Tabel 9.

**Tabel 9** Validatieresultaten voor de drie landschapstypen voor zowel de rijpingsklasse op de validatielocaties (midden) als de geactualiseerde bodemkaart (rechts). De validatiefout is uitgedrukt met de kostenfunctie van paragraaf 2.2.2 (fout varieert van 0 (foutloos) tot en met 1 (alles fout)). Tussen haakjes (middelste en rechterkolom) staat de bijbehorende standaardfout.

Landschapstype	Validatielocaties	Geactualiseerde bodemkaart
Droogmakerijen	0.281 (0.06)	0.246 (0.06)
Buitendijks (uiterwaarden, e.d.)	0.400 (0.24)	0.400 (0.24)
Bovenland, e.d.	0.232 (0.08)	0.116 (0.06)

Zoals verwacht, is de betrouwbaarheid van het model en de kaart relatief laag voor het buitendijkse gebied. De kans dat hier de verkeerde rijpingsklasse wordt weergegeven (misclassificatie) is 40%. De rijpingsklasse voor landschapstypen 'droogmakerijen' en 'overig' worden beter geschat. De misclassificatie is hier respectievelijk 28% en 23%. Voor deze landschapstypen zijn de validatieresultaten iets beter voor de actualiseerde bodemkaart dan voor de validatielocaties. Dat is ook te verwachten, omdat bij de actualisatie van de bodemkaart niet alleen gebruik is gemaakt van de modelresultaten, maar ook van ruimtelijke patrooninformatie en expertkennis (zie paragraaf 2.3).

---

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek heeft betrekking op gebieden in Noord- en Zuid-Holland waar volgens de eerste uitgave van de bodemkaart bodemtypen voorkomen met ongerijpte klei binnen 0,8 m-mv. Gezamenlijk hebben deze kaartfragmenten een oppervlakte van 42.077 ha. Het ongerijpte materiaal is slap en plastisch en heeft weinig draagkracht. Een belangrijke vraag bij dit onderzoek was of er bij deze gronden nu ook nog ongerijpte kleilagen binnen 0,8 m-mv aanwezig zijn. Om dit te onderzoeken, is op 780 locaties een boormonsterbeschrijving opgesteld met o.a. informatie over de rijpingstoestand van de kleilagen. Met deze gegevens en informatie over de terreingesteldheid is met behulp van Digitale Bodemkartering gebiedsdekkend de actuele verbreiding van ongerijpte klei voorspeld. Die voorspelling is vervolgens gebruikt voor de aanpassingen op de bodemkaart. De belangrijkste conclusies zijn:

- Bij 43% van de oppervlakte komt nu binnen 0,8 m-mv nog ongerijpte klei voor. Dat wil zeggen dat bij 57% van de oppervlakte de veranderingen dusdanig zijn dat de gronden nu tot een ander bodemtype gerekend moeten worden.
- De mate van veranderingen verschilt per landschapstype waarin de gronden voorkomen en er zijn ook verschillen tussen bodemtypen. Bij de buitendijkse gebieden zijn de minste veranderingen opgetreden (34%) en bij de 'bovenlandgronden' de meeste (68%). Binnen de droogmakerijen zijn de veranderingen bij moerige gronden, gronden met een veenlaag binnen 0,4 m-mv (plaseerdgronden, Wo), beperkt gebleven tot 16% van het areaal, terwijl bij de kleigronden (pMo en Mo) veranderingen zijn bij nagenoeg de totale oppervlakte (96%).
- Voor de gronden in de droogmakerijen en de bovenlandgebieden kon een betrouwbaar logistisch regressiemodel worden afgeleid om de verbreiding van ongerijpte lagen te voorspellen. Voor de uiterwaardgebieden is dit niet gelukt. Voor deze gebieden is de verbreiding voorspeld met een eenvoudige ruimtelijke interpolatie.
- Uit de modellering blijkt dat de diepte van de rijping beïnvloed wordt door de hydrologische kenmerken als GLG en drooglegging. Bij diepere GLG of drooglegging neemt de kans op ongerijpt materiaal binnen 0,8 m-mv af. In de droogmakerijen speelt ook het bodemtype een rol zoals uit een vorige conclusie al is gebleken.
- Uit de boorbeschrijvingen van bodemprofielen waarbij de lagen binnen 0,8 m-mv inmiddels gerijpt zijn, blijkt dat er dieper nog wel ongerijpte klei kan voorkomen. Dit geldt voor 34% van de boringen. Ook hier speelt de landschappelijke ligging een rol. In de droogmakerijen komt bij 43% van deze boringen dieper dan 0,8 m-mv ongerijpte klei voor en bij de boringen in de buitendijkse gebieden bij slechts 7%.

Om voor de buitendijkse gebieden betere voorspellingen mogelijk te maken, zou de hulpinformatie voor deze gebieden verbeterd moeten worden. Zo zou er een droogleggingskaart vervaardigd kunnen worden, gebaseerd op de maaiveldhoogte en de gemiddelde waterhoogte in het riviervak.

---

# Literatuur

- Bakker, H. de en J. Schelling, bewerkt door D.J. Brus en C. van Wallenburg, 1989. Syteem voor bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Tweede gewijzigde druk. Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie Wageningen.
- Brus, 2017. Ratio estimator for mean of domain. Interne notie 'RatioEstimator4Domains.pdf' (2017-07-06 22:23)
- Canty, A. B. Ripley, 2016. boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions. R package version 1.3-18.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. roerink, H.S.D. Naeff en R.A. Smidt, 2014. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Alterra Wageningen UR, rapport 2548.
- Hoogland, T., M. Knotters, M. Pleijter en D.J.J. Walvoort, 2014. Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van holoceen Nederland: resultaten van het veldonderzoek. Wageningen, Alterra Wageningen UR, rapport 2612.
- Gruijter, J. de, D. Brus, M. Bierkens & M. Knotters, 2006. Sampling for Natural Resource Monitoring. Springer, Berlin, 332 pp.
- Inter-Agency and Expert Group, 2016. Report of the Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators (E/CN.3/2016/2/rev.1), Annex IV
- Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M., 1989. An introduction to applied geostatistics Oxford University Press, 561pp.
- Jongmans, A.G., M.W. van den Berg, M.P.W. Sonneveld, G.J.W.C. Peek en R.M. van den Berg van Saparoea, 2013. Landschappen van Nederland. Geologie, Bodem en Landgebruik. Wageningen Academic Publishers.
- Rijkswaterstaat, 2001. Handleiding Waterstaatskundig Informatie Systeem, Versie 0.4. Delft, Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Hoofdafdeling Geo Advisering.  
[http://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/wis/productinfo/beschrijvende\\_documentatie/](http://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/wis/productinfo/beschrijvende_documentatie/)
- UN Expert Advisory Group on a Data Revolution for Sustainable Development, 2014. A World That Counts. Mobilising the data revolution for sustainable development. Report prepared at the request of the United Nations Secretary-General, by the Independent Expert Advisory Group on a Data Revolution for Sustainable Development, november 2014
- Vries, F.de, D.J. Brus, B. Kempen, F. Brouwer en A.H. Heidema, 2014. Actualisatie bodemkaart veengebieden: deelgebied 1 en 2 in Noord Nederland. Wageningen, Alterra Wageningen UR, rapport 2556.
- Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking, 2016. Nederland Ontwikkelt Duurzaam: Plan van aanpak inzake implementatie SDGs. Brief MINBUZA-2016.600505 van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking aan de Tweede Kamer, 30 september 2016
- Oude Voshaar, 1995. Statistiek voor onderzoekers. Wageningen Pers.

## Internet

- NHI, Nederlands Hydrologisch Instrumentarium. <http://nhi.nu/nl/index.php/data/nhi-lhm/uitvoer/v302/kwel/>.

---

# Bijlage 1 Instructies voor het maken van boorbeschrijvingen

## Instructies voor het maken van boorbeschrijvingen

Voor het actualiseren van de bodemkaart van de in Noord- en Zuid-Holland gelegen gebieden met kleigronden met een slappe ondergrond (dit zijn de eenheden Wo, pMo., Mo., Ro., MO.. en RO..) maken we gebruik van gegevens uit boorbeschrijvingen. Er zijn nog onvoldoende actuele boorbeschrijvingen beschikbaar. We hebben 800 locaties aangewezen voor het maken van nieuwe beschrijvingen.

### Locaties.

In totaal dienen er dus 800 locaties bezocht te worden.

Per persoon is er van het totale doelgebied een veldkaart met een eigen nummer.

De locaties die bezocht moeten worden, zitten in de shapefile in Veldgis en in een file die je eventueel in de gps kunt laden. Bij de start van het veldwerk worden er afspraken gemaakt in welke regio jij aan de slag gaat. Je kunt zelf bepalen in welke volgorde je de locaties in deze regio bezoekt. Na afronding van je eigen regio kun je na overleg eventueel aan de slag in een andere regio.

### Bepalen locatie in het veld

#### Er zijn twee soorten punten:

##### 1. 700 basispunten

Met deze punten en de punten uit BIS wordt de actualisatie van de kaart uitgevoerd. Indien mogelijk wordt de boorbeschrijving opgesteld op de locatie met de aangegeven x- en y-coördinaten. Je mag eventueel van de locatie afwijken. Het kan zijn dat de aangegeven locatie op een verhard terrein ligt, of in de bebouwde kom (daar is wel op gecontroleerd), of dat je geen toestemming krijgt. Dan kun je in een nabij gelegen perceel een andere plek kiezen. Bij het kiezen van een andere plek moet je:

- Binnen de zone met slappe kleigronden blijven. Dit is in VeldGIS het gebied van de veldkaart.
- Bij voorkeur binnen hetzelfde kaartvlak opereren.

##### 2. 100 Validatiepunten

Deze punten zijn nodig voor de validatie van de geactualiseerde kaart. Bij deze controlepunten is het nodig om exact op de aangegeven locatie te boren. **Je mag bij deze set dus niet van de aangegeven locatie afwijken.** Wanneer het niet mogelijk is om daar te boren en een beschrijving te maken, vervalt de locatie. In de Tabel geef je aan waarom het punt vervalt. Reservepunten worden later toegevoegd en bezocht.

### Boorbeschrijving

- Het profiel uitboren tot minimaal 1,5 m. Wanneer je dan nog in de slappe klei of veen zit, dan doorboren (of gutsen) tot de gerijpte ondergrond en maximaal tot ca. 2 m.
- Bij elk punt een volledige boorbeschrijving maken we gebruik van de VeldGIS-applicatie en volgen de instructie in Technisch document 19A.
- Bij een mengsel van twee grondsoorten deze componenten afzonderlijk beschrijven en de mengverhouding aangeven (%).

Veel succes!

Folkert de Vries

25 maart 2016

## Bijlage 2 Sleutel voor de vertaling van bodemeenheden met niet-gerijpte kleilagen naar eenheden met gerijpte kleilagen

Kaarteenheden met niet-gerijpte klei <0,8 m -mv.			Vertaling naar kaarteenheden met gerijpte klei <0,8 m -mv.		
Bodem1	Bodem2	Bodem3	Bodem1	Bodem2	Bodem3
AWo			AWg		
hVk	Wo		hVk	Wg	
MOb12			Mo10A of Mo50C		
MOb72			Mo20A of Mo80A of Mo80C		
Mob75			Mo20A of Mo80A of Mo80C		
MOo02			Mo10A of Mo20A of Mo80A of Mo50C of Mo80C		
MOo02	Mob75		Mo10A of Mo20A of Mo80A of Mo50C of Mo80C		
MOo05			Mo10A of Mo20A of Mo80A of Mo50C of Mo80C		
MOo05	Mob75		Mo10A of Mo20A of Mo80A of Mo50C of Mo80C		
Mo10A			Mn12A of Mn15A		
Mo10A	Mo20A		Mn12A of Mn15A	Mn22A of Mn25A	
Mo20A			Mn22A of Mn25A		
Mo20A	Mn15A		Mn15A	Mn25A	
Mo20A	Mn25A		Mn25A		
Mo50C			Mn15C of Mn25C of Mn56C		
Mo80A			Mn35A of Mn45A		
Mo80C			Mn85C of Mn86C		
Mo80C	Mn86C		Mn85C of Mn86C		
pMo50			pMn55A of pMn55C of pMn56C		
pMo50	pMn52C	pMn55C	pMn52C	pMn55C	
pMo50	pMn55C		pMn55A of pMn55C of pMn56C		
pMo50	pMo80		pMn55A of pMn55C of pMn56C	pMn85A of pMn85C of pMn86C	
pMo80			pMn85A of pMn85C of pMn86C		
pMo80	pMn55A	pMn85C	pMn85A of pMn85C of pMn86C	pMn55A	pMn85C
pMo80	pMn55C		pMn55C	pMn85C of pMn86C	
pMo80	pMn85A		pMn85A of pMn85C of pMn86C		
pMo80	pMn85A	Mn45A	pMn85A	Mn45A	



Kaarteenheden met niet-gerijpte klei <0,8 m -mv.			Vertaling naar kaarteenheden met gerijpte klei <0,8 m -mv.		
Bodem1	Bodem2	Bodem3	Bodem1	Bodem2	Bodem3
pMo80	pMn85C		pMn85A of pMn85C of pMn86C		
pMo80	pMn86C		pMn86C		
Rob72			Ro60A of Ro40A of Ro60C of Ro40C		
Ro40A			Rn45A of Rn46A of Rn82A		
Ro40C			Rn44C of Rn45C of Rn47C		
Ro60A			Rn15A of Rn95A of Rn66A of Rn52A		
Wo			Wg		
Wo	pMo50		Wg	pMn55A of pMn55C of pMn56C	
Wo	pMo80		Wg	pMn85A of pMn85C of pMn86C	
Wo	pMv81		Wg	pMv81	
Wo	pMv81	pMo80	Wg	pMv81	pMn85A of pMn85C of pMn86C

---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
T 0317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Wageningen Environmental Research  
Rapport 2834  
ISSN 1566-7197

---

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.





To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



---

Wageningen Environmental Research  
Postbus 47  
6700 AB Wageningen  
T 317 48 07 00  
[www.wur.nl/environmental-research](http://www.wur.nl/environmental-research)

Rapport 2834  
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

