



Effecten van keren veenprofiel voor landbouw, CO₂-emissie en omgeving

Een veld- en literatuurstudie

W.J.M. de Groot, F. Brouwer, E. Kiestra, K. Kooistra



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effecten van keren veenprofiel voor landbouw, CO₂-emissie en omgeving

Een veld- en literatuurstudie

W.J.M. de Groot¹, F. Brouwer¹, E. Kiestra², K. Kooistra³

1 Wageningen Environmental Research

2 Kiestra Bodemadvies

3 Agro Advies Bodem, Water en Bemesting

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in samenwerking met Kiestra Bodem advies en Agro Advies Bodem, Water en Bemesting.

Wageningen Environmental Research

Wageningen, augustus 2021

Gereviewd door:

J.J.H. van den Akker

Akkoord voor publicatie:

M.J.D. Hack- ten Broeke, teamleider Bodem water en landgebruik, WENR

Rapport 3103

ISSN 1566-7197

Groot, W.J.M. de, F. Brouwer, E. Kiestra en K. Kooistra, 2021. *Effecten van keren veenprofiel voor landbouw, CO₂-emissie en omgeving; Een veld- en literatuurstudie*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3103. 74 blz.; 14 fig.; 17 tab.; 45 ref.

In 2020 heeft WENR onderzoek gedaan naar de effecten van het keren van een klei op veengrond, waarbij zand uit de ondergrond naar boven is gehaald. Hoewel nog recent na de kering in 2017, blijkt er landbouwkundig een duidelijke verbetering voor de mogelijkheden voor weidebouw en maisteelt. Uit de onderzoeksliteratuur blijkt een vermindering van CO₂-emissie door het keren. Doordat bij onderzochte bedrijven nog 59% van de organische stof ondiep in het profiel is achtergebleven, zal het effect hiervan lager zijn dan mogelijk is en treedt er nog steeds maaiveldval op. Onzekerheden zijn er vooral door het grotere risico op uitspoeling van nutriënten, onzekerheid over de afvoersnelheid van water en de druk op archeologische, cultuurhistorische, aardkundige en landschappelijke waarden.

Trefwoorden: bodem, landbouw, CO₂-emissie, keren veenprofiel, omgeving, rendabiliteit, bodemleven

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/553433> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2021 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, 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 werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3103 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Origineel bodemprofiel in Ypecolsgea

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
1	Inleiding	13
	1.1 Aanleiding	13
	1.2 Visie op onderzoek	13
	1.3 Doel	14
	1.4 Opzet en rapportage van het onderzoek	14
2	Literatuuronderzoek	15
	2.1 Profielverbetering	15
	2.2 Emissiebeperking	19
3	Casestudie	25
	3.1 Veldonderzoek bij twee bedrijven in Ypecolsgea	25
	3.1.1 Beschrijving van de bodem	27
	3.1.2 Bodemfysische metingen	33
	3.1.3 Textuuranalyse	36
	3.1.4 Voorraad organische stof	37
	3.1.5 Zakking	39
	3.2 Veldonderzoek bij een bedrijf in Tjalleberd	40
4	Kaartevaluatie	44
	4.1 Inleiding	44
	4.2 Methode	45
	4.3 De kaart	46
5	Evaluatie van effecten van keren van veen voor landbouw en omgeving	48
	5.1 Evaluatie van keren bodemprofiel voor landbouwkundig gebruik	48
	5.1.1 Methodiek voor berekening van de mogelijkheden voor akker- en weidebouw	48
	5.1.2 Berekening van de mogelijkheden voor akker- en weidebouw	49
	5.2 Effecten op bodemdaling en CO ₂ -emissie	54
	5.3 Andere omgevingseffecten	56
	5.4 Naar richtlijnen voor keren veenprofielen	58
6	Conclusies	61
7	Discussie en aanbevelingen	64
	Literatuur	65
	Bijlage 1 Kaart met boringnummers van de profielbeschrijvingen bij de twee onderzochte bedrijven (voor beschrijvingen, zie Bijlage 2 en 3)	67

Bijlage 2	Profielbeschrijvingen bij de twee onderzochte bedrijven (kaart, Bijlage 1) en van een bedrijf in Tjalleberd (bij de punten staat de standaardpuntencode (toelichting in Bijlage 3, Ten Cate et al. 1995)	68
Bijlage 3	Toelichting profielbeschrijvingen van Bijlage 1 en 2	70
Bijlage 4	Profielbeschrijving van boring 47 (0_2) in een perceel dat in 2013 omgezet is	72
Bijlage 5	Profielbeschrijvingen bedrijf Tjalleberd	73

Verantwoording

Rapport: 3103

Projectnummer: 5200046361

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: senior onderzoeker bodemfysica

naam: Jan van den Akker

datum: 6-1-2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack-ten Broeke

datum: 12-7-2021

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het keren van veenprofielen bij twee bedrijven in Ypecolsgea. We danken beide bedrijven voor hun medewerking aan het onderzoek. Ook willen we ENVISO Ingenieursbureau bedanken voor het beschikbaar stellen van hun meetgegevens.

Samenvatting

Enkele melkveehouders in het Friese veenweidegebied, omgeving Woudsend, zijn enkele jaren geleden bezig geweest met het keren van veengronden. Het ging hierbij om het naar boven halen van de minerale zandondergrond van meestal meer dan 1 m diepte en het daarmee 'wegstoppen' van het slecht doorlatende schalterveen en het zware kleidek. De melkveehouders beoogden hiermee de bodemopbouw te verbeteren om daarmee de landbouwgebruiksmogelijkheden te vergroten.

Het doel van dit onderzoeksproject is om de provincie Fryslân meer inzicht te verschaffen in de effecten van het keren van veengronden op het functioneren als medium voor landbouw en op andere doeleinden als koolstofopslag en archeologisch en landschappelijk erfgoed. Op grond daarvan kan de provincie vervolgens beslissen hoe zij met de activiteit om moet gaan: in alle gevallen verbieden, alleen in bepaalde situaties en/of onder bepaalde voorwaarden toestaan? De provincie heeft een aantal vragen geformuleerd die te maken hebben met het gebruik van de bodem. Hun belangrijkste vraag is: wat betekent dit voor de emissie van CO₂ uit de veenbodems?

Er is in het verleden in Nederland door onderzoek veel ervaring opgedaan met diepe grondbewerking om de mogelijkheden voor landbouw te verbeteren. Die kennis hebben we in dit onderzoek gebundeld. De effecten van die grondbewerking op de omgeving zoals CO₂-emissie zijn veel minder bekend. Ook daarvan hebben we middels literatuuronderzoek van recente onderzoeksresultaten een en ander op een rijtje gezet.

Bij twee bedrijven in Ypecolsegea zijn drie jaar geleden (2017) van een aantal percelen de veenprofielen gekeerd met een kraan. Om na te gaan wat de fysische effecten op de gebruiksmogelijkheden voor weide- en maisland zijn, hebben we **veldonderzoek** gedaan naar de bodem. Daartoe zijn van zowel omgezet land als van de bodems in originele staat in totaal dertig bodemprofielen beschreven, monsters genomen en onderzocht op organische stof, lutumgehalte en bulkdichtheid. Ter vergelijking zijn we ook bij een bedrijf in Tjalleberd geweest waarvan de bodem al bijna vijftig jaar geleden op vergelijkbare wijze is omgezet.

Het originele **bodemprofiel** van de bedrijven in Ypecolsegea bestaat uit een humeus kleidek van ongeveer 30 cm met venige, matig zware, kalkloze knipklei. Daaronder begint schalterveen op ongeveer 50 cm overgaand in veenmosveen. De begindiepte van het zand varieert van 90 tot 145 cm. De gekeerde bodemprofielen bestaan meestal uit een laag zandig materiaal van 40-140 cm met daaronder op zeer wisselende diepte grotere restanten van het oude kleidek en de veenlaag. Vaak komen door het hele profiel wat kleinere resten van klei en veen voor.

Van de hoeveelheid organische stof die in het originele bodemprofiel tot 100 cm -mv. voorkomt, is in het gekeerde profiel nog 59% terug te vinden. Die 59% is nog een grote voorraad organische stof als het doel was om een groot deel van met name de organische stof van de veenlaag onder het diepste grondwaterniveau op te slaan. Door de aanwezigheid van resten organische stof in de eerste meter van het gekeerde profiel verwachten we nog steeds **maaiveldaling** door veenoxidatie. We berekenen die op 4,8 mm/jaar.

Als gevolg van de kering is er een kans dat de percelen ook zullen nazakken. De berekende totale **nazakking** door deze verandering varieert tussen 2 en 8 cm, afhankelijk van de geschatte samendrukkingsconstante. Voor de landbouw misschien nog wel belangrijker is dat het nazakken sterk kan variëren door de heterogene profielopbouw. Hierdoor zal het perceel een onregelmatige maaiveldligging krijgen. Het veldonderzoek in Tjalleberd heeft geleerd dat de percelen pas na tien jaar van instellen (nazakken, egaliseren, ontwikkelen bodemleven, drainage) een redelijk stabiele perceelsoopbouw verkregen hebben, maar dat er nog steeds onregelmatige verdroging en vernatting optreedt, een goede drainage belangrijk is en dat er bodemverdichting voorkomt door vermenging met de lemige ondergrond.

De provincie Fryslân was benieuwd naar het **potentiële areaal** om veengronden om te zetten om daarmee de wateroverlast en droogte door schalterveen op te heffen en de draagkracht en berijdbaarheid van die percelen met zand uit de ondergrond te verbeteren. Daarvoor zijn we op de actueelste bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, en aanvullend kaartmateriaal over veendikten op zoek gegaan naar gronden met schalter- en/of veenmosveen en hebben we geprobeerd om aan te geven hoe diep het pleistoceen zand voorkomt dat mogelijk geschikt is. Er is 29.722 ha land in Fryslân dat aan de criteria van veengronden opgebouwd uit veenmosveen en/of schalterveen in combinatie met een dekzandondergrond voldoet. Daarvan bedraagt 4930 ha veengrond met zand ondieper dan 1m -mv en 16015 ha met zand tussen 1 en 2m -mv. Dit areaal is potentieel in beeld voor kering van het veenprofiel, waardoor voor de landbouw een geschikter bodemprofiel kan worden gecreëerd. Daarnaast kan hiermee mogelijk de CO₂-emissie worden gereduceerd. De textuur van **voor keren geschikt dekzand** is leemarm en matig fijn of grover. Dit komt niet overal voor. Op de bodemkaart wordt daarin geen onderscheid gemaakt. Daarom zal in de praktijk het areaal dat geschikt is om te keren, lager uitvallen.

We hebben de fysische bodemeffecten van het omkeren van het profiel voor de gebruiksmogelijkheden voor de melkveehouderij onderzocht. De **gebruiksmogelijkheden** zijn geëvalueerd met de semi-kwantitatieve methoden WIB-C (Ten Cate, et al., 1995) en de HELP-methodiek (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Bij de WIB-C methode voor akker- en weidebouw hanteren we vier beoordelingscriteria: ontwatering, vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond en verkruielbaarheid. Hoewel het drie jaar na keren nog redelijk vroeg is om conclusies te trekken, lijkt het keren van veengronden, specifiek van de onderzochte klei op veengronden met een zandondergrond op 1,5 m, gunstig voor de landbouwkundige waarde. Voor de weidebouw zijn door de kering de mogelijkheden aanzienlijk verruimd. De ontwatering is verbeterd door het lagere lutumgehalte van de bovengrond (betere doorlatendheid). Het vochtleverend vermogen is verbeterd, door het hogere capillair geleidingsvermogen van de laag onder de wortelzone. De stevigheid is verbeterd door het lagere lutum- en organischestofgehalte van de bovengrond. Voor maïsteelt zijn de mogelijkheden ook groter geworden, maar nog onvoldoende voor een goede bewerkbaarheid. Akkerbouw vereist een grotere drooglegging dan grasland en dat betekent bij de verbeterde ontwatering nog steeds problemen met het op tijd bewerken van het land in het voorjaar en het oogsten in het najaar. Ook de gewasontwikkeling in het voorjaar is door de tragere opwarming van de bodem beperkt. Drainage kan dit verder verbeteren.

Kanttekening bij de gebruikte evaluatiemethoden is dat deze verouderd zijn en er geen rekening wordt gehouden met de **bodemvruchtbaarheid en met bodembioïologische effecten**. Op basis van de veranderingen in lutum en organische stof van zowel boven- als ondergrond is echter wel duidelijk dat het vermogen om voedingsstoffen op te slaan en deze geleidelijk beschikbaar te maken voor gewasopname, daarmee recht evenredig is afgenomen (kleinere CEC (kationenuitwisselingscapaciteit) en geringer totaal geadsorbeerde kationen). Dat betekent ook dat **het risico op uitspoeling** van voedingsstoffen is vergroot. Verbeterde infiltratie vermindert wel de oppervlakkige afspoeling, maar netto blijven de verliezen toenemen. Het valt na drie jaar op dat er redelijk snel weer iets van een humeuze bovengrond (5-10 cm) is gevormd. De organische stof in de wortelmat van grasland neemt, zoals bekend, snel toe door jaarlijkse omzetting van biomassa uit gras. Ook na zeven jaar bleek die ontwikkeling doorgezet op een eerder omgezet perceel. Tegelijkertijd bleek uit de profielen in Tjalleberd dat er na bijna vijftig jaar nog steeds sprake is van een wat heterogene bovengrond die nog niet volledig gehomogeniseerd is. Het bijmengen van (een deel van) de oude bovengrond zou kunnen bijdragen aan een actiever bodemleven en bevordert de homogenisatie. Verder zal een andere, zandiger bovengrond die wat sneller opdroogt ongetwijfeld effect hebben op de bodemfauna.

De HELP-methodiek geeft aan dat de opbrengstdepressie door wateroverlast en droogte (voor de referentieperiode 1950-1980) samen voor grasland 20-21% bedraagt en na kering daalt naar 11-13%. Voor mais is de inschatting wat lastiger, omdat op natte veengronden weinig opbrengstcijfers voor bouwland bekend zijn. We schatten de opbrengstdepressie op basis van bekende, slechte opbrengstschattingen in op 45% in de originele situatie en 21% na kering. Met deze cijfers en gegevens over de kosten van de kering hebben we ook een indicatieve inschatting gemaakt van de **rendabiliteit**. Het blijkt dat op basis van de ingeschatte gemiddelde jaarlijkse opbrengstverhoging voor mais (15% teeltareaal) en gras (85% teeltareaal) van € 260 per ha en de publiek beschikbare

kosten van € 427 per ha de investering niet rendabel is (verlies is immers € 167/ha/jaar). Hierbij is uitgegaan van loonwerk. Dit zijn getallen voor een gemiddelde situatie. In individuele gevallen kunnen kosten lager worden berekend door uitvoering in eigen beheer en kunnen hogere opbrengsten worden gehaald. Het is daardoor onduidelijk of deze investering altijd rendabel is en het zal daarom voor specifieke gevallen eerst berekend moeten worden. Het hangt bijvoorbeeld ook sterk af van de diepte waarop voldoende beschikbaar zand met de juiste kwaliteit voorkomt.

In Nederland en omliggende landen wordt veel onderzoek gedaan om na te gaan of grondwaterstandverhoging leidt tot een vermindering van CO₂-emissie bij veengronden en is veel **onderzoeksliteratuur** vervaardigd (Taft et al., 2018; Fritz et al., 2017). Er zijn metingen die aangeven dat het leidt tot een vermindering van de emissie van 3,1 tot 5 ton C/ha/jaar per 10 cm grondwaterstandstijging. Om de effecten op de landbouw te verminderen, wordt daarbij ook onderzoek gedaan naar onderwater- of drukdrainage. In een studie naar nieuwe klimaatbestendige bedrijfsmodellen voor de Veenkoloniën wordt aangegeven dat het onderwerken van veen tot onder de grondwaterspiegel een oplossing kan zijn voor de CO₂-emissie als het veen voldoende diep wordt bedekt (Verstand et al., 2020). In Nederland zijn geen studies bekend die dat al onderzocht hebben. In Engeland blijkt omzetten (vooral mengen) te kunnen leiden tot een aanzienlijke vermindering van de CO₂-emissie (Richardson et al., 1991) van 20 t C/ha/jaar. In Noorwegen blijkt bij zuiver keren ook sprake van een zekere verlaging van de CO₂-emissie van 2-4 ton C/ha/jaar (Hansen et al., 2016). Hier zijn de klimaatomstandigheden wel wat anders (lagere temperaturen en meer neerslag).

De CO₂-emissie wordt bepaald door de hoeveelheid organische stof die boven het grondwaterniveau beschikbaar is. We zagen dat er na het keren van het veenprofiel in de onderzochte percelen nog 59% van de oorspronkelijke hoeveelheid organische stof in de eerste meter terug werd gevonden. Daarmee is er nog vrij veel organische stof in het profiel aanwezig dat potentieel door afbraak kan verdwijnen. De vermindering van de CO₂-emissie door deze wijze van keren is onzeker, zolang er nog niet gemeten is. Kering van het veenprofiel zal echter naar verwachting zeker een bijdrage leveren aan de vermindering van de emissie van CO₂; ondersteund door buitenlands onderzoek en op basis van een berekende emissie van klei op veengronden (Van den Akker et al., 2018) en het percentage resterende organische stof, komen we uit op een vermindering van 8,4 t CO₂-eq/ha/jaar.

Andere omgevingseffecten die een rol spelen bij het keren van veengronden, zijn effecten op de chemie van de bodem, het watersysteem (berging, afvoer) en de mogelijke archeologische, cultuurhistorische, aardkundige en landschappelijke waarden. Naar deze effecten is in deze studie beperkt gekeken: **verzuring** van de bodem door pyrietvorming komt alleen voor bij voldoende sulfaataanvoer in eutrofe veengebieden. In Fryslân is dat risico niet groot. De veengronden die in de belangstelling staan voor keren zijn oligotroof. Het risico op verzuring door de aanwezigheid van pyriet lijkt dus klein bij het keren van de veenprofielen, waarbij onder het oligotrofe veenmosveen een arme zandondergrond naar boven gehaald wordt.

Veranderingen in **de waterberging** en doorlatendheid van de bodem hebben een kwantitatieve invloed op de werking van het afwateringssysteem. De gemiddelde bergingscoëfficiënt en het waterbergend vermogen van de originele en gekeerde profielen voor de verschillende dieptetrajecten tot ca. 80 cm -mv (onverzadigde zone) verschillen weinig: het bergend vermogen is 89 cm in de originele situatie en 83 cm na keren/mengen van het veenprofiel. De ontwatering van de bovengrond is verbeterd, waardoor in natte perioden de grond sneller opdroogt en er daardoor meer lucht in de bodem komt. De infiltratie in de bovengrond is sterk veranderd. Neerslag vond in natte perioden deels zijn weg via run-off en zal na keren beter infiltreren. In droge perioden kon door diepe scheuren in klei en veen neerslag snel afgevoerd worden, na keren wordt er juist meer water vastgehouden, wat ook gunstig is voor de benodigde waterberging. In de verzadigde zone verandert ook het een en ander door de kering. In de ondergrond wordt zandig, goed doorlatend materiaal vervangen door minder goed doorlatend materiaal (veen en klei). Dit heeft invloed op de dikte van de doorstroomde ondergrond en de weerstand. Het keren van het profiel grijpt dus op veel manieren in op de waterhuishouding. Het resulterende effect op de afvoer naar het grondwater en oppervlaktewater-systeem (ook op regionale schaal) hebben we in dit kortlopende onderzoek niet kunnen vast stellen. Belangrijk daarbij is ook welke invloed de nog uit te voeren drainage daarop heeft.

Het keren van veengebieden heeft ook consequenties voor **archeologische, cultuurhistorische, aardkundige en landschappelijke waarden**. De FAMKE (Friese Archeologische Monumentenkaart Extra) geeft aan of bij bodemingrepen van een bepaalde omvang archeologisch onderzoek nodig is.

Keren of mengen van veen kan ertoe leiden dat de percelen na de grondbewerking anders worden ingericht en dat de oorspronkelijke landschappelijke bodemstructuur wordt gewijzigd in een ander landschapstype. Verder kunnen oude ontginnings- en verkavelingspatronen verloren gaan of kan er sprake zijn van egalisatie. Het keren van het bodemprofiel kan op grond van het provinciaal beleid niet zonder meer worden goedgekeurd. Een aanvraag of een voornemen daarvoor zal getoetst moeten worden aan de principes van de Omgevingsvisie en daarmee ook aan de landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden.

We hebben in paragraaf 5.4 getracht een overzicht te geven welke **richtlijnen** men in Fryslân zou kunnen hanteren voor het keren van een veenprofiel. Dit geldt zowel voor de landbouw, de beperking van de CO₂-emissie als andere omgevingsaspecten.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Enkele melkveehouders in het Friese veenweidegebied, omgeving Woudsend, zijn enkele jaren geleden bezig geweest met het keren van veengronden. Het ging hierbij om het naar boven halen van de minerale zandondergrond van meestal meer dan 1 m diepte en het wegstoppen van het veen en het kleidek. Het betreft een activiteit die de provincie Fryslân aanmerkt als een ontgroning die op basis van de Ontgroningenwet vergunningplichtig is, zo oordeelt de provincie. Die is bevoegd gezag voor deze vergunningverlening.

De provincie heeft geen goed beeld van de gevolgen van het keren van veenbodems voor de eigenschappen en het functioneren van de bodem en de doorwerking hiervan op het (landbouwkundig) gebruik van de bodem en de eventuele effecten op de omgeving. Een belangrijk effect hierbij is de mogelijke beïnvloeding van de afbraak van veen, maaiveldddaling en CO₂-emissie.

1.2 Visie op onderzoek

Er is in het verleden veel onderzoek gedaan naar profielverbetering door het keren van grond. Daarmee zijn goede en minder goede resultaten geboekt. De kennis is nu nog aanwezig bij o.a. dhr. K. Kooistra (Agro Advies Bodem, Water en Bemesting) en enkele (oud-)medewerkers van WENR. Er zijn op het gebied van CO₂-emissie de laatste jaren veel nieuwe onderzoeksactiviteiten (vernattingsprojecten, onderwaterdrainage) opgezet. Door de kennis te bundelen, kunnen we een redelijk compleet beeld schetsen van de mogelijkheden en voor- en nadelen. Daar waar we onzeker zijn, zullen we dat aangeven. De casestudie geeft ons de mogelijkheid om ons meer te focussen op een concreet voorbeeld.

De provincie Fryslân heeft een aantal vragen geformuleerd die bij het onderzoek aan de orde moeten komen en inzicht moeten verschaffen in de effecten van het keren van veenprofielen. Ze staan hierna integraal genoemd.

Breng in beeld wat het keren van veenprofielen aan effecten kan hebben op:

- a. (Hoofdvraag): de doorwerking op veenoxidatie/maaiveldddaling/CO₂-emissie; hierbij moet rekening gehouden worden met korte- en langetermijneffecten; zoals het inzicht dat veen dat eenmaal aan lucht is blootgesteld, ook na het weer te vernatten aan veenoxidatie onderhevig blijft (*Het slot is eraf*, proefschrift Brouns, UU);
- b. Opbouw, eigenschappen en het functioneren van de bodem; dit betreft zowel de fysische, chemische als biologische aspecten van een eventueel aanwezig kleidek, het veenpakket en de zandondergrond; hierbij gaat het om aspecten als gelaagdheid, structuur, bodemleven, infiltratiecapaciteit en doorlatendheid, vochtvasthoudend vermogen, bodemvruchtbaarheid;
- c. De mate en snelheid waarin zich dit kan herstellen dan wel waarin weer bodemvorming plaatsvindt;
- d. De doorwerking van deze veranderingen op de geohydrologie/waterhuishouding (kwantitatief en kwalitatief) op het betreffende perceel en in de omgeving, op korte termijn – 1 tot 3 jaar – en op langere termijn – 10-20 jaar –, rekening houdend met cumulatieve effecten als keren van veengrond op grotere schaal plaats zou vinden;
- e. De doorwerking op het landbouwkundig gebruik op korte en lange termijn; met aandacht voor gewasopbrengsten, de draagkracht en het gebruik, de benutting van meststoffen; de omzetting van grasland naar akker- of tuinbouwgrond;
- f. Wat zijn de risico's voor het in de bouwvoor halen van pyriet? Dat zou tot sterke verzuring kunnen leiden;
- g. De intrinsieke waarden die toe te kennen zijn aan de bodem/geomorfologie. Hierbij rekening houden met het beleid voor archeologie/cultuurhistorie van de provincie.

Met het oog op eventueel te stellen voorwaarden vragen we ook naar aanbevelingen voor:

- h. De wijze van uitvoering van het keren van veenbodems die tot de minst nadelige effecten leidt;
- i. De informatie die de initiatiefnemer bij de vergunningaanvraag aan moet leveren, rekening houdend met wat redelijk is; hierbij ook aangeven de wijze waarop de aanvrager de gevraagde informatie moet berekenen of naderszins moet kwantificeren;
- j. De informatie die de initiatiefnemer na uitvoering van de maatregel via monitoring aan zou moeten leveren, in geval de activiteit vergund wordt, en rekening houdend met wat redelijk is;
- k. Verder willen we inzicht in de ligging en omvang van agrarische gronden waar agrariërs belangstelling voor het keren van veengronden zouden kunnen hebben. Wij gaan ervan uit dat dit samenhangt met het voorkomen van schalterveen;
- l. Ook vragen we een overzicht van hoe andere provincies met veengronden met het keren van veenprofielen omgaan, en de argumentatie die daar aan ten grondslag ligt;
- m. Tot slot vragen we ook aandacht voor veenbodems met een sterk veraarde veenlaag. Dergelijke lagen zijn soms nauwelijks weer te vernatten. Dat kan leiden tot droogteschade. En waarschijnlijk weinig effect op de CO₂-emissie als toch vernattingsmaatregelen worden uitgevoerd. Zou keren van dergelijke veengronden de landbouw voordelen kunnen bieden? En wat zouden de gevolgen zoals hierboven aangeduid kunnen zijn?
- n. En: wat zijn de ervaringen met bodemomkering in de Veenkoloniën. Daar is veel literatuur over.

1.3 Doel

Het doel van dit project is om de provincie Fryslân meer inzicht te verschaffen in de effecten van het keren van veengronden op het functioneren als medium voor landbouw en andere doeleinden als koolstofopslag en archeologisch erfgoed. Op grond daarvan kan ze vervolgens beslissen hoe zij met de activiteit om moeten gaan: in alle gevallen verbieden, alleen in bepaalde situaties en/of onder bepaalde voorwaarden toestaan? De voorwaarden zouden bijvoorbeeld betrekking kunnen hebben op de bodemprofielen, de wijze van uitvoering, het onderzoek dat vooraf en de monitoring die achteraf nodig is.

1.4 Opzet en rapportage van het onderzoek

In hoofdstuk 1 hebben we beschreven wat de aanleiding voor dit onderzoek is, de visie en doelen die we wilden bereiken. In hoofdstuk 2 beschrijven we oudere en meer recente literatuur over het keren van bodemprofielen en hun effecten. Daarin wordt ook verwezen naar recent onderzoek dat nog niet afgerond is. In hoofdstuk 3 beschrijven we bodemkundig onderzoek op een aantal praktijklocaties waar bodemprofielen zijn gekeerd, zowel in het verre verleden als recent. In hoofdstuk 4 worden potentiële gebieden die ook voor het keren in aanmerking komen in kaart gebracht. Daarbij hebben we rekening gehouden met de doelen en de mogelijkheden die de bodems hiervoor hebben.

In hoofdstuk 5 evalueren we het keren van bodemprofielen voor landbouwkundige criteria, maar ook voor de emissie van CO₂. We gaan daarbij ook in op andere effecten en geven een indicatie voor mogelijke richtlijnen. In hoofdstuk 6 vatten we de conclusies en aanbevelingen samen.

2 Literatuuronderzoek

Literatuurstudie en verzameling van actuele onderzoek informatie rondom de aandachtspunten: dit onderzoek richt zich op het verzamelen van kennis uit literatuur en van deskundigen die momenteel betrokken zijn bij andere projecten rondom bodemdaling in veengebieden in Nederland en in omliggende landen voor het effect van keren van veenprofielen in Fryslân. We gaan voor deze verkenning uit van bestaande kennis en inzichten. We hebben de lijst van vragen die de provincie Fryslân heeft opgesteld als leidraad bij de aandachtspunten die we meenemen, aangehouden. De lijst wordt ook behandeld in paragraaf 5.3.

2.1 Profielverbetering

Fysische profielverbetering

In de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw is er veel onderzoek geweest naar aanpassingen van het bodemprofiel om zo de geschiktheid voor agrarische gebruik te verbeteren.

Zo ging er regelmatig wat mis bij diepe grondbewerking en daarom plaatste het Consulentenschap voor de akker- en tuinbouw in Goes in 1984 in de brochure *Actualiteiten 32* een lijst met aandachtspunten om rekening mee te houden:

- Type grond
- Wat is het probleem?
- Beslissen wel of niet ingrijpen
- Keuze Werktuig ingreep
- Diepte van bewerking
- Tijdstip bepalen voor ingreep

Het Consulentenschap wees er ook op dat het van belang was om rekening te houden met de volgende zaken:

- Drainage; moet goed functioneren
- Droge omstandigheden
- Kies een perceel of percelen, geen gedeelten
- Beperkt berijden, de eerste tijd
- Losgemaakte grond blijft de eerste jaren langer nat, dat betekent later bewerken
- Kies diep wortelende gewassen; die zorgen voor belangrijke continu verticale poriën
- Geeft de grond zo veel mogelijk rust om te zetten

In vlugschrift 287 van het Ministerie van Landbouw uit 1978 werd de waaromvraag van diepe grondbewerking beantwoord met:

- Verhogen van de gewasopbrengsten
- Verlagen van de productiekosten

Voor bodemprofielen met slecht doorlatende lagen werd diepe grondbewerking aanbevolen als maatregel om de beworteling en vochtvoorziening te verbeteren en de wateroverlast te verminderen.

Het vlugschrift gaat ook over veenkoloniale veengronden. Op deze gronden had men problemen met de lage pH en de slechte doorlatendheid van de veenondergrond. Als maatregel werd aanbevolen het mengen van de bovengrond, de veenondergrond en het onderliggende zand. Met een goede menging beoogde men dat de beworteling toe zou nemen. Doordat het veen onder in het profiel terecht kwam, zou dat beter geconserveerd worden.

In het vlugschrift werden technieken als behoudend woelen, mengend woelen en bezandend woelen genoemd. In deze volgorde wordt bij een dikker wordende veenlaag toch voldoende, maar ook niet te veel zand mee gemengd.

Overigens zijn de veenkoloniale gronden niet helemaal vergelijkbaar met de gronden uit dit onderzoek naar keren van veen in Fryslân.

Aandachtspunten die verder in het vlugschrift van 1978 genoemd werden, zijn:

- Voor het zand uit de ondergrond wordt de voorkeur gegeven aan niet-lemig, liefst wat grover zand. Fijn lemig zand vergt weer drainage.
- Minimale werkdiepte 1 m.
- Na woelen dient de bovengrond geëgaliseerd en geploegd te worden. Bij mengwoelen blijft de oude bovengrond voor een groot gedeelte boven in het profiel. Door diep te ploegen (30-40 cm) wordt dit goed gehomogeniseerd.
- Afhankelijk van het gewas kan het nodig zijn te bekalken.

Schothorst (1983) gaat in nummer 22 van een serie mededelingen van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in op grondverbetering op zandgronden met grasland. Hij vermeldt daarin dat profielverbetering niet altijd tot de gewenste resultaten leidt en men het beter profielbewerking kan noemen. Hoewel dit rapport zich vooral richt op zandgrond waarbij de diepere beworteling en vochtvoorziening als hoofddoel wordt beschouwd, zijn er wel enkele aandachtspunten die voor dit onderzoek naar keren van veen van belang kunnen zijn.

Zo geeft het rapport aan dat diepe profielbewerking van zandgrond, met behoudend woelen en spitzfreen, in een zeer losse grond resulteerde.

Het aantal wortels nam in het eerste jaar tot de bewerkingsdiepte van 95 à 120 cm toe. Na twee jaar zaten de meeste wortels in de bovenste 20 cm en was er geen verschil meer met de onbehandelde objecten op grasland. (NB Dit is volgens verwachting, omdat Engels raaigras in eerste instantie diep wortelt, maar later een beperkte bewortelingsdiepte heeft.)

De bovengrond was schraler geworden (*lager organischestofgehalte*), de bulkdichtheid was afgenomen en het poriënvolume nam toe. Met name dat laatste betekende dat het vochthoudend vermogen van het bodemprofiel was afgenomen en ook het vermogen om via capillairen vocht vanuit het grondwater aan te voeren, was verminderd. De drogestofopbrengsten van de diepe profielbewerking en na drie jaar onderzoek waren 5-20% lager dan bij het onbehandelde object, behalve als werd berekend.

In vlugschrift 416 van het Ministerie van Landbouw werd de ontwatering en grondverbetering van grasland besproken. Daarin worden als mogelijke effecten van grondverbetering (-bewerking) genoemd:

- Verschralen van de bovengrond i.v.m. verbeteren van de draagkracht
- Opheffen van bodemverdichting i.v.m. slechte verticale doorlatendheid
- Het versnijden van de grond i.v.m. schalterveenvorming
- Losmaken van de ondergrond i.v.m. bewortelingsmogelijkheden
- Het breken van een storende laag in de ondergrond

Schalterveen bestaat uit dunne laagjes veen die als bladzijden in een boek op elkaar liggen en zeer slecht doorlatend zijn. De waterdoorlatendheid en infiltratiemogelijkheden zijn daardoor nihil, wat bij neerslag al snel leidt tot een te natte bovengrond, plasvorming en een slechte draagkracht. De meeste neerslag moet dan via de greppels worden afgevoerd. Ook de bewortelingsdiepte wordt door een schalterlaag sterk beperkt, waardoor de grasmat droogtegevoelig wordt. Schalterveen, waar het in dit onderzoek naar keren van veen ook over gaat, heeft de eigenschap dat er in droge zomers op ongeveer 1 m afstand diepe, brede scheuren in de platerige veenlaag ontstaan die bij vernatting (en mede door vertrapping) opgevuld raken met klei uit de bovengrond (Luten et al., 1984). Het veen heeft bij nat worden geen ruimte om te zwellen, omdat de scheuren zijn opgevuld met klei en bovenliggend materiaal uit de bouwvoor, waardoor er ronde, bolvormige schollen in het maaiveld

ontstaan. Dit verschijnsel wordt 'schalter' of 'spalter' genoemd. Dit zorgt voor een zeer onregelmatige ligging van het maaiveld. Deze schollen worden schalterkoppen genoemd.

Kooistra geeft aan dat schaltervorming kan worden opgeheven door de grond tot 70 cm op een onderlinge afstand van 30 cm te versnijden. Hij verwijst hierbij ook naar onderzoek van Luten (1984) en praktijkervaringen. Hij verwacht dat hierdoor zwel en krimp over een kortere afstand op gaat treden, met als gevolg minder grote scheuren en minder schaltervorming na droogte. Door de platen in smalle repen te versnijden, ontstaan bij een sterke uitdroging geen brede scheuren, maar in plaats daarvan meerdere smalle scheuren. Het versnijden moet wel op de juiste afstand en diepte worden uitgevoerd. Enige veenoxidatie zal zeker optreden, maar het is niet zeker of dat meer is dan door de grote scheuren die anders zouden zijn ontstaan.

In vlugschrift 416 werd – behalve de technieken diepploegen en mengwoelen – ook bezanden genoemd. Daarbij werd van grote diepte een zandlaag op de bovengrond gebracht. De zandlaag was 6-8 cm dik. Aandachtspunten die verder in Vlugschrift 416 genoemd werden, zijn:

- Bodemverdichting in de bovengrond kan opgeheven worden met ondiep woelen (tot 35 cm).
- Storende lagen in de ondergrond kunnen het best worden opgeheven voordat het land opnieuw wordt ingezaaid.
- Blijvend grasland is niet in staat permanent diepe wortels aan te maken die vocht uit een diep losgemaakte grond kunnen halen.
- Beregening kan het verschijnsel schaltervorming helpen voorkomen.

Schot e.a. (2000) beschreven de historie van techniek van de profielverbetering in Nederland. Behalve technieken om tot grote diepte zand op te halen om de bovengrond te verbeteren, bespraken ze ook de techniek van egalisatie. Daarin beschreven ze ook dat op een bepaald moment het paradigma van behoud van de bouwvoor bij egalisatiewerkzaamheden werd doorbroken door het inzicht dat de bovengrond vanwege de hoge bodemvruchtbaarheid en vochthoudend vermogen maakbaar is.

Wopereis (1994) heeft onderzoek gedaan naar grondbewerking op grasland op zandgrond. Hij geeft de volgende aandachtspunten mee:

Losmaken van de grond door grondbewerking (schudfrees, paraplow) leidt tot minder grondwortelcontact. De capillaire nalevering uit de ondergrond is bij losse, nog niet bezakte zandgrond minder groot. De beworteling van jonge graswortels gaat in losgemaakte grond via nieuwe bijwortels, die ongehinderd de volle bewortelbare diepte bewortelen. Dit leidt tot een homogene wortelverdeling in de bewortelbare zone vergeleken met latere jaren, waarin de grote wortelmassa zich terugtrekt in de bovenste 20 cm. De diepe beworteling leidt door het matige grondcontact in het eerste jaar niet tot een grotere grasproductie vergeleken met niet-losgemaakt bestaand grasland.

Een losgemaakte bodem verdicht op natuurlijke wijze door bezakking. Door berijden en beweiden wordt de bodem verder verdicht. Bij blijvend grasland op zandgronden is verdichting van losgemaakte grond belangrijk om een goed wortel-grondcontact te verkrijgen en capillaire nalevering te waarborgen.

In Koufunderigge doet het Louis Bolk Instituut samen met het PPO momenteel kleinschalig onderzoek naar het effect van gaten boren tot 60 cm diepte en vullen met verschillende zandmengsels om de wortels van het gras dieper te laten wortelen en door een verbeterde doorlatendheid overtollig water makkelijker af te voeren (Wissink, 2020).

Veengronden in Fryslân worden de laatste jaren steeds vaker bevoeid om schade door droogte en muizen te verminderen. Bevloeien kan er ook aan bijdragen dat schaltervorming vermindert (T. Steenbruggen en N. Bosma, schrift. mededeling).

Door berijden op nat land te vermijden en door gebruik te maken van brede lagedrukbanden met bandspanningen lager dan 1 bar (100 kPa) en de daaruit volgende lagere wiellasten, kan veel schade worden voorkomen. Door het aantal assen en wielen te vergroten, kunnen nog redelijk zware landbouwvoertuigen worden toegepast. Voor het uitrijden van drijfmest kan gebruik worden gemaakt van slangensystemen (Van den Akker, schrift. mededeling).

Drainage

Een voor de landbouw goed functionerend bodemprofiel hangt af van een goede ontwatering. Wanneer die niet voldoende (snel) op natuurlijke wijze gerealiseerd wordt, kan drainage een belangrijke bijdrage leveren. De bodem en het grondwater zijn niet los van elkaar te beoordelen. Vandaar dat we dit in het onderzoek hebben meegenomen.

Klaas Kooistra (Kooistra, 1990, 2008) heeft als specialist bij het consultantschap in algemene dienst van het Ministerie van Landbouw en adviseur van de Vereniging van Nederlandse Drainagebedrijven een paar informatieboeken geschreven over aanleg en onderhoud van drainage en sloten. Veel van de kennis is ook terug te vinden in het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging, 1988). De voor dit onderzoek relevante informatie hebben we hier op een rijtje gezet aangevuld met nieuwe inzichten.

De gewenste ontwatering voor grasland is een gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van 30 cm -mv. en voor maisland van 50 cm -mv. Grondwatertrap IV is voor grasland het meest gewenst, Gt IV of VI voor maisland. In de praktijk zijn die niet overal realiseerbaar. Om deze grondwatertrap te bereiken, is namelijk een slootpeil van 80 resp. 100 cm nodig. Belangrijke reden hiervoor is dat we drains bij voorkeur boven het slootpeil laten uitmonden. Dit vanwege controle en de kans op beschadiging.

Invloed bodem op de ontwatering

Wateroverlast kan toch tijdelijk voorkomen ondanks de aanwezigheid van drainage door verdichting van de bovengrond; dit komt de laatste jaren steeds meer voor door zwaarder berijden onder kwetsbare omstandigheden. Het dempende karakter van de zode vooral op kleigrond kan daarbij verbeterd worden door het zo veel mogelijk intact houden van de humeuze toplaag (niet ploegen) en het versterken van de zode door de keuze van grassoorten die een zode vormen (doorzaaien indien mogelijk). Het natuurlijk herstel van veengrond is in het algemeen groot. Door zwel en krimp kan de kleigrond ook op een natuurlijke manier tot op zekere hoogte herstellen van verdichting. Lemig zand en lichte zavel kennen die herstelmogelijkheid niet. Losmaken van een verdichte bovengrond kan met een scherpe woeler. Er treedt daarbij wel altijd beperkte schade aan de zode op. De losgemaakte grond is wel zeer kwetsbaar voor herverdichting.

Wateroverlast komt ook voor, doordat de drainage slecht functioneert door de bodemopbouw boven de drain. Dit kan op Friese veengronden een rol spelen bij een knipkleilaag direct onder de toplaag, een schalterveenlaag en veenmosveen op en rond draandiepte. De knipklei heeft van nature een slechte structuur en doorlatendheid, een groot zwelvermogen en sterke krimp bij droogte (Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, 1974). Van al deze lagen is de doorlatendheid laag en zal de drainafstand daarop goed afgestemd moeten zijn. Als er gedraineerd wordt, kan het verstandig zijn te kiezen voor de kettinggraafmachine waarbij de drainsleuf wordt opgevuld met de vergraven grond. Het aanbrengen van grof zand direct rond de drain zou in dit geval nog beter zijn.

Bij ontwatering van veengronden treedt maaiveldaling op, waarbij oxidatie een rol speelt. Dit gebeurt vooral de eerste jaren na het verlagen van de grondwaterstand en minder wanneer er een kleidek op het veen voorkomt en het veen bestaat uit het compactere veenmosveen. Hoewel begreppeling steeds meer vervangen wordt door drainage, dragen begreppeling en rondleggen sterk bij aan een beperking van de wateroverlast. Een belangrijke rol van greppels is dat hierdoor plasvorming wordt voorkomen.

Het laatste decennium zijn op het gebied van drainage nieuwe ontwikkelingen gaande, zoals samengestelde drainage, onderwaterdrainage en drukdrainage. Enerzijds door de vraag vanuit de landbouw om meer sturing op de drainage gedurende het jaar, maar ook door de vraag vanuit de maatschappij hoe de maaiveldaling en veenafbraak kan worden afgeremd (paragraaf 2.2). Samengestelde of regelbare drainage geeft meer sturing aan de drainage, doordat het ontwateringsniveau kan worden ingesteld (Stuyt, 2013). Onderwaterdrainage en vooral drukdrainage kunnen een bijdrage leveren aan beperking van maaiveldaling.

Profiel en N-leverend vermogen

Ruitenbergh e.a. (1991) hebben onderzoek gedaan naar het verschil in stikstof leverend vermogen voor grasland als functie van de grondsoort.

Bij mineralisatie van organische stof komt N (stikstof) vrij. De mineralisatiesnelheid neemt toe met de temperatuur van de bodem en kent een optimaal vochtgehalte. Dit vochtgehalte wordt ook beïnvloed door de grondwaterstand. Ondiepe grondwaterstanden remmen de mineralisatie door een hoger vochtgehalte af. In zandgronden is de mineralisatie sneller dan in zwaardere kleigronden. Dit heeft vermoedelijk te maken met een zekere bescherming tegen mineralisatie van organische stof in klei-humuscomplexen (Hassink, 1991). Een lage C/N-quotiënt en een hoge pH verhogen de mineralisatie. Het stikstof leverend vermogen van veengronden is hoog door de grote hoeveelheid organische stof. Mineralisatie en dus afbraak van veen heeft een gunstig effect op de beschikbaarheid van N. Het is wel goed om hierbij de kanttekening te maken dat mineralisatie van veen dus veenoxidatie betreft en leidt tot maaiveldafval en CO₂-emissies. In dit onderzoek hebben we te maken met veengrond met een kleidek en zal de mineralisatie vooral bepaald worden door de organische stof in de relatief zware klei. De klei is weliswaar humusrijk, maar ook kalkloos en de pH is daarmee ook wat lager. Dat betekent een lagere stikstoflevering en dat bij dit soort gronden meer stikstof moet worden toegediend dan bij veengronden met een moerige bovengrond. Vergelijken we de optimale N-bemesting met die van het naar boven gebrachte zand, dan zal de benodigde N -bemesting voor optimale grasgroei van opgebracht zand hoger zijn. Het gemiddelde N-leverend vermogen van zandgronden varieert namelijk van 125-200 kg N/ha/jaar. Dat van slecht en goed ontwaterde veengronden bedraagt resp. 250 en 350 kg N/ha /jaar. Indien de zandgrond droogtegevoelig is, moet het N-leverend vermogen nog met 50 kg N worden verminderd. De cijfers komen ook terug in de adviesbasis voor N-bemesting.

2.2 Emissiebeperking

Een belangrijk vraagstuk is hoe we de klimaatverandering kunnen afremmen door emissies van broeikasgassen uit de landbouw te beperken. Een van de doelstellingen in het Klimaatakkoord is om in 2030 1 mln. ton CO₂-eg/jaar aan emissie te beperken door maatregelen in veenweidegebieden (Klimaatakkoord, 2019). Pijlman e.a. (2020) hebben effecten van gegeven klimaatmaatregelen in de veenweiden in kaart gebracht op het gebied van biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit in het kader van het NOBV-programma. Zij benoemen o.a. het dieper inbrengen van de organische laag van moerige gronden en ondiepe veengronden en verwijzen naar het experiment bij de twee bedrijven in Woudsend. Twee zorgpunten die zij aandragen:

- Bij deze maatregel wordt alle aanwezige (functionele) biodiversiteit dieper in de bodem ingebracht, waarvoor een relatief 'lege' bodem in de plaats komt. Er mag worden verwacht dat het herstel van biodiversiteit op deze percelen tijd zal kosten (jaren tot decennia), zoals het opbouwen van voldoende organische stof in de bodem.
- De typische biodiversiteit behorende bij veengraslanden en veenecosystemen zal door de maatregelen definitief verloren gaan. Zo hebben veengraslanden een belangrijke plaats in de habitat van weidevogels in Nederland.

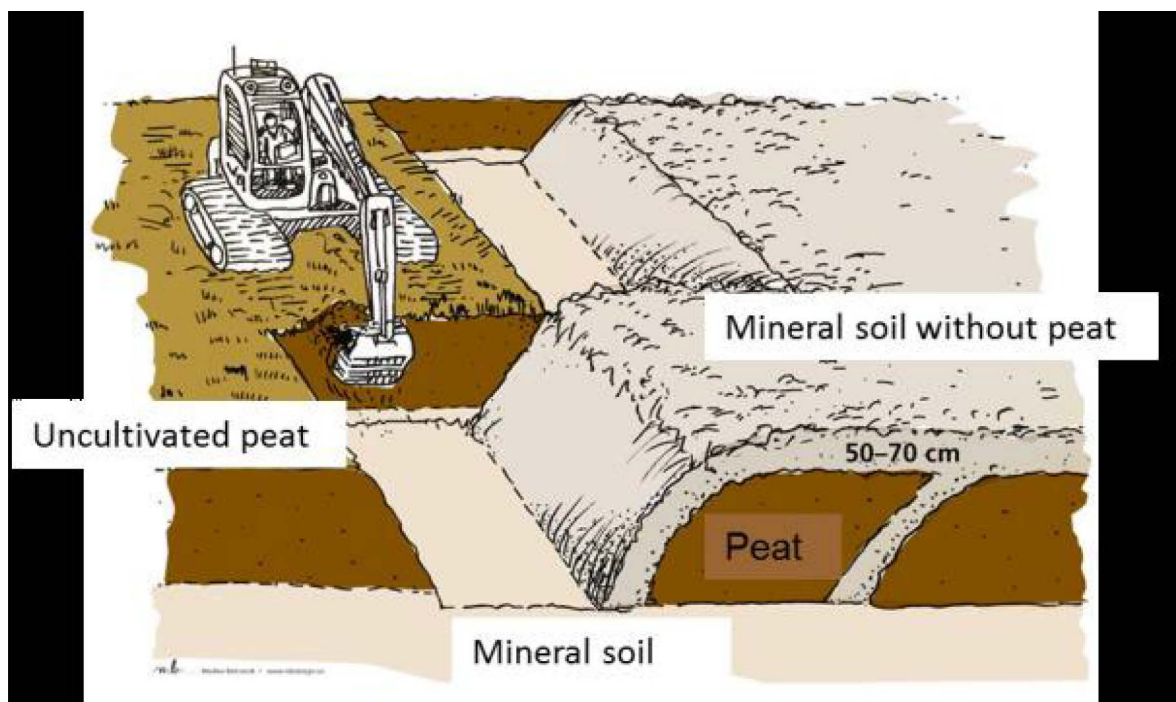
In de Veenkoloniën hebben Verstand e.a. (2020) een bureaustudie verricht naar modellen voor klimaatbestendige agrarische bedrijven die de emissie op veen en moerige gronden kunnen beperken. Dit onderzoek richtte zich met name op akkerbouw-matig gebruik, waarbij verandering van landgebruik eventueel een optie zou kunnen zijn. Een van de conclusies van het onderzoeksteam van de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten is dat bij de dunnere veengronden en moerige gronden het onderwerken van veen tot onder de grondwaterspiegel een oplossing kan zijn voor de CO₂-emissie als het veen voldoende diep wordt bedekt en het zorgt, als het veen wordt gemengd, ook voor betere gewasopbrengsten en mogelijkheden voor circulaire landbouw. Ze wijzen daarbij ook op de studies in Noorwegen en Engeland (zie verderop in deze paragraaf). Het is wel belangrijk te vermelden dat in deze studie geen experimenteel onderzoek is uitgevoerd en dat slechts verwachtingen worden uitgesproken.

Verder worden de volgende opmerkingen hierover in dat rapport gemaakt:

- Het onderwerken van het veen (omzanden, keren van het profiel) lijkt een veelbelovende manier om snel grote hoeveelheden CO₂-emissies te verminderen.
- De gecreëerde minerale deklaag moet daarbij zo dik zijn dat de zuurstofdoorvoer naar het veen zeer beperkt is of dat het veen onder de deklaag geheel of nagenoeg verzadigd blijft met water.
- Naast de dikte van de deklaag speelt dus ook de grondwaterstand een grote rol.
- Door een deel van het veen door de minerale deklaag te mengen, kan bovendien de bewortelingsdiepte en de bodemkwaliteit substantieel worden verbeterd, wat gunstig is voor beter gewasopbrengsten en een circulaire landbouw mogelijk maakt.
- Daar staat tegenover dat het veen dat in de deklaag is gemengd weer deels blootstaat aan afbraak. Dit wordt wellicht min of meer gecompenseerd door aanvoer van organische stof door de diepere beworteling.

In het verleden is veel onderzoek verricht naar profielverbeteringen, waarin door middel van diepploegen of mengwoelen veen gemengd wordt met zand of klei. Het doel hiervan was verbeteren van het profiel door veen en minerale grond te mengen en harde lagen te verbreken. We hebben er in paragraaf 2.1 al veelvuldig aan gerefereerd.

In Figuur 1 wordt een illustratie gegeven wat het onderzoeksteam van de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten in de veenkoloniën voor ogen hadden. Deze illustratie komt uit een onderzoeksartikel van Hansen et al. (2016). In die publicatie wordt gerefereerd aan een onderzoek in Noorwegen waarbij ze broeikasemissies onderzocht hebben bij de ruwvoerproductie op omgekeerde veengrond.



Figuur 1 Het principe van het bedekken van veen met minerale bodem (Hansen et al., 2016).

Zij hebben de uitstoot van broeikasgassen (CH₄ en N₂O), agronomische prestaties en bodemgesteldheid bestudeerd in een grasland op een omgekeerde veengrond die eerder werd gecultiveerd en gedraineerd en vergeleken met grasland op conventioneel gedraineerd veen. Het omkeren was zo volledig mogelijk, waarbij men hier en daar een zandige 'verbinding' met de minerale ondergrond aanbracht (Figuur 1). Een aangrenzend perceel ongedraineerd veen werd gebruikt als referentie voor de uitstoot van broeikasgassen. Voorlopige resultaten (tweejarige veldgegevens) lieten zien dat de broeikasgasemissies van het omgekeerde veenprofiel zijn verminderd in vergelijking met het gedraineerde veen, voornamelijk veroorzaakt door lagere CH₄-emissies. De verschillen bedroegen ongeveer 2-4 t CO₂ -eq/ha/jaar in 2015. De CH₄-emissie van gedraineerd veen was relatief hoog. De

oorzaak daarvan was slechte infiltratie bij neerslag, resulterend in een waterverzadigde bodem. Het omgekeerde veenprofiel had juist een veel betere ontwatering verkregen, waarbij de resterende CH₄-emissie vanaf de begraven veenlaag naar boven in het profiel onderweg werd omgezet door microbiële activiteit. Het is ook belangrijk om aan te geven dat de klimaatomstandigheden op deze locatie duidelijk anders zijn dan in Nederland met lagere temperaturen en veel meer neerslag.

Interessant erbij te vermelden was ook dat de waterverzadingsgraad van het gedraineerde veen hoger was dan die van het gekeerde veen. Deze gegevens suggereren dat veeninversie de agronomische haalbaarheid van voederproductie in koele, vochtige gebieden met een overvloed aan organische bodems kan verbeteren en een manier kan bieden voor agronomische aanpassing aan een klimaat met meer neerslag. Tegelijkertijd kan het de broeikasgas footprint van de voederproductie verkleinen.

In 2018 en 2019 is het onderzoek vervolgd met een gewijzigde projectnaam (PEATINVERT). Titel: omgraven van veen om de uitstoot van broeikasgassen uit veengrond te verminderen.

De voorlopige resultaten daarvan vonden we op de website van de projectenbank van de Norwegian Research Council (<https://prosjektbanken.forskningsradet.no/#/project/NFR/267456/Sprak=en>). De metingen van de eerste twee jaren (2018 en 2019) wijzen erop dat de hoge CH₄-productie van de ondergewerkte veenlaag oxideert tot CO₂ voordat het aan de oppervlakte komt. Omdat CO₂ een minder sterk broeikasgas is dan CH₄, is dat gunstig. Verder onderzoek wordt er nog gedaan naar de zuurstofprofielen in de minerale bovengrond, die daar het gevolg van zijn. Verder gaat men de C -balans compleet proberen te maken.

Door Richardson et al. (1991) is onderzoek gedaan naar het effect van mengen van een ondiep veenprofiel, waarbij in een locatie (A) tot een diepte van ca. 80 cm met een venige leem met een dikte van 36 tot 43 cm en een OS-gehalte van ca. 27% werd gemengd. Op een andere locatie (B) werd gemengd tot een diepte van ca. 60 cm met een lemige veenlaag met een dikte van 36 tot 66 cm. Ongeveer 20 jaar na het mengen zijn van de behandelde en onbehandelde (controle)percelen de organische stof hoeveelheden bepaald tot een diepte van 90 cm bij locatie A en tot 60 cm bij locatie B. Het bleek dat het gemengde profiel bij locatie A ongeveer 215 ton meer organische stof bevatte dan het controleperceel. Per jaar zou er dus ongeveer 10 ton organische stof minder zijn geoxideerd door het mengen. Dit komt overeen met een besparing van ca. 20 ton CO₂-emissie per ha per jaar.

Bij locatie B was er geen besparing, maar juist een verlies aan organische stof van ca. 90 ton in ca. 18 jaar, dus ongeveer 5 ton per jaar. Dit komt overeen met een extra CO₂-emissie van ca. 10 ton CO₂-emissie per ha per jaar. Door Richardson et al. (2011) wordt dit verklaard door de ondiepe bewerking tot slechts 60 cm, het hogere organischestofgehalte van het lemige veen en omdat de veenlaagdiepte varieerde tussen de 36 en 66 cm, zodat er veel minder mineraal materiaal door het veen werd gemengd.

Op beide locaties werd akkerbouw bedreven. Bij locatie A werd geen significant effect op de oogst gevonden. Bij locatie B werd een iets hogere oogst gerealiseerd, maar niet significant. Wel was de onkruiddruk op beide locaties minder.

Brouns en Verhoeven (2013) hebben o.a. onderzoek gedaan naar de effecten van de duur dat veen aan de lucht worden blootgesteld voordat de afbraak omschakelt van zeer langzaam naar snel, of die afbraak daarna op dat hoge niveau blijft wanneer de monsters weer anaeroob worden en of er verschillen zijn tussen veentypen (eutroof en oligotroof veen) en tussen natuurlijk en agrarisch landgebruik. Ze concluderen dat 'het slot eraf' is als er door grondwaterstanddaling meer zuurstof in het profiel is gekomen en afbraak eenmaal begonnen is. Grondwaterstijging doet het proces niet stoppen. Bij de relatief kortdurende incubaties met zuurstof vonden we vooral effecten op de eutrofe veentypen (Riet- en bosveen) en veel minder bij veenmosveen. Het is het veentype, en blijkbaar vooral het daarmee samenhangende gehalte aan fenolen, dat het verschil veroorzaakt. Landgebruik gaf geen verschil.

Voor de beperking van veenoxidatie en CO₂-emissie zijn diepe slootpeilen en de daaruit volgende diepe grondwaterstanden veel te diep en zijn hogere slootpeilen en grondwaterstanden noodzakelijk. Een van de mogelijkheden is dan toepassing van hogere slootpeilen en infiltratie van slootwater via de drains, zodat ook in de zomerperiode de grondwaterstanden hoog blijven. Omdat zowel de drainage als de infiltratie voldoende moet zijn, zijn drainafstanden van ca. 4 m nodig. Bij goed doorlatend veen kan de drainafstand wat groter zijn (<http://www.kennisprogrammabodemdaling.nl/home/wp-content/uploads/2019/05/Factsheet-Onderwater-drukdrainage-2018.pdf> en <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/onderwaterdrainage>).

Op basis van de peilbeheerkaart van Waterschap Fryslân was het slootpeil van zowel zomer als winter -2,2m NAP. AHN2 (2013) geeft voor het gemiddelde van de onderzochte punten bij de twee bedrijven in Ypecolgsa een maaiveldligging van -1,2 NAP. Dat betekent dat het slootpeil op gemiddeld 100 cm -mv staat. In de veenweidevisie van de provincie Fryslân wordt een voorstel voor peilbeheer gedaan, waarbij de gemiddelde grondwaterstand 40 cm -mv zou worden. Dit heeft vrij zeker effect op de CO₂-emissie. In allerlei studies wordt uitgegaan van grondwaterstandveranderingen bij de berekening van effecten.

Fritz et al. (2017) stellen per 10 cm grondwaterstandverandering een gemiddelde GHG-emissieverandering vast van 4,5 t CO₂-eq/ha/j. Taft et al. (2018) komen in Engeland met labproeven van in situ gestoken bovengrondmonsters tot 26 +/-6kg CO₂-eq/ha/dag of gemiddeld 9,2 ton CO₂-eq/ha/jaar bij uitdroging gedurende 53 dagen vrije drainage op 30 cm en een waterstand van 0 cm. Per 10 cm is dit dus 3,1 ton CO₂-eq/ha/jaar. Kanttekening bij deze resultaten was dat bij het tussenobject met een waterniveau van 15 cm de N₂O-emissie het hoogst was en daarmee de totale emissie 62,8 ton CO₂-eq/ha/jaar bedroeg. Er lijkt dus blijkaar een optimum in de grondwaterstand voor broeikasgasemissies te zijn.

Wilson et al. (2016) hebben voor de IPCC o.a. emissiefactoren voor broeikasgasemissie van veengronden met gras en bouwland op een rijtje gezet. Zij berekenen per landgebruik emissies, maar maken ook onderscheid naar ondiep en diep gedraineerd, nutriëntenarm versus nutriëntenrijk en na herbevochtiging of herstel van de oorspronkelijke situatie. In Tabel 1 staan enkele van de relevantste kengetallen genoemd voor de gematigde klimaatzone. Herbevochtiging (rewetting) gaat over locaties die na drainage weer naar de natuurlijke situatie zijn teruggebracht. Dat kan betekenen dat het water aan maaiveld staat.

Tabel 1 Emissiefactoren voor veengrond met gras en bouwland bij nutriëntenrijk en diep gedraineerd. (In t CO₂ eq/ha/jaar). GWP= totaal als Global Warming Potential), ER = verschil in GWP tussen drainage en vernat. DOC = Dissolved Organic Carbon (opgelost koolstof).

Landgebruik	Gedraineerd					Herbevochtiging na drainage					
	CO ₂	DOC	CH ₄	N ₂ O	GWP	CO ₂	DOC	CH ₄	N ₂ O	GWP	ER
Grasland	22.37	1.14	2.5	3.84	29.85	0.96	0.88	10.7	0.03	12.57	17.28
Bouwland	28.97	1.14	1.98	6.09	38.18	0.96	0.88	10.7	0.03	12.57	25.61

De Haan et al. (2013) en Schils et al. (2012) hebben op basis van praktijkmetingen van een jarenlang project 'Koeien en Kansen' een praktijktool ontwikkeld waarin voor verschillende bodems en grondwatertrappen emissiebeperkende maatregelen kunnen worden uitgerekend voor een rundveehouderijbedrijf (de broeikasgaswijzer). De input die zij voor verschillende bodems hanteren, hebben wij gebruikt om na te gaan in welke orde grootte de emissieverschillen zijn bij de kring van veengrond in zandiger of zaveliger grond. De absolute waarde van de emissies zijn hier niet zo relevant, want die gelden voor de hele bedrijfssituatie en niet alleen voor het land.

In Tabel 2 geven we een overzicht van de emissies voor verschillende bodems, omdat de gekeerde profielen van de twee onderzochte bedrijven niet voldoen aan een vergelijkbare originele bodem. Wat betreft de bodem gaat het hier overigens alleen om de N₂O-emissies. Wat betreft de overige componenten gaat het uitsluitend om de bijdragen in andere onderdelen van het veehouderijbedrijf. In Tabel 2 wordt geen rekening gehouden met de CO₂-emissie door veenoxidatie. Ook de CH₄-emissie

uit het veen of de sloten is buiten de berekening gehouden en de aangehouden CH₄-emissie van 10 ton CO₂-eq per ha per jaar wordt veroorzaakt door de koeien. De klei-op-veen-bodem komt het meest overeen met het originele profiel bij de twee bedrijven. De grondwatertrap hebben we overal op Gt II* gehouden. De broeikasgaswijzer blijkt overigens weinig gevoelig voor de Gt. Bij Gt III* berekent het dezelfde emissies.

De broeikasgasemissie van klei op veen is 2,1 ton CO₂-eq/ha/jaar hoger dan die van zavel of zand. Vergeleken met veen onder een zanddek of overige veengronden is er nagenoeg geen verschil. Het verschil wordt overigens volgens dit rekenmodel volledig veroorzaakt door N₂O-emissie en er wordt geen rekening gehouden met de CO₂-emissie door veenoxidatie. Dat betekent dat dit slechts een beperkte inschatting geeft van de werkelijke verschillen in equivalente CO₂-emissie tussen de bodems.

Tabel 2 Overzicht van broeikasgasemissies voor verschillende bodems bij Gt II* voor een standaard melkveehouderijbedrijf met 600.000 l melkproductie en 40 ha land (De Haan et al., 2013).

Emissiebron	klei op veen (In t CO ₂ -eq/ha/jaar)	Zavel met ondergrond veen en zand (in t CO ₂ -eq/ha/jaar)	Veen met zanddek (in t CO ₂ -eq/ha/jaar)	Overige veengronden (in t CO ₂ -eq/ha/jaar)	Zand met humeus dek > 30cm (in t CO ₂ -eq/ha/jaar)
N ₂ O	4.7	2.6	4.7	4.8	2.7
CH ₄	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
CO ₂ -energie	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Totaal	19.4	17.3	19.4	19.5	17.3

Hoving e.a. (2020) berekenen de CO₂-emissie op basis van een omgebouwde formule voor maaiveldddaling van Van den Akker et al. (2007). Daarbij bedraagt de CO₂-emissie per mm maaiveldddaling 2,26 ton CO₂-eq/ha/jaar. Bij veengronden met een dun kleidek (< 40 cm) hangt de emissie sterk samen met de GLG (bepaald met een dataset met veengronden met en zonder kleidek):

$$y = 53,19 \text{ GLG} - 23,66; r^2 = 0,61$$

Passen we deze formule toe op de veengronden met een kleidek met GLG 1m-mv, dan komt er een jaarlijkse emissie uit van 29,5 ton CO₂-eq/ha. Dat betreft, in tegenstelling tot de waarden in Tabel 2, alleen oxidatie door veen. Voor een veehouderijbedrijf inclusief de emissie door veenoxidatie moet men dus de waarde uit Tabel 2 voor klei-op-veen (19,4 t CO₂-eq/ha/jaar) en de veenoxidatie (29,5 t CO₂/ha/jaar) bij elkaar optellen. Als de GLG 20 cm ondieper (0,8m -mv.) wordt, zou de emissie in de bodem dalen naar 18,9 ton CO₂-eq/ha/jaar. Bij een GLG van 44 cm -mv is de netto emissie volgens deze formule overigens 0; dat komt overeen met Gt I.

Uit de formule volgt een verandering in de CO₂-emissie per 10 cm GLG-verandering van 5,3 ton CO₂-eq/ha/jaar. Die waarde is wat hoger dan de waarden van Taft en Fritz (resp. 3,1 en 4,5 t CO₂-eq/ha/jaar per 10 cm grondwaterstandverandering). Het verschil kan voor een deel verklaard worden door het verschil tussen GLG (de gemiddeld laagste grondwaterstand) en gemiddelde grondwaterstand. In het achtergronddocument van de veenweidevisie (Veenweideprogramma 2021-2030, 2020) wordt verwezen naar cijfers en berekeningsmethoden van WUR en RU (Radbouduniversiteit). In grote lijnen komen de gebruikte emissiereducties met bovenstaande cijfers overeen, deels omdat ze ervan afgeleid zijn. Het is belangrijk om goed te definiëren welke grondwaterstand steeds bedoeld wordt. Gaat het om een jaargemiddelde of zomergemiddelde? GLG zoals hiervoor beschreven, heeft bijvoorbeeld betrekking om een zomergemiddelde van de drie laagste grondwaterstanden (LG3), waarbij de GLG het gemiddelde is van de LG3's over acht jaar meten.

Onderwaterdrainage tracht ook succesvol veen onder meer anaerobe omstandigheden te conserveren. Op verschillende proefpercelen in Fryslân hebben van den Berg e.a. (2019) twee jaar onderzoek gedaan met de Eddy Covariance-methode naar de CO₂-emissie en CO₂-opname van grasland met en zonder onderwaterdrainage. Ze hebben uit de jaarbalansen (bestaande uit veenoxidatie, C-vastlegging door assimilatie, C-uitstoot door ademhaling en afbraak, C-afvoer door de grasoogsten en C-aanvoer

in de mest) daar nog geen effect op de emissie gevonden. Wel meten ze hogere emissies wanneer het door regenval of irrigatie natter was en bij hogere temperaturen. Uit het onderzoek kan ook geconcludeerd worden dat door aanleg van onderwaterdrainage waterstanden veranderen (winter lager, zomer hoger), wat het zwellen en krimpen van organisch bodemmateriaal en daarmee het volume van de bodem beïnvloedt.

In het Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) dat vorig jaar is opgestart, wordt ook onderzoek gedaan naar de omvang van de CO₂-uitstoot uit veen. Doel van het NOBV is de effectiviteit van verschillende maatregelen die de uitstoot van broeikasgassen verminderen te onderzoeken en de emissies beter te voorspellen. Daarbij worden tevens de effecten op bodemdaling in kaart gebracht. De eerste resultaten van 2020 werden pasgeleden gedemonstreerd in een 'deelexpeditie Broeikasgassen Veenweiden'. Op vijf bedrijven in Nederland wordt onderzoek gedaan naar de emissies. Er wordt daarbij o.a. onderzocht wat het effect van onderwaterdrainage is. De eerste resultaten richtten zich met name op de meetkwaliteit van emissies en de processen. Die emissies worden met het kamersysteem continu gemeten. Daarnaast wordt er ook in combinatie met het Eddy-covariance-systeem nu goed gemeten.

Boonman (PhD VU) is bezig om een deel van de processen rondom veenafbraak te onderzoeken. Hij liet met een grafiek zien dat bij een waterverzadigingsgraad van 0,8 de CO₂-productie als gevolg van afbraak van een verweerde veenlaag optimaal is. Een minder optimale emissie heeft te maken met de energie die microben moeten investeren om de osmotische waarde op peil te houden, wanneer het droger wordt. De bodemtemperatuur beïnvloedt de CO₂-emissie exponentieel, bekend van de factor Q₁₀, die de toename van de afbraak bij 10°C temperatuurstijging weergeeft en voor veen 2,4-5,6 bedraagt. Hij gebruikt die twee factoren om met een model de dagen/jaar dat er in de bodem een zekere microbiële activiteit is, te berekenen. Voor onderwaterdrainage berekent hij over het hele perceel wat verhoogde waarden vergeleken met een referentieperceel, waar vooral aan de slootrand een veel hogere activiteit is. Vervolgens vermenigvuldigt hij het aantal dagen met de diepte van de lagen. In een droog jaar berekent hij voor het profiel een verlaging van de emissie door onderwaterdrainage ten opzichte van de referentie; in een nat jaar niet. Deze resultaten zijn sterk afhankelijk van het slootpeil of bij drukdrainage de ingestelde streefwaarde voor de grondwaterstand en feitelijk de gerealiseerde grondwaterstanden (Van den Akker, schrift. mededeling). Kwel of wegzijging speelt hierin ook een belangrijke rol. Het is wel goed om aan te geven dat dit modelberekeningen zijn die nog geverifieerd moeten worden. Drukdrainage is nog niet onderzocht.

Van den Akker et al. (2007) geven aan dat de grootste emissie in de zomer bij hoge temperaturen en diepe grondwaterstanden (GLG) bereikt wordt. Wat betreft bodemtemperatuur komt dat overeen met de uitgangspunten van Boonman, maar het effect van vocht in de bodem lijkt door Boonman secuurder te worden beschreven.

3 Casestudie

3.1 Veldonderzoek bij twee bedrijven in Ypecolsgea

De literatuurstudie geeft ons inzicht in de algemene kennis die is beschreven in eerdere onderzoeksprojecten. Voor meer detail gebruiken we de kennis van de al dan niet gekeerde bodem bij twee agrarische bedrijven in Ypecolsgea. Beide bedrijven hebben drie jaar geleden (2017) een aantal percelen omgezet. Hierbij is met een hydraulische kraan het zand uit de ondergrond gehaald en grotendeels over de bovenliggende lagen klei en het veen gebracht. We hebben op verschillende percelen profielbeschrijvingen gemaakt, profielfoto's genomen en ringmonsters gestoken. In eerste opzet is ervoor gekozen om totaal vier percelen met originele profielopbouw en vier percelen met gekeerde profielen te onderzoeken. Uiteindelijk hebben we vier gekeerde en drie originele percelen bemonsterd (Van profiel 22, ringmonsterlocatie 2_0 zijn geen ringmonsters genomen). De plekken zijn geselecteerd op spreiding over de bedrijven en de aanwijzing dat percelen al of niet omgezet zijn. We hebben steeds getracht om vlak bij (bij voorkeur binnen 100 m) een punt met een gekeerde grond ook een origineel profiel in de buurt te nemen. Dit is alleen bij locatie 4 niet gelukt, daar is de afstand groter: 245 m. We gingen ervan uit dat zo'n origineel profiel relatief goed zou lijken op de oorspronkelijke situatie van het gekeerde punt. Daarnaast bleek bij een van de bedrijven een perceel al zeven jaar geleden te zijn omgezet. Ook daarvan hebben we een profielbeschrijving gemaakt. Bij elk punt waar ringmonsters zijn genomen, zijn in de omgeving extra profielbeschrijvingen gemaakt om de variatie op korte afstand in mee te nemen. In totaal zijn 32 profielbeschrijvingen gemaakt (waarvan 3 in Tjalleberd).

ENVISO Ingenieursbureau heeft tegelijkertijd onderzoek gedaan naar de ruimtelijke spreiding van de bodemopbouw op beide bedrijven ENVISO (2020). Ze hebben ook analyses laten verrichten aan bodemmonsters. Die informatie hebben we ook voor dit onderzoek gebruikt. In Figuur 2 staan de punten aangegeven waar een bodemprofiel is beschreven. De code geeft locaties aan waar ook ringmonsters zijn genomen. Het voorste cijfer van de code geeft de volgorde van de beschrijving van de locaties in Tabel 3 aan. Het achterste deel geeft aan of de locatie van een origineel of van een omgezet profiel was (0 resp. 1). Bij code 0_2 is zeven jaar geleden een perceel omgezet.



Figuur 2 Punten waar profielbeschrijvingen zijn gemaakt en locaties waar ook ringmonsters zijn genomen; de ringmonsterlocaties hebben een code: het voorste cijfer geeft de volgorde van de locaties in Tabel 3 aan, het achterste cijfer geeft aan of het een origineel profiel was (0) of een omgezet profiel (1). Bij code 0_2 is alleen een profielbeschrijving gemaakt op een perceel dat 7 jaar geleden is omgezet (profielbeschrijving (47)).

3.1.1 Beschrijving van de bodem

Bij beide bedrijven in Ypecolsgea zijn percelen omgezet. In Tabel 3a t/m 3d hebben we de profielbeschrijvingen op ringmonsterlocaties, van punten die redelijk dicht bij elkaar (max. 250 m) voorkomen, bij elkaar gezet om een beeld te krijgen van de verschillen (vergelijkbare profielen). Van de meeste van deze profielbeschrijvingen zijn in de bovengrond ringmonsters genomen, behalve op locatie 2_0 (22). Bij de veenlagen duidt de horizontcode op zwart (Cw) of bruin (Cr) veen.

In Figuur 3 staan ze op volgorde grafisch afgebeeld.

Tabel 3a *Vergelijkbare profielen, locatie 1.*

Profielcode (boringnummer Bijlage 1)	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv.)	% os	% lutum	% zand	Omschrijving
1_0 (27)	Origineel	1A/Cg	1	0-35	12	45	-	Heterogeen met knipklei
		2Cw1	2	35-55	90	-	-	Schalterveen
		2Cw2	3	55-80	90	-	-	Zwart, veel lok (wollegrasveen)
		2Cr1	4	80-145	90	-	-	Onderaan iets gliede
		3Bhe	5	145-160	6	-	80	Lemig, zeer fijn dekzand
		3BCe	6	160-200	4	-	85	Matig fijn dekzand
1_1(29)	Omgezet	1Cu	1	0-40	3	5	-	Bruingrijs, heterogeen, Bh en BC
		2Cu	2	40-85	80	-	-	Zandbijmenging en lok
		3Ahb	3	85-115	8	45	-	Oude bovengrond
		4Cr	4	115-240	80	15	-	Iets zandbijmenging
		5Cr	5	240-250	0.5	4	85	Matig fijn dekzand

Tabel 3b *Vergelijkbare profielen, locatie 2.*

Profielcode (boringnummer Bijlage 1)	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv.)	%os	% lutum	% zand	Omschrijving
2_0(22)	Origineel	1A/Cg	1	0-30	10	44	-	Knipkleiresten
		2Cw1	2	30-45	90	-	-	Schalterveen
		2Cw2	3	45-75	90	-	-	
		2Cr	4	75-120	90	-	-	Dun gliedelaagje naar het zand
		3Bhe	5	120-145	3	4	84	Bruin, Zwaklemig, matig fijn dekzand
		3BC	6	145-150	1	3	88	Grijsbruin matig fijn dekzand
2_1(42)	Omgezet	1Cu1	1	0-60	2	4	84	Dun zodelaagje
		1Cu2	2	60-140	5	4	84	Veen- en waterhardresten
		2Cr	3	140-185	60	15	-	zandresten
		3Cr1	4	185-220	10	44	-	Vnl. kleibovengrond
		3Cr2	5	220-240	0.3	3	87	Vast, matig fijn dekzand

Tabel 3c *Vergelijkbare profielen locatie 3.*

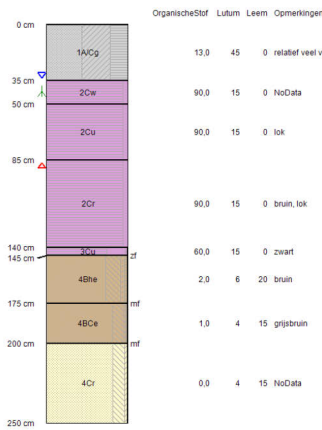
Profielcode (boringnummer Bijlage 1)	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv.)	%os	% lutum	% zand	Omschrijving
3_0(35)	Origineel	1Ahg	1	0-35	8	44	-	Redelijk homogeen
		2Cw1	2	35-55	90	-	-	Zwart, Schalterveen
		2Cw2	3	55-80	90			Zwart
		2Cu	4	80-110	90	-	-	Zwart
		2Cr	5	110-130	90	-	-	Bruin, lok
		3Cr	6	130-140	60		82	Bruingrijs
		4Bhe	7	140-180	1.5	4	84	Bruin, sterklemig, zeer fijn dekzand
		4Cr	8	180-200	0.4	4		Bruingrijs, zeer fijn dekzand
3_1(32)	Omgezet	1Cu1	1	0-60	2	4	84	Dun zodelaagje
		1Cu2	2	60-140	5	4	84	Veen- en waterhardresten
		2Cr	3	140-185	60	15	-	Zandresten
		3Cr	4	185-220	10	44	-	Vnl. kleibovengrond
		4Cr	5	220-240	0.3	3	87	Vast, matig fijn dekzand

Tabel 3d *Vergelijkbare profielen, locatie 4.*

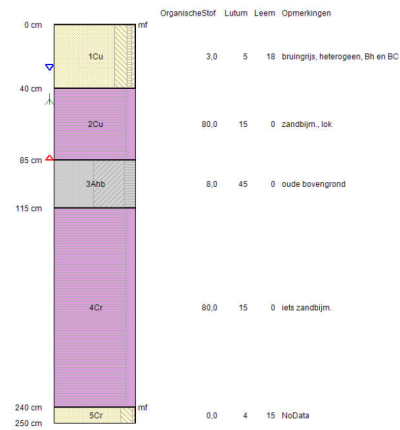
Profielcode (boringnummer Bijlage 1)	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv.)	%os	% lutum	% zand	Omschrijving
4_0(48)	Origineel	1Ah	1	0-25	12	44	-	Enkele veen- en knipkleiresten
		2Cw	2	25-55	90	-	-	Zwart, Schalterveen
		2Cu	3	55-70	90			Zwart, lok
		3Bhe	4	70-95	2	4	84	Bruin, sterklemig fijn dekzand
		3BC	7	95-140	1.	3	86	Grijsbruin, fijn dekzand
		3Cr	8	140-150	0.4	3	86	Fijn dekzand
4_1(51)	Omgezet	1Cu	1	0-65	2	4	86	Grijs en bruin zand
		2Cu	2	65-145	70			Heterogene zandbijmenging
		3Cu	3	145-175	10	45	-	Oud kleidek, iets veen
		4Cu	4	175-200	80		-	Iets zandbijmenging
		5Cr	5	200-240	0.3	3	86	Grijs, fijn dekzand

1 Origineel/Omgezet (1_0,1_1)

Algemeen Gebied : 8400 Profielid : 84003027 Locatie : NoData Coördinaten : 169809,649066 Hoogte : -1,09 Landgebruik : GR	Bodem Bodemtype : Geb. code : 15s Bew. diepte : 45 cm Eff. worfleid. : 45 cm	Grondwater Gt : IIB GHG : 30 cm GLG : 90 cm
Afgeleide gegevens kD : -9999.0 cm2/d c : -9999.0 d ZKrit bij 1 mmid : -999 cm ZKrit bij 2 mmid : -999 cm VKrit bij 1 mmid : -999 mm VKrit bij 2 mmid : -999 mm Opmerking: gedraineerd en begreppeld	Berging Brg vol GHG bij -0,29 cmid : -9999.00 cm Brg cof GHG bij -0,29 cmid : -9999.00- Brg vol GLG bij 0,04 cmid : 9999.00 cm Brg cof GLG bij 0,04 cmid : -9999.00-	Gmax QMaxGHG : -9999.00 cmid QMaxGLG : -9999.00 cmid

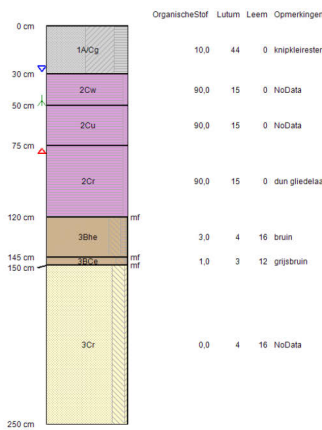


Algemeen Gebied : 8400 Profielid : 84003029 Locatie : NoData Coördinaten : 169809,649039 Hoogte : -1,17 Landgebruik : GR	Bodem Bodemtype : Geb. code : 2x23n5F Bew. diepte : 60 cm Eff. worfleid. : 60 cm	Grondwater Gt : IIB GHG : 25 cm GLG : 85 cm
Afgeleide gegevens kD : -9999.0 cm2/d c : -9999.0 d ZKrit bij 1 mmid : -999 cm ZKrit bij 2 mmid : -999 cm VKrit bij 1 mmid : -999 mm VKrit bij 2 mmid : -999 mm Opmerking: omgezet	Berging Brg vol GHG bij -0,29 cmid : -9999.00 cm Brg cof GHG bij -0,29 cmid : -9999.00- Brg vol GLG bij 0,04 cmid : 9999.00 cm Brg cof GLG bij 0,04 cmid : -9999.00-	Gmax QMaxGHG : -9999.00 cmid QMaxGLG : -9999.00 cmid

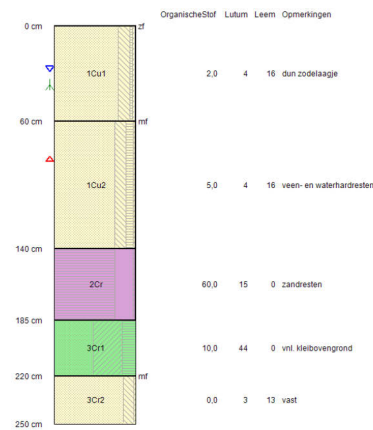


2 Origineel/Omgezet (2_0,2_1)

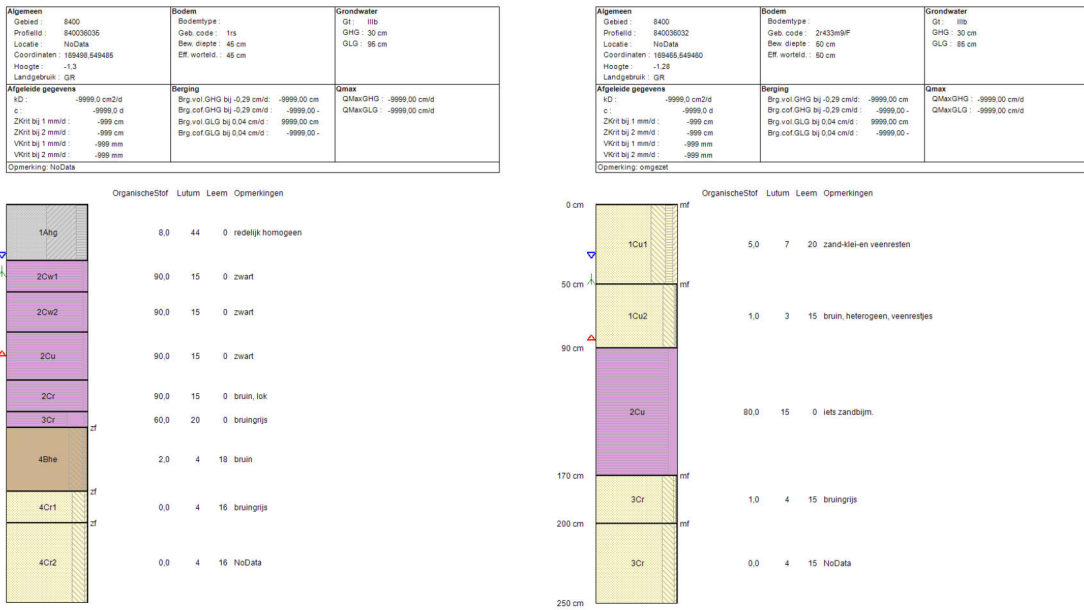
Algemeen Gebied : 8400 Profielid : 84003022 Locatie : NoData Coördinaten : 169836,649299 Hoogte : -1,22 Landgebruik : GR	Bodem Bodemtype : Geb. code : Irg12 Bew. diepte : 60 cm Eff. worfleid. : 60 cm	Grondwater Gt : IIB GHG : 25 cm GLG : 60 cm
Afgeleide gegevens kD : -9999.0 cm2/d c : -9999.0 d ZKrit bij 1 mmid : -999 cm ZKrit bij 2 mmid : -999 cm VKrit bij 1 mmid : -999 mm VKrit bij 2 mmid : -999 mm Opmerking: drainage verstoord	Berging Brg vol GHG bij -0,29 cmid : -9999.00 cm Brg cof GHG bij -0,29 cmid : -9999.00- Brg vol GLG bij 0,04 cmid : 9999.00 cm Brg cof GLG bij 0,04 cmid : -9999.00-	Gmax QMaxGHG : -9999.00 cmid QMaxGLG : -9999.00 cmid



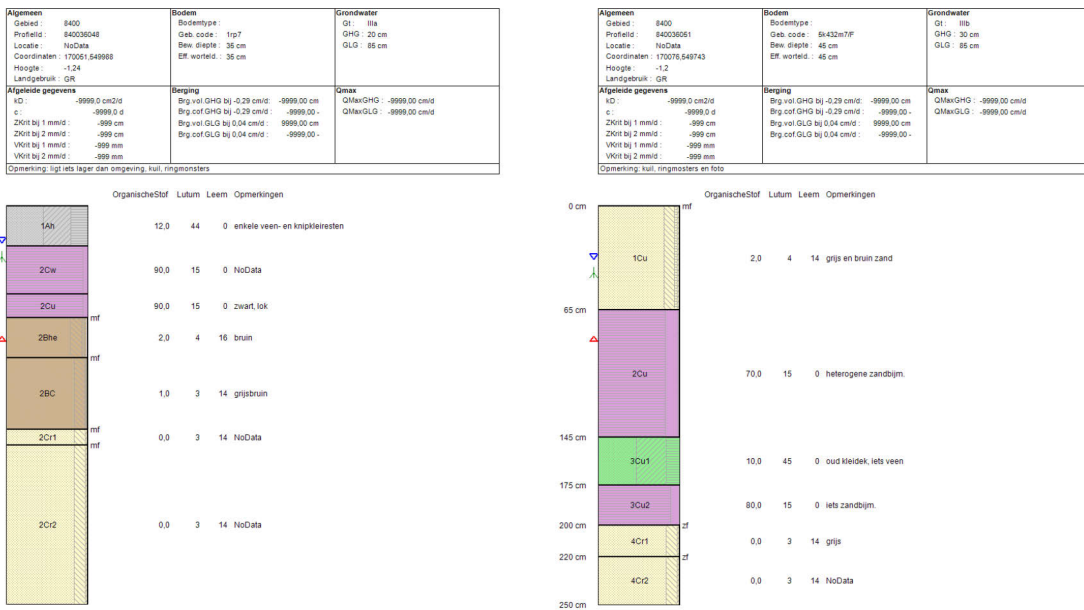
Algemeen Gebied : 8400 Profielid : 84003042 Locatie : NoData Coördinaten : 169845,649374 Hoogte : -1,29 Landgebruik : GR	Bodem Bodemtype : Geb. code : 6x432v14F Bew. diepte : 40 cm Eff. worfleid. : 40 cm	Grondwater Gt : IIB GHG : 25 cm GLG : 65 cm
Afgeleide gegevens kD : -9999.0 cm2/d c : -9999.0 d ZKrit bij 1 mmid : -999 cm ZKrit bij 2 mmid : -999 cm VKrit bij 1 mmid : -999 mm VKrit bij 2 mmid : -999 mm Opmerking: nog niet gedraineerd	Berging Brg vol GHG bij -0,29 cmid : -9999.00 cm Brg cof GHG bij -0,29 cmid : -9999.00- Brg vol GLG bij 0,04 cmid : 9999.00 cm Brg cof GLG bij 0,04 cmid : -9999.00-	Gmax QMaxGHG : -9999.00 cmid QMaxGLG : -9999.00 cmid



3 Origineel/Omgezet (3_0,3_1)



4 Origineel/Omgezet (4_0,4_1)



Figuur 3 Ingekleurde bodemprofielen op schaal (verticaal) van de 4 originele en gekeerde profielen uit Figuur 2 en Tabel 3. De kleuren geven de grondsoort aan (grijs: kleidek, paars: veen, bruin: humeus zand, geel: humusarm zand, groen: kleilaag). De wortelzone en grondwaterfluctuatieszone worden met tekens aangegeven.

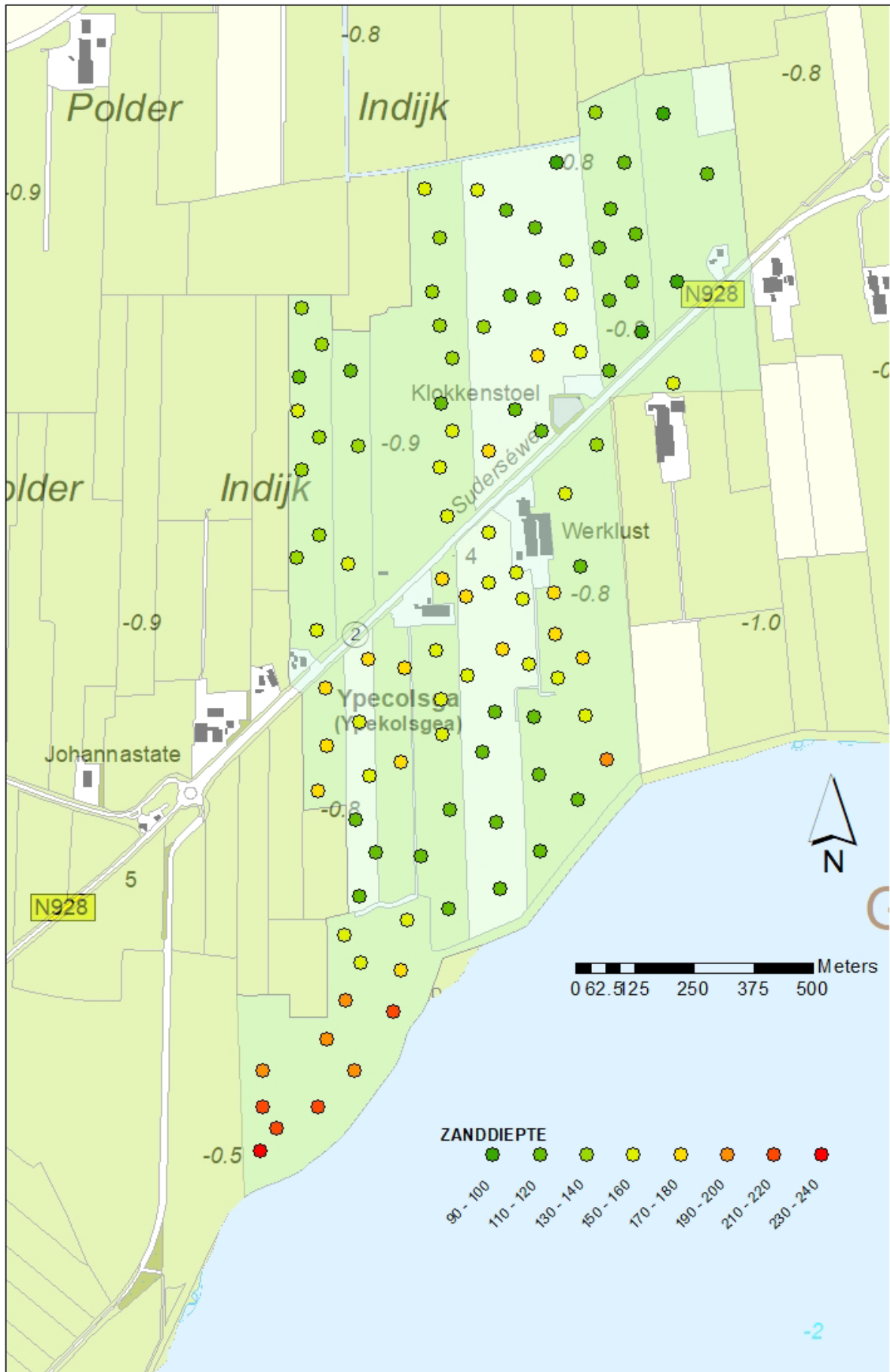
In Figuur 3 staan de bodemprofielen uit Tabel 3 op schaal weergegeven. De kleuren geven de verschillende bodemlagen weer. Het originele kleidek is grijs ingetekend. In het gekeerde profiel is het soms herkenbaar met een groene kleur, omdat het op grote diepte een andere bodemhorizont is geworden. Het materiaal is in principe vergelijkbaar. Het veen is altijd paars. Zand is in de originele profielen eerst bruin (humeus) en dieper geel ingetekend. In de gekeerde profielen is dat onderscheid niet gemaakt, omdat het niet altijd meer te herkennen is. De bodemprofielen zijn soms (kunstmatig) verlengd tot 250 cm om ze goed naast elkaar te zetten. Dit geldt met name voor enkele originele profielen waarbij op 150 cm al zand aangeboord was. We zijn er dan van uitgegaan dat dat zand zeker doorloopt tot 250 cm.

Het originele profiel bestaat altijd uit een humeus kleidek van ongeveer 30 cm. Daaronder begint altijd schalterveen, op ongeveer 50 cm overgaand in veenmosveen. Het veenmosveen verkleurt vanaf 80 cm naar bruin. Dat duidt op anaerobe omstandigheden, meestal door hoogte van het laagste grondwatervniveau. De begindiepte van het zand varieert op de onderzochte plekken van 90 tot 145 cm. We hebben dat ook onderzocht met de meetgegevens van ENVISO. Met name in het noordoostelijke deel van de twee bedrijven komt het zand ondieper voor (Figuur 4).

Het gekeerde profiel kan er steeds anders uitzien. Wat opvalt, is dat de bovengrond altijd uit zand bestaat. De dikte van die laag varieert van 40-140 cm. Een enkele keer bleek uit de overige boringen dat het gehele profiel tot 200 cm uit zand bestaat. Ergens is het profiel komt meestal een belangrijk deel van de oude kleibovengrond voor. Dit varieert van 85 tot 185 cm diepte. Een enkele keer ontbreekt die laag. Een groot deel van de veenlaag begint nu op 40 tot 140 cm diepte. Soms ontbreekt dit materiaal in het profiel. Het diepste grondwatervniveau (GLG) is steeds ongeveer 80-100 cm. In twee van de vier gekeerde profielen komt het veen als laag voor binnen 80 cm. Van alle uitgevoerde boringen was dit ook bij tien van de zeventien het geval. Daarbij is het goed te vermelden dat er vier boringen zijn waarbij de veenlaag pas op 70 cm begint. Bij alle gekeerde profielen komen er resten veen in de bovenste lagen (< 80cm) voor. Bij tien boringen begint dat al in de laag 0-40 cm, bij vijf wat dieper (40-80 cm). Van die vijf zijn er drie waarbij ook een veenlaag binnen 80 cm begint. We zullen deze informatie gebruiken om na te gaan hoeveel veen voor en na de kering blootstaat aan oxidatie. In Bijlage 1 zijn alle uitgevoerde profielbeschrijvingen bij de onderzochte punten op kaart weergegeven.

Homogenisatie

De profielbeschrijving met code 0_2 (boringnummer 47) bij een punt uit Figuur 2 was op een perceel dat zeven jaar geleden al was omgezet. Het is interessant om te zien welke invloed er door het bodemleven uitgeoefend wordt op de homogenisatie van de bovengrond. Van de meeste punten die drie jaar geleden zijn omgezet, valt op dat de bovengrond slechts gevormd wordt door een humeus laagje in de dikke wortelmassa van de toplaag van meestal 5 cm. Na zeven jaar zie je dat volgens profielbeschrijving 47 (Bijlage 1, 2 en 4) er geleidelijk een gooreerdgrond is ontstaan met een A-horizont van 20 cm. In paragraaf 3.2 zullen we zien dat na 30 jaar in Tjalleberd die bodemontwikkeling nog wat is doorgedaan (A-horizont 20 à 25 cm, boringnummer 38 en 39, Bijlage 5), maar de homogeniteit is daar niet of nauwelijks toegenomen, een eigenschap die in belangrijke mate door het bodemleven en dus ook de biodiversiteit wordt versterkt. De bovengrond was er zelfs nog wat heterogeen met soms veenresten. Wat dit betekent voor de onderzochte bedrijven in Ypecolsga is niet duidelijk aan te geven. Het hangt ook sterk samen met het gebruik van het land in de toekomst.



Figuur 4 De zanddiepte (in cm -mv) bij de twee bedrijven in Ypecolsga.

In Figuur 4 hebben we op basis van onderzoeksresultaten van ENVISO de zanddiepte van niet-gekeerde terreingedeelten in kaart gebracht. Dit geeft een goede indicatie waar het zand ondieper voorkomt. Met name ten noorden van de provinciale weg en wat verder ten zuiden van de bebouwing komt een zone voor met zand binnen 150 cm -mv.

3.1.2 Bodemfysische metingen

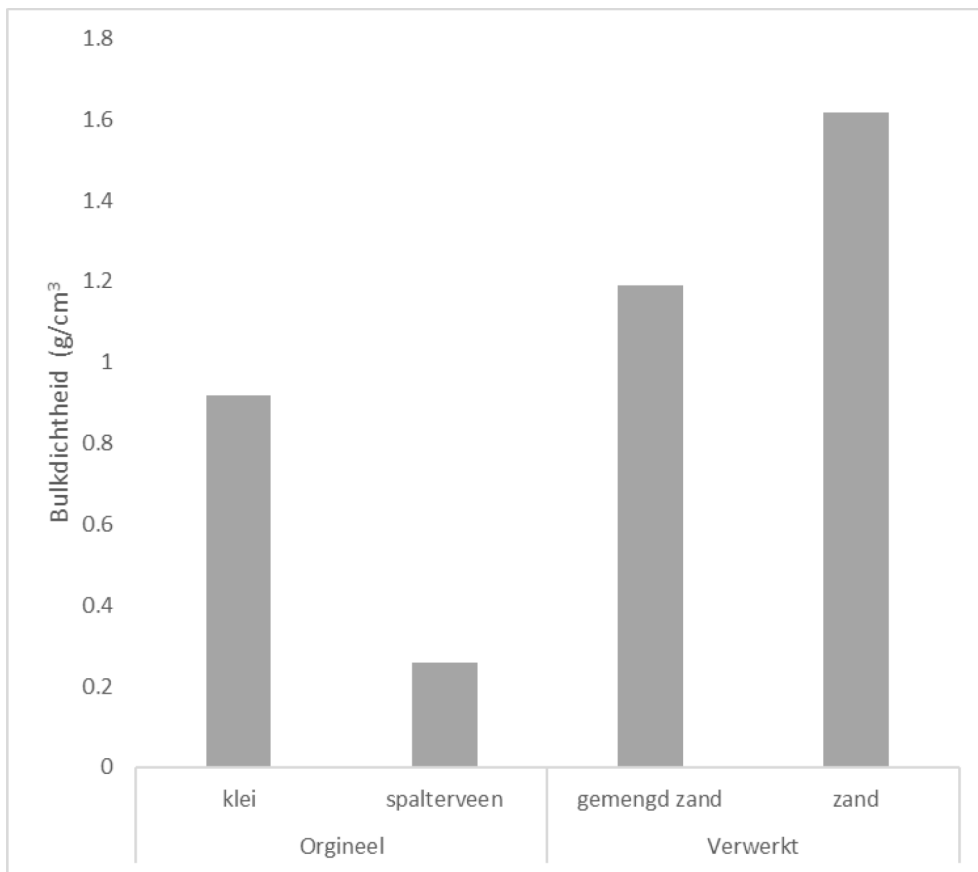
Bij beide bedrijven zijn van de bovenste 50 cm in zowel originele profielen als gekeerde profielen op een aantal plekken ringmonsters genomen. Vanwege de hoge grondwaterstand konden geen diepere ringen worden gestoken. In Figuur 3 zijn de locaties hiervan aangegeven. In Tabel 3 zijn de boringnummers steeds tussen haakjes weergegeven. Er zijn drie originele (groen gearceerd, boringnummer 27, 35, 48) en vier gekeerde profielen bemonsterd (boringnummer 29, 32, 42, 51). Alleen van boringnummer 22 uit Tabel 3 zijn geen ringmonsters. In de gekeerde profielen wordt als grondsoort steeds gemengd zand genoemd. Dat betekent dat er vaak in grotere of kleinere mate klei en/of veen doorheen gemengd is (uitzondering is zand in profiel 51).

In Tabel 4 staan de meetlocaties beschreven met de gemeten bodemfysische waarden.

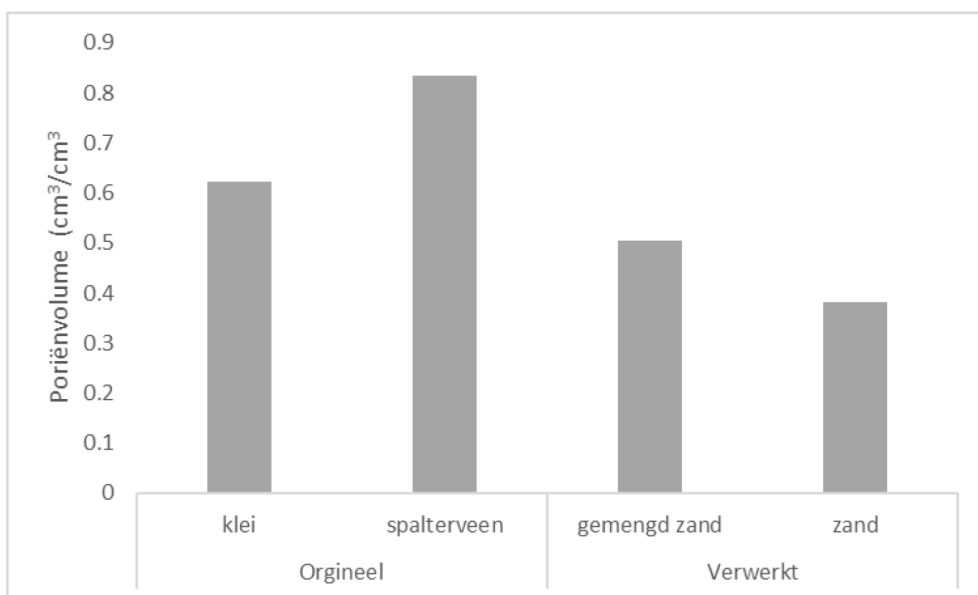
Tabel 4 Gemeten gemiddelde bodemfysische meetwaarden van de ringmonsters (groen gearceerd de originele profielen).

Ringmonster-locatie	Boringnummer (aantal ringen)	Grondsoort	Bemonsteringsdiepte (cm -mv)	Bulkdichtheid (cm ³ /cm ³)	Vol. Vochtgehalte (%)	Poriënvolume (cm ³)
1_0	27 (2)	klei	4 -9	0.95	54.6	0.62
	27 (2)	klei	20 -25	0.95	56.9	0.62
	27 (2)	schalterveen	35 -40	0.36	78.1	0.76
	27 (2)	schalterveen	45 -50	0.16	88.5	0.90
1_1	29 (2)	gemengd zand	5 -10	1.07	52.0	0.59
	29 (2)	gemengd zand	18 -23	1.55	33.3	0.40
	29 (2)	gemengd zand	28 -33	0.82	59.9	0.49
	29 (2)	gemengd zand	40 -45	0.62	65.6	0.61
3_1	32 (2)	gemengd zand	5 -10	1.57	38.5	0.39
	32 (2)	gemengd zand	20 -25	1.55	36.8	0.40
	32 (2)	gemengd zand	35 -40	1.58	37.2	0.39
3_0	35 (2)	klei	5 -10	0.95	57.3	0.60
	35 (2)	klei	18 -23	1.02	58.2	0.57
	35 (2)	schalterveen	35 -40	0.35	81.4	0.78
	35 (2)	schalterveen	50 -55	0.20	86.2	0.88
2_1	42 (2)	gemengd zand	3 -8	1.11	49.4	0.57
	42 (2)	gemengd zand	15 -20	1.25	38.1	0.52
	42 (2)	zand	43 -48	1.60	31.7	0.39
4_0	48 (2)	klei	4 -9	0.77	55.7	0.68
	48 (2)	klei	17 -22	0.81	57.2	0.66
	48 (2)	klei	31-36	1.00	57.9	0.59
	48 (1)	schalterveen	28 -33	0.23	76.3	0.85
4_1	51 (2)	gemengd zand	7 -12	1.03	51.2	0.58
	51 (2)	gemengd zand	16 -21	0.97	48.8	0.60
	51 (1)	gemengd zand	34 -39	1.19	45.2	0.51
	51 (1)	zand	34 -39	1.65	28.0	0.37

De bulkdichtheid en het poriënvolume van de verschillende grondsoorten zijn erg verschillend. In Figuur 5 en 6 staat resp. de bulkdichtheid en het poriënvolume gemiddeld per grondsoort aangegeven.



Figuur 5 De gemiddelde bulkdichtheid per grondsoort.



Figuur 6 Het gemiddelde poriënvolume per grondsoort.

De bulkdichtheid geeft aan wat de massa aan vaste delen (organische stof en minerale delen) is per volume zoals dat in de grond voorkomt. Een lage waarde zoals van schalterveen ($0,2 \text{ g/cm}^3$) in Figuur 5 geeft aan dat de grond erg licht is in verhouding tot het volume. In dit geval komt dat door de grote hoeveelheid organische stof (90%) waarvan de soortelijke massa veel lager is dan van minerale delen (zand en klei) en door de grote hoeveelheid poriën, wat ook te zien is in Figuur 6.

Het poriënvolume geeft aan hoeveel cm^3 poriën per volume in de grond voorkomt. Hoe groter het poriënvolume, hoe meer water die grond kan opslaan. Van veen is bekend dat het veel vocht kan

opnemen. Het bedraagt voor de schalterveen monsters $0,85 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Het poriënvolume van het zand is veel kleiner. Dat betekent dat het veel minder vocht kan bergen. Dit zegt overigens nog weinig over de hoeveelheid beschikbaar vocht voor planten en de bergingscapaciteit bij neerslag. Het doel van de metingen was om na te gaan of deze makkelijk te meten bodemfysische meetwaarden van de aanwezige grondsoorten overeenkomen met het gangbare beeld. Dat blijkt zo te zijn. Het gemeten vochtgehalte zou eigenlijk per definitie kleiner of gelijk moeten zijn aan het volume van de poriën. In een aantal gevallen is het poriënvolume kleiner. Dit komt door de berekeningswijze met een formule op basis van geschatte gehalten aan organische stof en minerale delen voor de dichtheid van de vaste fase en een onnauwkeurigheid van de gemeten bulkdichtheid. We hebben dat achteraf niet gecorrigeerd.

Nu kunnen we ook de waarden van het gemengde zand beter plaatsen. Van alle gemengde zandmonsters tot max. 45 cm diepte met meer of minder klei of veen blijkt dat de bulkdichtheid gemiddeld $1,2 \text{ g/cm}^3$ is. Er is wel een grote spreiding van $0,6\text{-}1,6 \text{ g/cm}^3$ (Tabel 4). Dit komt door verschillen in bijmenging van klei en veen en door de mate waarin het zand losser is gemaakt dan het oorspronkelijk in de ondergrond zat. Het gemengde zand is dus veel losser dan van de vaste zandondergrond ($1,6 \text{ g/cm}^3$).

Het is de vraag in hoeverre het profiel nog zal nazakken. Dat hangt sterk samen met het organischestofgehalte van de gemengde zandgrond. Uit de analyses van ENVISO (door Eurofins met gloeiverliesmethode bepaald) voor beschreven gekeerde bodemprofielen blijkt dat het organischestofgehalte sterk varieert: van 1,7-28,7% en gemiddeld 15,0% voor negen verschillende grondmonsters van de bovengrond tot 40 cm. Bij 1,7-28,7% organische stof varieert de bulkdichtheid volgens Figuur 6 normaal tussen $0,7\text{-}1,4 \text{ g/cm}^3$ ($70\text{-}140 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$) en bedraagt bij 15% organische stof gemiddeld $0,9 \text{ g/cm}^3$. De gemiddelde dichtheid van $1,2 \text{ g/cm}^3$ van de bovengrond is, gegeven de hoeveelheid organische stof, dus al vrij hoog en zal vermoedelijk niet veel meer toenemen. Kanttekening hierbij is wel de grote mate van heterogeniteit, waardoor we eigenlijk niet van normale waarden als van Figuur 7 kunnen uitgaan. In paragraaf 3.1.5 gaan we nog wat verder in op de mogelijke zakking.

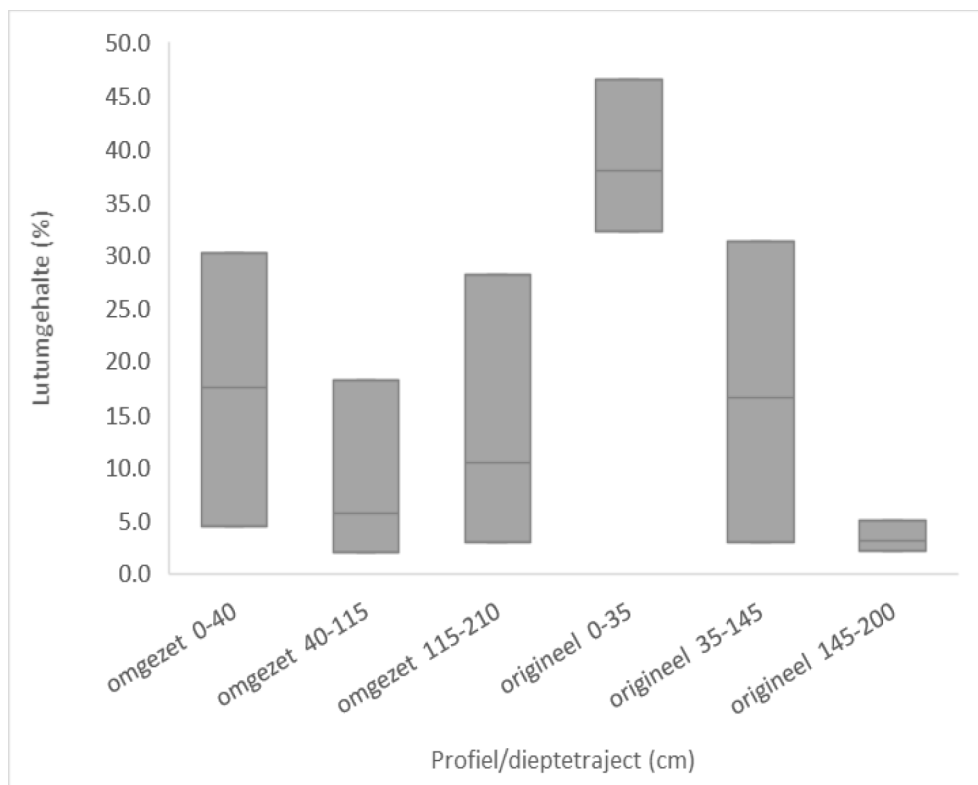
Org. stof in %	Poriënvolume			Volumegewicht		
	min.d.	max.d.	gem.d.	min.d.	max.d.	gem.d.
0	42	34	38	155	175	165
5	53	42	47	110	145	130
10	62	50	56	90	120	105
15	68	56	62	72	104	88
20	72	60	66	61	91	76
30	77	66	72	47	74	61
40	80	69	75	38	62	50
50	83	70	77	32	54	43
60	85	72	78	26	48	37
70	87	73	80	21	42	32
80	90	75	82	16	38	28
90	92	76	84	12	35	24
100	94	78	86	8	32	20

Figuur 7 Waarden voor poriënvolume en bulkdichtheid (voorheen volumegewicht genoemd) bij verschillende organischestofgehalten (uit: Schothorst, 1963) Het poriënvolume en de bulkdichtheid zijn gegeven in $\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$ grond.

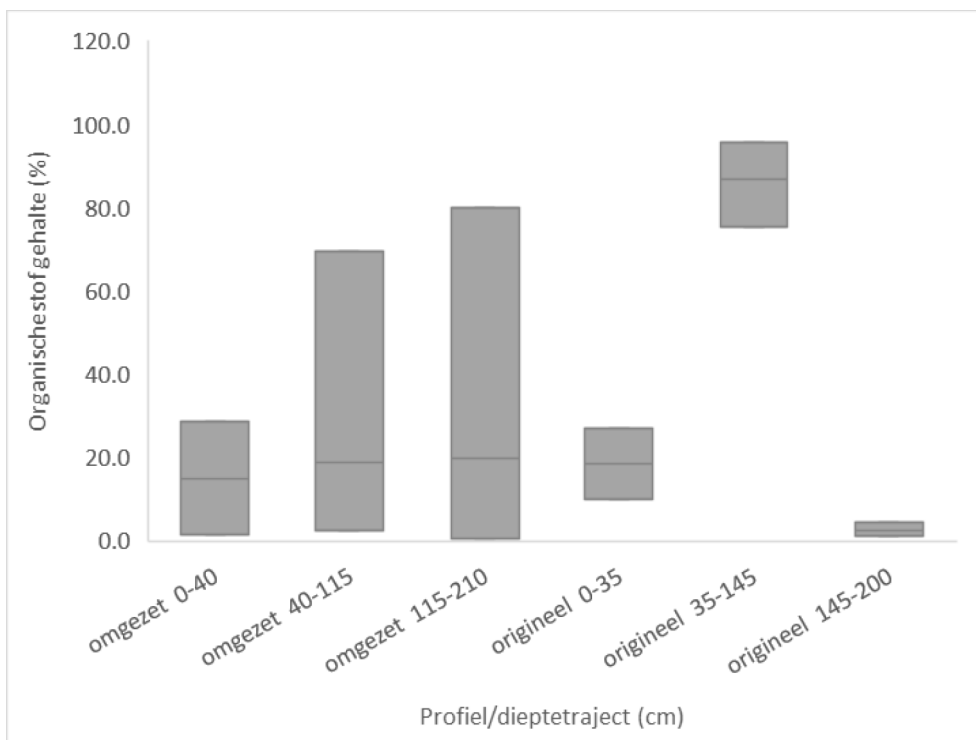
Het poriënvolume bedraagt bij de gekeerde profielen in de bovengrond $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ of $50 \text{ cm}^3/100\text{cm}^3$ grond. Bij een gemiddeld organischestofgehalte van 15% is dat vrij laag (Figuur 7) en dat komt overeen met de relatief hoge bulkdichtheid van $1,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ die we eerder zagen. Het poriënvolume is overigens afgeleid van de bulkdichtheid en een geschat organischestofgehalte uit de profielbeschrijvingen. Het is dus logisch dat dat hetzelfde patroon laat zien.

In Tabel 4 staat ook het vochtgehalte tijdens de bemonstering weergegeven. Tijdens de bemonstering was het vrij nat op het land. Zowel op het niet- als op het gekeerde land waren soms plassen op het land en stond er water in de greppels. De grondwaterstand was vaak ondieper dan 40 cm. Als we het gemeten vochtgehalte vergelijken met het poriënvolume, krijgen we een indruk van de mate van verzadiging van de grond. Gemiddeld voor de eerste 30 cm bedroeg de mate van verzadiging van zowel de klei- en veenlaag gemiddeld 90% en van de gekeerde grond 86%. De verschillen zijn nog niet groot en voor de gekeerde grond wat lager, maar relatief ook hoog. Een van de doelen van het keren van de grond is om de bovengrond eerder berijdbaar te maken. Ook het luchtgehalte van de bovengrond vergroten en in het voorjaar de bodem sneller opwarmen, zijn nevendoelen. De indruk van de slechte betreedbaarheid van het land, die we kregen tijdens de bemonstering, wordt bevestigd door deze metingen. Voor een deel kan dit dus te maken hebben met de natte omstandigheden en het zou best kunnen dat de gekeerde percelen daarna sneller opdrogen. Dat is niet meer onderzocht. De ontwatering is te verbeteren door nog uit te voeren drainage.

3.1.3 Textuuranalyse



Figuur 8 Lutumgehalte van grondmonsters uit het onderzoek van ENVISO (origineel/omgezet: n=9 en 16)



Figuur 9 Organischestofgehalte van grondmonsters uit het onderzoek van ENVISO (origineel/ omgezet: n=9 resp. 16).

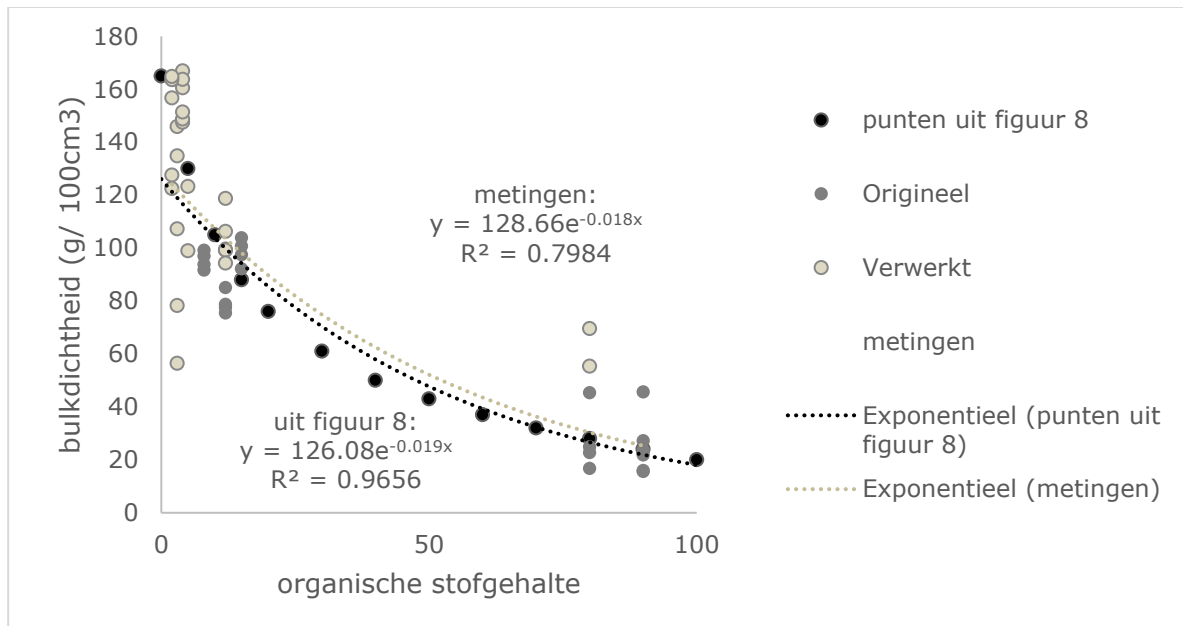
In Figuur 9 en 10 zijn resp. het lutumgehalte en het organischestofgehalte van een aantal profielen die ENVISO heeft genomen op zowel originele als gekeerde locaties per dieptetraject weergegeven. Bij de originele profielen zijn duidelijk de grote verschillen in lutum en organische stof op de verschillende diepten zichtbaar. De bovengrond tot gemiddeld 35 cm bestaat gemiddeld uit 38% lutum en 18,5% organische stof. Daaronder komt een veenlaag tot gemiddeld 145 cm met 86% organische stof en 17% lutum. Opgemerkt dient te worden dat het organischestofgehalte gebaseerd is op alle vaste delen en het lutumgehalte alleen op de minerale delen, een subset dus. Bij de gekeerde grond is de bovengrond gemiddeld 15% organische stof en 17% lutum. Daarbeneden loopt de het organischestofgehalte sterk uiteen, maar gemiddeld 19 en 20% voor de twee onderliggende lagen. Het lutumgehalte is gemiddeld 5-10%. Er zijn dus wel grote verschillen, ook te zien aan de brede balk. De maximale waarden liggen duidelijk wat hoger.

3.1.4 Voorraad organische stof

Met behulp van de organischestofgehalten uit dit onderzoek en de dichtheden die bepaald zijn uit de ringmonsters kunnen we nagaan in welke mate organische stof beneden het gemiddeld laagste grondwatervniveau terechtgekomen is. Dit is het niveau waarboven we een zekere mate van veenoxidatie kunnen verwachten. Voor het gemiddeld laagste grondwatervniveau is 100 cm -mv aangenomen. Dit komt overeen met een Gt III. We zijn dus benieuwd of er na kering nog veel organische stof aanwezig is dat mogelijk kan oxideren. In Tabel 5 hebben we de berekende organischestofvoorraad voor zowel de laag tot 100 cm als tot 250 cm afgebeeld. De laag tot 250 cm kunnen we voorstellen als het complete profiel dat eventueel ook omgezet is. Voor de berekeningen hebben we gebruikgemaakt van 25 profielen die door ENVISO zijn geanalyseerd op organischestofgehalte en waarbij dichtheden van de gemeten ringmonsters zijn gebruikt voor de originele profielen en een vertaalfunctie voor de gekeerde profielen. Dat we voor de gekeerde profielen een vertaalfunctie hebben gebruikt voor de dichtheid komt omdat we veel meer gemeten organischestofgehalten hebben met een grote spreiding dan van de ringmonsters. De spreiding rond de gemiddelde dichtheid is ook erg groot. Deze vertaalfunctie is afgeleid uit de data van Figuur 7.

$$\text{Bulkdichtheid (in g/100cm}^3\text{)} \rho = 126.08e^{-0.019*os}$$

In Figuur 10 geven we een vergelijking van deze relatie weer en de punten uit Figuur 7 met geschatte organischestofgehalten en gemeten dichtheden van de ringmonsters. De berekende relatie uit de gemeten ringmonsters komt redelijk goed overeen met de gebruikte vertaalfunctie.



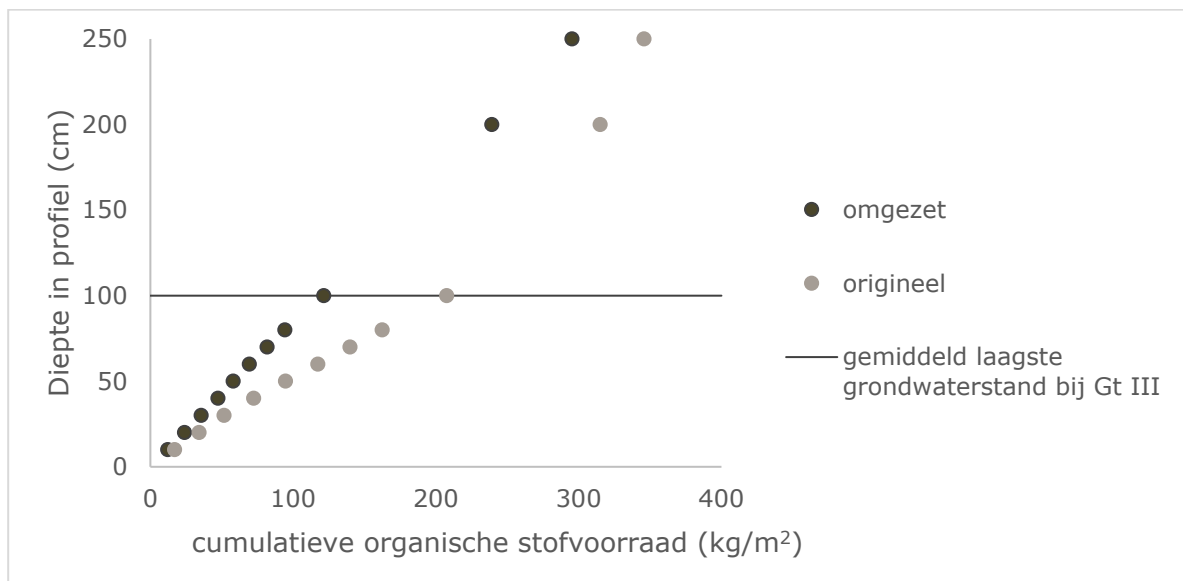
Figuur 10 Vergelijking van de relatie tussen organischestofgehalten en bulkdichtheid uit de punten van Figuur 7 en de gemeten dichtheden en geschatte organischestofgehalten uit ringmonsters.

Tabel 5 Voorraad organische stof in het bodemprofiel in kg/m² berekend uit gemeten (originele profielen) en met een vertaalfunctie berekende dichtheden (omgezet) en gemeten organischestofgehalten en laagdikten.

Profiel	Gemiddelde organische-stofvoorraad tot 100 cm (kg/m ²)	Standaarddeviatie organischestof-voorraad tot 100 cm (kg/m ²)	Gemiddelde organischestof-voorraad tot 250 cm (kg/m ²)	Standaarddeviatie organischestof-voorraad tot 250 cm (kg/m ²)
Origineel (n=16)				
Klei (0-34cm)	59,1	20,3	59,1	20,3
Veen (34-100 cm)	148,5	23,6	148,5	23,6
Totaal	207,6	14,1		
Veen 100-135 cm)			98,2	58,2
Zand (145-250 cm)			40,2	16,3
Totaal			345,9	60,6
Omgezet (n=9)				
(0-250 cm)				
Totaal	121,5	32,7	295,4	138,2

De totale berekende organischestofvoorraad tot 250 cm van het originele profiel is gemiddeld wat hoger dan van het gekeerde profiel. De verschillen hebben deels te maken met verschillende berekeningswijzen. We kunnen hier wel een redelijke vergelijking mee doen, waarbij de effecten van de kering zo veel mogelijk meegenomen worden. Het verschil van ongeveer 15% moeten we daarom als een meetfout beschouwen. Van de hoeveelheid organische stof die in het originele bodemprofiel tot 100 cm -mv voorkomt, is in het gekeerde profiel nog 59% terug te vinden (origineel/gekeerd: 208 resp. 122 kg/m²). Dat is nog een grote voorraad organische stof als het doel was om een groot deel van met name de organische stof van de veenlaag onder het diepste grondwaterniveau op te slaan. In Figuur 11 staat weergegeven hoe de cumulatieve voorraad organische stof met de diepte toeneemt

voor de originele en gekeerde profielen. Hierin kunnen we vaststellen wat bij een gegeven grondwaterstand (voorbeeld 100 cm) de aanwezige voorraad organische stof is die mogelijk kan oxideren.



Figuur 11 Cumulatieve toename van de voorraad organische stof met de diepte van gekeerde en originele profielen.

Er is overigens geen onderscheid aan te geven tussen de aanwezigheid van weinig of niet-vienig organisch materiaal. Er zijn wel visuele verschillen, maar bij de organischestofbepaling op het lab wordt dat onderscheid niet gemaakt. Daarmee kunnen we niet vaststellen of de organische stof afkomstig is van de veenlaag.

3.1.5 Zakking

Het maaiveld zal door de kering van het veenprofiel nazakken. De verandering in maaiveldhoogte en de duur van zakken zijn van belang voor een goede inrichting van het land (egalitatie, drainage etc.). Uit enkele berekeningen met als uitgangspunt dat de grondwaterstand tot max. 1 m -mv zal dalen, berekenen we een geringe extra zakking met de formule van Terzaghi (Schothorst en Broekhuizen, 1995), zie Tabel 6. De verandering in de korrelspanning door de kering geeft een vergroting van de grondspanning aan het grondvlak op 2 m -mv. Er is zandiger materiaal met een grotere dichtheid boven grondwatervniveau gebracht en venig/kleiig materiaal daarbeneden. De berekende zakking door deze verandering varieert tussen 2 en 8 cm (met een gekozen samendrukkingsconstante van 100 (lemig zand) resp. 20 (klei)). Er is van uitgegaan dat het profiel dan homogeen is. Als in verhouding meer zand boven het grondwater wordt gebracht, zal door de grotere dichtheid de zakking iets groter zijn (2 tot 10 cm, bij C resp. 100 en 20). De berekende zakking is onzeker door de aanname voor de samendrukkingsconstante C. Die hebben we niet gemeten. Die hangt sterk samen met de grondsoort en die is absoluut niet homogeen, hebben we geconstateerd. De zakking blijkt niet evenredig gevoelig voor deze constante. Bij waarden voor C variërend van 400 (zuiver zand) tot 10 (zuiver veen), een factor 40 lager, liep de zakking zelfs uiteen van 0 tot 19 cm. Dan zou het materiaal onder water tot 2,5 m -mv volledig uit veen bestaan en het materiaal erboven volledig uit zand. Dat is zeer onwaarschijnlijk. Door een hoge waarde voor de samendrukkingsconstante (zand) aan te nemen, zal de zakking sneller afzakken dan van klei of veen. Hoe hoog de werkelijke zakking is en hoelang die zal duren, is vrij onzeker en zou nog beter berekend kunnen worden. Wel van belang is dat door heterogeniteit grote zakkingsverschillen zullen optreden, waardoor het langer duurt voordat een perceel niet meer onregelmatig zakt en zo nodig moet worden geëgaliseerd of rondgelegd.

Tabel 6 Berekende zakking (m) van het gekeerde bodemprofiel (tot 2 m) bij een max. grondwatervniveau van 1 m -mv voor een samendrukkingsconstante C van 20 en 100.

profiel	m	dichtheid g/cm ³	Poriën volume (fractie)	gemiddelde korrelspanning g (kPa) vanaf mv	verandering korrelspanning (kPa)	zakking (C=20) (m)	zakking (C=100) (m)
origineel	0.35	0.917	0.623	7.15			
	1	0.259	0.835	5.71			
	1.45	0.259	0.835	5.92			
	2	1.617	0.382	8.67			
omgezet	0.35	1.191	0.504	7.53	0.38	0.001	0.000
	1	1.191	0.504	8.04	2.33	0.017	0.003
	1.45	1.191	0.504	9.60	3.68	0.035	0.007
	2	1.191	0.504	11.51	2.85	0.028	0.006
					som		0.082

3.2 Veldonderzoek bij een bedrijf in Tjalleberd

Om het effect en de duurzaamheid van diepe grondbewerking te bekijken, zijn we op zoek gegaan naar plekken waar diepe kering al veel eerder heeft plaatsgevonden. We kwamen uiteindelijk uit bij een melkveehouderijbedrijf in Tjalleberd, aan de P.G. Otterweg. Het bleek namelijk dat er in de nabijheid van Ypecolsgea niet veel percelen diep zijn omgezet. In Spannenburg (Luten et al., 1984) is eind jaren 70 van de vorige eeuw wel een proef uitgevoerd om de schalterlaag te doorbreken, maar dat was slechts tot max. 70 cm diepte. De bodemopbouw is in Tjalleberd heel anders dan op de bedrijven in Ypecolsgea. We hebben er drie profielbeschrijvingen gemaakt (Bijlage 5). Het kleidek is daar meestal veel dunner of afwezig en het veenpakket is ook dunner en van een andere samenstelling. Veenmosveen komt in dit verveende gebied niet meer voor, het is vaak wat rijker broekveen. De vervening heeft er een grote rol gespeeld. Ter vergelijking: in de omgeving van Ypecolsgea komt van nature een kleibovengrond voor op een veenlaag van ca. 100 cm dik. In de omgeving van de Otterweg in Tjalleberd zijn de gronden afgeveend, ontbreekt een minerale kleibovengrond en zijn de veenlagen minder dik. Toch wilden we een beeld hebben van gronden die al langer geleden diep omgezet zijn. We waren vooral geïnteresseerd in mogelijke bodemverdichting en het voorkomen van veen. Verder vonden we het belangrijk om er met een ervaringsdeskundige over te kunnen praten.

In de jaren 70 van de vorige eeuw zijn hier de gronden gediëpploegd tot max. 230 cm -mv. Het doel van deze diepe grondbewerking was om zand naar boven te halen om zo de draagkracht te verbeteren. De percelen waren smal door de vele sloten. Die sloten werden als eerste gedempt door ze vol te ploegen. Daarna kwam de rest van het perceel aan de beurt. De percelen zijn nu circa 100 m breed. Het heeft zeker tien jaar geduurd voordat de boer redelijk tevreden was over de gebruiksmogelijkheden. Na verschillende ondiepere grondbewerkingen, egalisaties en drainage zijn de percelen in de loop der jaren verbeterd tot het huidige acceptabele niveau. De drainage die later is aangelegd, heeft voor een flinke verbetering gezorgd. Die drainage werkt nog steeds naar behoren.

De gronden blijven kwetsbaar volgens de boer als gevolg van verdroging, maar ook het voorkomen van te natte plekken. Toen we over het land liepen, kwamen we ook regelmatig nattere plekken tegen. De verdroging heeft ook te maken van de zandrug die verder naar het zuiden over het bedrijf loopt.

Vlak achter de boerderij is de oorspronkelijke veengrond na diepploegen en ander ondiepere grondbewerkingen nadien, veranderd in een moerige grond met een bovengrond van venig zand. De ondergrond bestaat uit een heterogeen mengsel van veen en zand. In de zandondergrond zijn resten van lössleemlagen aangetroffen. Deze kunnen nadelig zijn voor de doorlatendheid. De diepere ondergrond bestaat voornamelijk uit bruin zand (BC-horizont) en is vermoedelijk niet verwerkt. Zeker zijn we er niet van, omdat we tot 150 cm een boring hebben uitgevoerd (nummer 38, standaardpuntencode v4d432F9-IIa). F9 duidt de vermoedelijke verwerkte diepte tot 90 cm aan.

De tweede boring iets verder van de boerderij (zuidelijker) ligt hoger. Bij dit profiel waren nagenoeg geen veenlagen meer aanwezig. Onder de humeuze zandbovengrond komt een vaste, verkitte, grijze zandlaag voor. Door bijmenging van lösslemlagen is een harde laag ontstaan. Hier was duidelijk sprake van bodemverdichting. Dieper in het profiel komen veenresten vermengd met zand voor. Ook hier hebben we maar tot 150 cm -mv geboord. (nummer 39, standaardpuntencode 4i433v9F15-IIIa). F15 duidt de vermoedelijke verwerkte diepte tot 150 cm aan.

Ten noorden van de Otterweg hebben we een **niet** gediëpploegde veengrond (koopveengrond) bekeken. Rond 1900 zijn deze gronden, maar dus ook die aan de zuidkant van de weg, verveend. In de crisisjaren (jaren 1920-1930) zijn deze gronden waarschijnlijk aangemaakt (ontgonnen). De kleiigmoerige bovengrond is daartoe vermengd met relatief veel zand tot ca. 20 cm dik. Daaronder bevindt zich veraard, kleiig veen. De veenlaag is iets heterogeen. Op ca. 80 cm -mv begint de pleistocene zandondergrond. In de zandondergrond heeft zich een zwakke humuspodzol (bruin) ontwikkeld. De humuspodzol bestaat uit sterk lemig, zeer fijn zand. Daaronder wordt het zand iets minder lemig en minder fijn (nummer 40, standaardpuntencode 1dp8-IIa). In Figuur 13 a en b zien we de verschillen tussen het gekeerde en originele profiel in Tjalleberd goed in beeld.

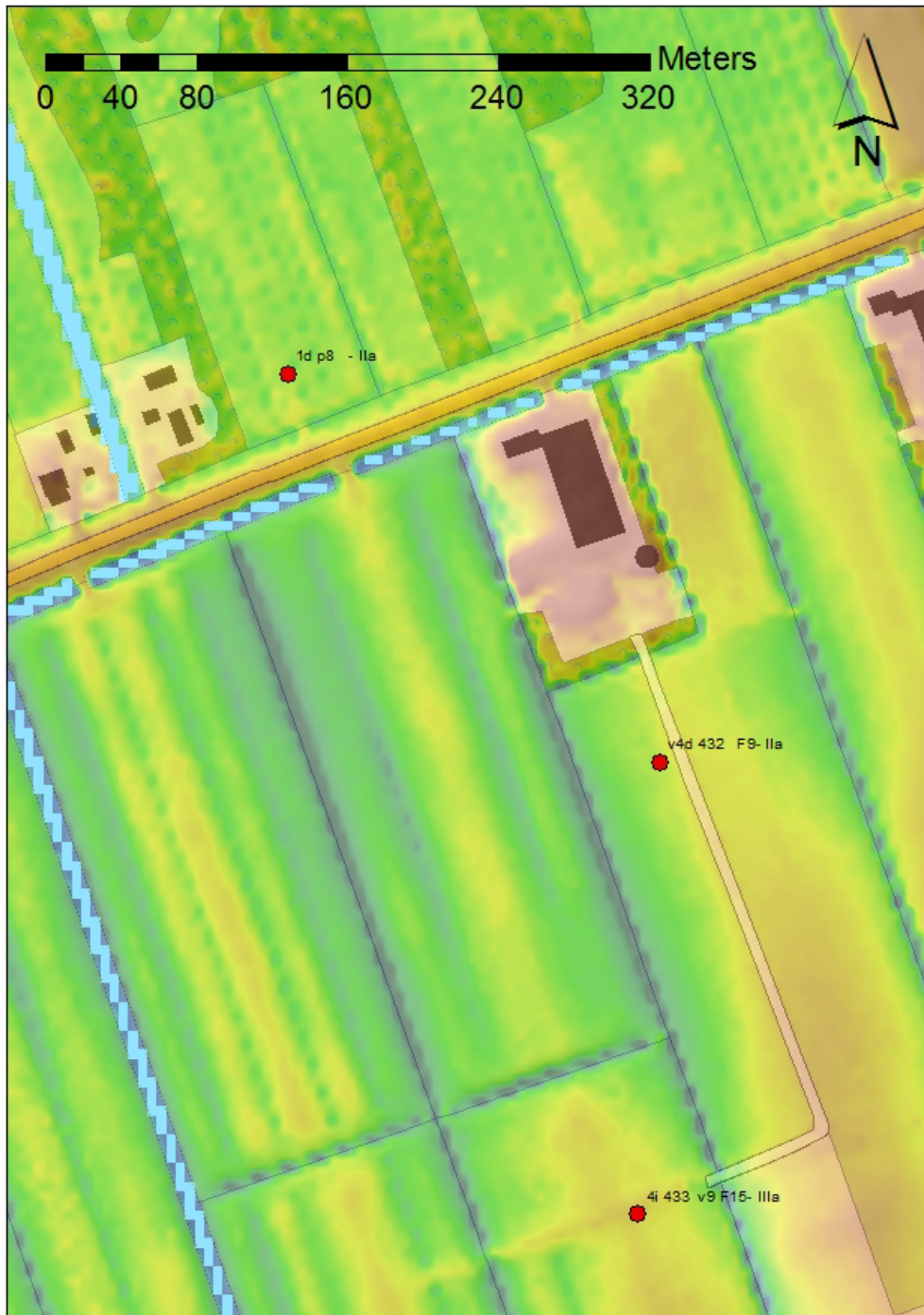
We vermoeden dat het naar boven geploegde zeer fijne, sterk lemige zand en zandige leem mede oorzaak is van de lange periode, voordat de gebruiker tevreden was over het gebruik en de productie van de gediëpploegde percelen. Dit heeft geleid tot verdichting en verkitting, samen met het bovenliggende veen. Er waren jaren nodig waarin drainage/drooglegging een rol speelde en droge jaren met een lage grondwaterstand, plus de tijd die nodig is voor de ontwikkeling van bodemleven. Dit is een langzaam proces: er moet zich immers na het diepploegen, uit een 'laag grond van meer dan 2 m dik' weer een bodem vormen.

Voldoende leemarm tot zwak lemig (leempercentage < 17,5%) en liefst wat grover zand (M_{50} 170-250) in de ondergrond is makkelijker te verwerken tot een geschikt bodemprofiel en voorkomt verdichting of verkitting.

Aandachtspunten die we van dit bezoek hebben meegenomen:

- Onregelmatige eigenschappen van vernatting en verdroging;
- Een lange periode van tien jaar voor een redelijke perceelsopbouw;
- Goede drainage is belangrijk;
- Bodemverdichting komt voor bij vermenging met lemige ondergrond, dus bij voorkeur weinig leem en wat grover zand.

In Bijlage 2 en 3 staan de profielbeschrijvingen met resp. nummers 38, 39 en 40 vermeld. In Figuur 12 staan de beschrijvingen van de standaardpuntencode bij de punten op een kaartje weergegeven. In Bijlage 3 staat een uitleg van de standaardpuntencode.



Figuur 12 Profielcoderingen bij een bedrijf in Tjalleberd dat in de jaren 70 van de vorige eeuw bij een ruilverkaveling gediëpplougd is. Ten noorden van de weg is dat niet gebeurd. De codes F9 en F15 bij de boringen achter de boerderij geven de minimale diepte van de verwerkte grond aan. Bv. F15 (15 dm) is minimaal 150 cm diep verwerkt.



Figuur 13a en b Afbeeldingen van de bovenste 50 cm van originele en gediepploegde bodem in Tjalleberd. In de figuur links valt de humeuze, bezande toplaag en de diepe structuurontwikkeling met veel wortels op. In de figuur rechts is te zien dat er na meer dan veertig jaar nog geen homogene, diepe, humeuze laag is. De niet-humeuze gedeelten zijn ook heterogeen beworteld.

4 Kaartevaluatie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de potentie in Fryslân om veengronden om te zetten om daarmee de wateroverlast en droogte door schalterveen op te heffen en de draagkracht en berijdbaarheid met zand uit de ondergrond te verbeteren. Daarvoor zijn we op de Bodemkaart van Nederland op zoek gegaan naar gronden met schalter- en/of veenmosveen en hebben we geprobeerd om aan te geven waar het pleistoceen zand voorkomt dat mogelijk geschikt is om de draagkracht en berijdbaarheid te verbeteren en dat verbeterende effecten op de gewasgroei kan hebben. Daarbij is niet aangegeven tot welke diepte het zand economisch naar boven gehaald kan worden, omdat die afweging sterk afhangt van de technische mogelijkheden en de ontwikkelingen daarin. Daarvoor ontbreekt bij WENR de expertise.

Het schalterveen is niet overal op de bodemkaart aangegeven. In principe ontstaat het in het platerige veenmosveen. Bodemtypes van de bodemkaart (Bodemkaart van Nederland schaal 1: 50 000, Steur et al., 1991, www.BROloket.nl) die in principe in aanmerking komen voor deze kering zijn hVs, pVs, kVs, Vs. Dit zijn allemaal veengronden met een veenmosondergrond. Van deze ondergrond is op de bodemkaart niet bekend hoe dik die laag is. Daarvoor is in 2014 een veendiktekaart gemaakt en nadien verbeterd (De Vries, 2014).

De bovengrond bestaat uit moerig materiaal of klei. Het is in principe de bedoeling dat de bovengrond behouden blijft en zo goed mogelijk vermengd wordt met het zand. De bovengrond is vaak wat zwaar (hoog lutumgehalte), waardoor er problemen met de draagkracht en berijd- en bewerkbaarheid kunnen zijn.

De bovengrond heeft een hoge chemische bodemvruchtbaarheid en een hoog vochthoudend vermogen. We zijn ervan uitgegaan dat een belangrijk percentage van deze laag (70 tot 80% van de bouwvoor) niet onder het profiel en beneden grondwaterniveau wordt gedeponeed.

Als de kleilaag dikker is, zoals bij drechtvaaggronden of liedeerdgronden, gaan we ervan uit dat de schalterveenlaag minder vaak voorkomt. Dit heeft er mee te maken dat er dieper in het profiel minder zuurstof bijkomt en dat het veen dicht bij het grondwater zit, waardoor het minder gemakkelijk indroogt. De kleidekken bij de twee bedrijven waren gemiddeld 35 cm dik. Het schalterveen kwam in de originele profielen in 10 van 12 profielen voor. Uit de resultaten van ENVISO blijkt dat, naarmate er dikkere kleidekken zijn aangegeven, er minder vaak veraarde veenlagen zijn aangetroffen (Tabel 7). Dit geeft een indicatie voor de afwezigheid van schalterveen onder kleigronden (gronden met meer dan 40 cm klei) op een veenondergrond.

Tabel 7 Voorkomen van veraarde veenlagen en/of zwart platerig veen net onder het kleidek in originele profielen bij de twee onderzochte bedrijven.

kleidek	Aantal profielen	Aantal veraarde lagen
>45cm	16	1
35-45cm	34	4
<35cm	54	13

De emissie van broeikasgassen op veengronden vormt vrij zeker een bijdrage aan de totale CO₂-emissie van Nederland. Hoeveel dat precies is en wat daarbij allemaal een rol speelt, is nog steeds in onderzoek. Veen oxideert vooral wanneer het aan de lucht wordt blootgesteld. Deze lucht kan tot vlak boven de grondwaterstand in de grond dringen. Als de hoeveelheid veen die aan lucht wordt

blootgesteld zo veel mogelijk wordt beperkt, zou dat veel emissie en maaiveld daling schelen. Het keren van veengrond waarbij het veen wordt afgedekt met een dikke laag zand en klei kan daar mogelijk een bijdrage aan leveren. Het is dan van belang dat het veen zo veel mogelijk onder grondwatervniveau wordt gebracht. Daarmee worden zo veel mogelijk anaerobe omstandigheden voor het veen gecreëerd, waardoor het veen geconserveerd blijft.

De grondwatervniveaus van de meeste genoemde veengronden hebben een gemiddeld laagste grondwaterstand van rond 80-100 cm (Gt II, IIB, III, IIIB en IV). Gronden met Gt I (GLG < 50cm) sluiten we hiervan uit. Deze gronden komen niet op de huidige landbouwgronden in Fryslân voor. Het is van belang dat bij kering van de genoemde veengronden het veen 100 cm of dieper in het profiel wordt gedeponneerd, om er zeker van te zijn dat het veen niet (verder) oxideert.

4.2 Methode

De behoefte aan het keren van veengronden hangt sterk samen met de aanwezigheid van schalterveen. Schalterveen kan ontstaan wanneer platerig veenmosveen indroogt. We focussen ons daarom vooral op dit veen. De bodemkaart van Nederland is in eerste instantie gemaakt voor de bovenste 120 cm -mv. Dat betekent dat in de werkwijze vaak naar die diepte wordt verwezen. De gevolgde werkwijze bij het samenstellen van het kaartje van de provincie Fryslân met voorkomens van veengronden opgebouwd uit veenmosveen en/of schalterveen in combinatie met de diepte van de dekzandondergrond (in een rasterformaat met gridcelgrootte van 50 bij 50 m²) is als volgt:

Clip op Bodemkaart van Nederland (versie 2020) met provinciegrenzen van Fryslân.

1. Veengronden met veenmosveen als dominante veensoort (-> s in cijferdeel) komen in de selectie.
2. Veengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m -mv (-> p of z in cijferdeel) en die onderscheiden zijn met het kenmerk van schalterveen (-> c in achtervoegsel) komen in de selectie.
3. Veengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m -mv waarin een podzol is ontwikkeld (-> p in cijferdeel) komen in de selectie, met uitzondering van de vlieerveengronden (Vp), want hiervan is het grootste deel verveend.

Opmerking bij stap 3 is dat bij veengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m -mv het voorkomen van podzolontwikkeling alleen onderscheiden is bij made-, vlier- en meerveengronden en bij de veengronden met een veenkoloniaal dek. Bij de overige veengronden ontbreekt dit onderscheid helaas.

4. Veengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m -mv zonder podzolontwikkeling (-> z in cijferdeel) en de associatie aangemaakte petgaten (AAP) worden alleen in de selectie toegelaten wanneer ze grenzen aan, of voor de dichtstbijzijnde grens in de directe omgeving (ca. 100 m) liggen van de veengronden die al door zijn op basis van de hierboven genoemde criteria (stappen 1 t/m 4). Vlieerveengronden met een zandondergrond binnen 1,20 m -mv zonder podzolontwikkeling (Vz) zijn net als in stap 3 ook hier uitgesloten, omdat de meeste van deze gronden zijn verveend.

Opmerking bij stap 4 is dat veengronden met een kleiondergrond (.Vk) buiten beschouwing worden gelaten, omdat bij deze gronden zelden sprake is van veenmosveen, en zo ook worden de vlietveengronden en associatie petgaten (AP) niet meegenomen, omdat deze meestal in natuur liggen en/of erg nat zijn.

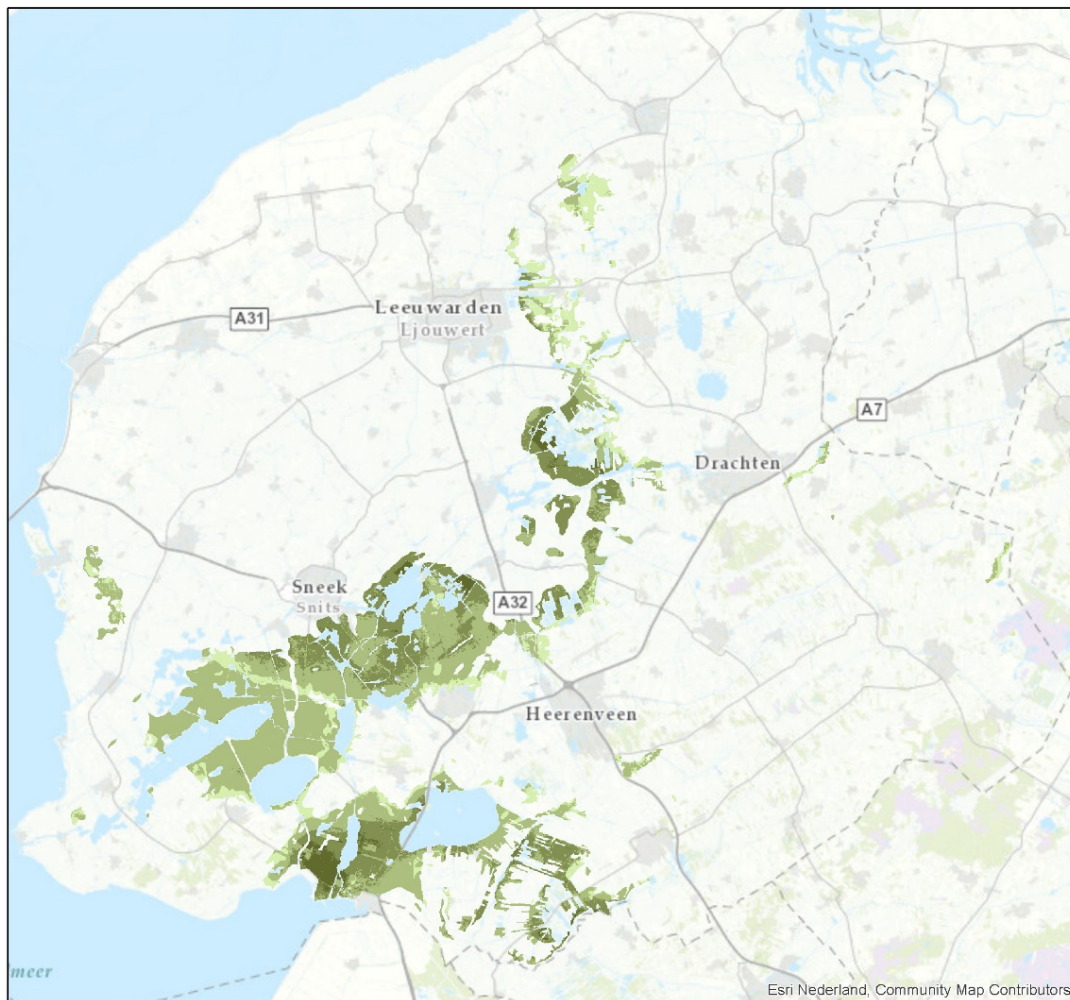
5. De veengronden die overblijven na stap 4 vormen de totale selectie van veengronden in Fryslân met dominante veensoort van veenmosveen en/of schalterveen. Deze gronden worden gebruikt als masker (clip) voor de veendiktekaart. Dit is dus een aparte kaart die voor Friesland beschikbaar is. Hierna blijft een raster van de veendiktekaart over van alleen de veengronden in Fryslân met dominante veensoort van veenmosveen en/of schalterveen.
6. Bijna alle veengronden in de selectie hebben een klei- of een zanddek. Deze dekken zijn 15-40 cm dik. Bij het samenstellen van het raster van de begindiepte van de dekzandondergrond zijn we uitgegaan van een gemiddelde dikte van een klei- of een zanddek van 30 cm. De gemiddelde dikte van dit dek is opgeteld bij de veendikte uit de veendiktekaart en op deze manier is het raster berekend van de begindiepte van de dekzandondergrond. Hierin komt de indeling van de bodemkaart van Nederland dus niet in terug. In de meegestuurd kaart zijn vier klassen (in m -mv) onderscheiden (Tabel 8).

Tabel 8 Oppervlaktetabel van de vier onderscheiden zanddiepteklassen.

Diepte (m -mv)	Opp. (ha)
< 1	4930
1 - 2	16015
2 - 3	7785
> 4	992

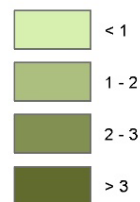
4.3 De kaart

In Figuur 14 staat de kaart met geselecteerde veengronden opgebouwd uit veenmosveen en/of schalterveen met de begindiepte van het zand weergegeven.



Legenda

Diepte zandondergrond (m - mv.)



Figuur 14 Kaart met geselecteerde veengronden opgebouwd uit veenmosveen en/of schalter, waarbij de zanddiepte is aangegeven in stappen van 1m.

In principe voldoen deze gronden aan het criterium van aanwezigheid van schalter- en veenmosveen in Fryslân. De zanddiepte geeft verder de mogelijkheid aan om zand naar boven te halen door het profiel om te zetten. De diepte waarop het zand begint is medebepalend voor de kostenafweging of kering rendabel is. Wij kunnen niet aangeven tot welke diepte keren economisch of technisch goed mogelijk is. De dieptegrenzen op de kaart zijn daarom slechts bedoeld om verschillen in beeld te brengen. In Fryslân gaat het met name om pleistoceen dekzand. De samenstelling van het zand is voor de landbouwkundige waarde van de kering van groot belang. Helaas wordt er op de bodemkaart geen onderscheid in het leemgehalte en de zandgrofheid gemaakt. We hebben mede uit de ervaringen in Tjalleberd meegenomen dat het zand liefst niet te lemig ($< 17,5\%$) en niet te fijn ($M_{50-170-250}$) moet zijn, zodat het makkelijker omgezet kan worden zonder dat er verdichting optreedt.

5 Evaluatie van effecten van keren van veen voor landbouw en omgeving

In dit hoofdstuk gaan we in op de effecten van het keren van veen op achtereenvolgens de landbouw, bodemdaling, uitstoot van broeikasgassen en de beïnvloeding van andere omgevingszaken.

5.1 Evaluatie van keren bodemprofiel voor landbouwkundig gebruik

We hebben het doel om de effecten van het omkeren van het profiel zo goed mogelijk te interpreteren naar gebruiksmogelijkheden voor de melkveehouderij. We nemen daarin zijdelings ook de mogelijkheden voor maisteelt mee, omdat die de mogelijkheden vergroten en omdat de twee onderzochte bedrijven ook mais telen. De gebruiksmogelijkheden evalueren we met de semi-kwantitatieve methode WIB-C (Ten Cate et al., 1995). Voor akker- en weidebouw hanteren we daarvoor vier beoordelingscriteria: ontwatering, vochtleverend vermogen, stevigheid van de bovengrond en verkruielbaarheid.

5.1.1 Methodiek voor berekening van de mogelijkheden voor akker- en weidebouw

Ontwatering wordt bepaald door het luchtgehalte van de bewortelde bovengrond. Het beïnvloedt de gaswisseling van de plantenwortels en indirect de opwarming van de bovengrond (natte grond geleidt de warmte veel meer dan droge grond en zal daardoor langer koud blijven). Het hangt af van de diepte van de grondwaterstand en de doorlatendheid van de grond boven dat niveau. Voor de grondwaterstand is vooral de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG van belang). Een grond met een GHG van 80 cm is zeer goed ontwaterd en met een GHG van 0 cm zeer slecht. Klei en veenmos zijn vaak slechter doorlatend dan zand. Daarmee zullen gronden met gelijke GHG, maar met een zware klei-bovengrond en veenmos in het profiel, een slechtere ontwateringstoestand hebben dan zandgronden zonder storende lagen. De gradaties lopen van 1 t/m 5 waarbij 1 zeer goed ontwaterd en 5 zeer slecht is).

Het vochtleverend vermogen bepaalt de gewasgroei bij neerslagtekort (in de zomerperiode). Het wordt bepaald door de beworteling, de voorjaarsgrondwaterstand en de gemiddeld laagste grondwaterstand en het capillair geleidingsvermogen voor bodemvocht uit de ondergrond naar de wortelzone. Er is hierbij een groot verschil tussen grasland en maisland. Blijvend grasland wortelt met name de eerste 20 cm (meer dan 80 à 90% van de wortels), terwijl eenjarige gewassen veel dieper wortelen.

We hebben gezien dat in de klei-op-veengronden de grasbeworteling tot in het schalterveen reikt. Het grootste deel van de wortels beperkt zich toch tot de humeuze kleibovengrond van ongeveer 30 cm dikte. De dikte van die laag varieert maar kan 40 cm bereiken. In de gekeerde profielen zien we ook dat het grootste deel van de beworteling in grasland van drie jaar oud zich in de bovenste 20 cm bevindt. Voor de GVG en GLG gaan we uit van de huidige grondwaterfluctuatie. We hebben geconstateerd dat de meeste gronden binnen Gt II-IIb of III- IIIb voorkomen. De kritieke z-afstand – de afstand dat bodemvocht uit het grondwater kan overbruggen om via capillairen met een snelheid van 2 mm/dag naar de wortelzone op te stijgen – bepaalt wanneer er in de zomer een vochttekort gaat optreden en er groeivertraging is. De benodigde hoeveelheid capillaire opstijging om de optimale verdamping bij te kunnen houden, bedraagt namelijk 2 mm/dag. Naarmate het vochttekort langer uitblijft, is het vochtleverend vermogen groter. Het is ingedeeld in de gradaties 1 t/m 5; van zeer groot naar zeer klein, in getallen uitgedrukt van > 200mm - < 50mm). Het vochtleverend vermogen wordt berekend voor een groeiseizoen, waarvan het neerslagtekort slechts in 1 op de 10 jaar voorkomt.

De stevigheid van de bovengrond bepaalt of land berijd- en/of beweidbaar is zonder berijdings- of beweidingsverliezen. De stevigheid wordt bepaald door de indringingsweerstand van de toplaag bij GHG en/of GVG (gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand) te meten. De stevigheid is ook af te leiden uit de textuur en de GHG. De stevigheid wordt voor een deel beïnvloed door de GHG, maar ook door de samenstelling van de bovengrond (Tabel 9). Zandige bovengrond heeft meer draagkracht dan klei of veen. Het organischestofgehalte speelt een belangrijke rol, maar ook het lutumgehalte. Voor de indeling zijn vijf gradaties onderscheiden; van 1 (zeer groot) tot 5 (zeer gering). In Tabel 9 staat een toelichting op de indeling voor gronden met een GHG < 40cm. De indeling naar zavel-/kleigronden of zandgronden is in deze tabel wat aangescherpt door de grenswaarde van 8% lutum op te nemen. Een lutumgehalte van meer dan 30% geeft aan dat het een lichte tot zware kleigrond betreft.

Tabel 9 Gradaties voor de stevigheid van de bovengrond. Voor de vereenvoudiging hebben we hier alleen de indeling bij een GHG < 40 cm -mv weergegeven.

GHG cm -mv	Organische stofgehalte (%)	Lutumgehalte (%)	Leemgehalte (<50µ in %)	Gradatie	Beschrijving
25-40	<5	-	<17,5	1	Zeer groot
25-40	<5		>17,5	2	Vrij groot
25-40	5-15	<8		2	Vrij groot
25-40	5-15	8-30		3	Matig
25-40	>15	<8		3	Matig
<25	<5		<17,5	3	Matig
25-40	5-15	>30		4	Vrij gering
<25	<5		>17,5	4	Vrij gering
25-40	>15	>8		5	Zeer gering
<25	>5			5	Zeer gering

De verkruielbaarheid geeft de mate aan waarin de bovengrond bij de zaaivoorbereiding makkelijk en over een breed vochtgehaltetraject uit elkaar valt. Het wordt met name bepaald door het lutumgehalte, organischestofgehalte en kalkrijkdom. Zware klei zonder kalk is moeilijk verkruielbaar. Humeuze, lichte klei is tamelijk gemakkelijk verkruielbaar. Zware zavel is goed verkruielbaar wanneer die kalkrijk en humeus is en alle gronden lichter dan zware zavel zijn goed verkruielbaar.

5.1.2 Berekening van de mogelijkheden voor akker- en weidebouw

Op basis van de drie beoordelingscriteria voor weidebouw en vier voor akkerbouw (mais) kunnen we een beeld vormen van de mogelijkheden voor en na keren van veengronden met een kleidek.

De ontwateringstoestand is door de kering vooral veranderd doordat de bovengrond minder kleilig is. Daardoor is de aeratie wel verbeterd. De grondwaterfluctuatie (Grondwatertrap en GHG en GLG) is geschat op basis van landschappelijke en profielkenmerken en waterstanden tijdens het veldwerk. We gaan ervan uit dat de grondwaterfluctuatie nog weinig veranderd is. Dit is slechts een inschatting. Er zijn geen grondwaterstanden gemeten gedurende een langere periode om dat goed vast te stellen. De nu ingeschatte GHG en GLG van originele en gekeerde profielen zijn gemiddeld gelijk. Door drainage kan de Gt in de toekomst wel enigszins wijzigen.

In Tabel 10 staan de gradaties voor de ontwateringstoestand weergegeven.

Tabel 10 Gradaties voor de ontwateringstoestand van originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven. Tussen haakjes wordt de range aangegeven.

Profiel	Gradatie	Beschrijving
Origineel (n=12)	4(3-4)	Matig
Omgezet (n=17)	3(3-4)	Redelijk

De ontwateringstoestand 3 wordt in de weidebouw als redelijk beschouwd. Voor akkerbouw is een gradatie 1 of 2 nodig. De gradatie 4 (slecht) wordt behalve door de GHG vooral bepaald door het hoge lutumgehalte van de bovengrond (40%). Hierdoor is de voorjaarsontwikkeling traag.

In Tabel 11 beschrijven we de beworteling en de berekende kritieke z-afstand voor weidebouw (20 cm) en voor akkerbouw (bewortelbare diepte). De kritieke z-afstand is berekend met het programma Zeus (Wesseling, 1990). Daarbij zijn voor alle lagen in de profielen bodemfysische karakteristieken toegekend op basis van de textuur van de laag. Voor de gekeerde grond zijn ook de geschatte texturen gebruikt. Door menging van zand, klei en veen zijn daarbij andere texturen gemaakt. De daarbij behorende karakteristieken zijn afgeleid uit originele bodems. Hier kan een groot verschil ontstaan, want de gemengde grond heeft wel dezelfde textuur, maar de structuur en het daarmee samenhangend bodemfysische gedrag is daarmee nog niet gelijk. Het is maar zeer de vraag of dit op redelijke termijn (3-5 jaar) wel het geval is, met name in de ondergrond. Door alle beschreven profielen apart door te rekenen, hebben we geprobeerd de onzekerheid mee te nemen.

Tabel 11 Beworteling en gemiddelde berekende kritieke z-afstand voor de door WENR beschreven originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven.

Profiel	Weidebouw (beworteling in cm) ¹	Akkerbouw (bewortelbare diepte)	Kritieke z-afstand weidebouw in cm (range)	Kritieke z-afstand akkerbouw in cm (range)
Origineel (n=12)	20	45	45 (32-59)	47 (44-48)
Omgezet (n=17)	20	45	75 (29-118)	71 (32-117)

¹ Bij de berekeningen van de kritiek z-afstand voor weidebouw is hiervan uitgegaan. De originele profielen hebben echter vaak een bewortelingsdiepte even dik als de kleihoudende bovengrond.

De berekende kritieke z-afstand is voor het originele profiel lager dan die van het gekeerde profiel. Dit hangt samen met de bovengrond van matig zware klei en het schalter- en veenmosveen eronder, die een slecht capillair geleidingsvermogen kennen. Wanneer de beworteling dieper wordt, telt het kleihoudende dek minder sterk mee en het veen des te meer. De kritieke z-afstand wordt daardoor nauwelijks groter.

Het matige fijne, meestal zwaklemige zand dat met het keren naar boven is gehaald, heeft een hoger capillair geleidingsvermogen. Zou er grof zand met een mediaan van de zandfractie (M_{50}) >250 naar boven zijn gehaald, dan is het capillair geleidingsvermogen veel lager en bestaat er een groter risico op verdroging. Het valt op dat bij de gekeerde profielen door de grote verschillen in profielopbouw de kritieke z-afstand sterk varieert (grote range). Dit komt door de beperkte mate van menging en de diepte waarop de bovenste bodemlagen (veen en klei) in het nieuwe profiel zijn terechtgekomen.

De gradatie voor het vochtleverend vermogen wordt berekend door na te gaan wat de afstand is tussen de LG10 (de diepste grondwaterstand die in slechts in een op de tien jaren overschreden wordt = 10% droogtejaar) en de wortelzone. Als die afstand kleiner is dan de kritieke z-afstand, dan zal er geen vochttekort voor de gewassen optreden. Als die groter is, dan wordt gekeken wanneer lineair de kritieke z-afstand overschreden wordt door de dalende grondwaterstand in het 10% droogtejaar. Daarnaast wordt het vochthoudend vermogen van de wortelzone als secundair criterium gebruikt.

De diepte van de wortelzone voor blijvend grasland is vaak maximaal 20 cm. Uit de beschrijvingen en profielkuilen bleek herhaaldelijk een wortelzone die overeenkomt met de dikte van de kleihoudende bovengrond. We hebben daarom een range voor het vochtleverend vermogen berekend. In Tabel 12 wordt de gradatie voor het vochtleverend vermogen weergegeven.

Tabel 12 Gradaties voor het vochtleverend vermogen van originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven. Tussen haakjes wordt de range aangegeven.

Profiel	Weidebouw (beworteling 20cm) ¹	Akkerbouw (bewortelbare diepte)
Origineel (n=12)	3(2-3)	2(1-3)
Omgezet (n=17)	1(1-4)	1(1-3)

¹ Bij de originele profielen is de bewortelingsdiepte van grasland vaak gelijk aan de dikte van de kleihoudende bovengrond.

De gradatie voor het vochtleverend vermogen is door de kering verbeterd. Met name voor grasland is de gradatieverandering groot, van 3 naar 1. Aandachtspunt is wel de grote range bij het gekeerde profiel, waardoor het gras toch een onregelmatige groei kan vertonen in tijden van droogte. In de toelichting van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50000 blad 10 wordt de bodemgeschiktheid voor weidebouw ook besproken (Stiboka, 1973). Van de waardveengronden op Gt II wordt geschreven dat ze in de zomer mede door de schalter gemakkelijk verdrogen. Dat stemt goed overeen met de gradatietoekenning genoemd in Tabel 12.

Voor akkerbouw (lees bv. mais) is de verandering minder groot. Voor de berekeningen van de originele profielen droeg het vochthoudend vermogen van de diepere wortelzone, maar ook de langduriger nalevering van uit de ondergrond eraan bij dat de gradatie voor bouwland wat hoger is. Daardoor zijn de verschillen met de gekeerde profielen ook minder groot. In Tabel 13 geven we de gradatie voor de stevigheid van de bovengrond weer.

Tabel 13 Gradaties voor de stevigheid van de bovengrond van originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven. Tussen haakjes wordt de range aangegeven.

Profiel	Organische stofgehalte (%)	Lutumgehalte (%)	GHG gemiddeld (geschat, cm)	Gradatie (range)	Benaming
Origineel (n=12)	18,6 (10,0-27,0)	38,0 (32-47)	26	5(4-5)	Zeer gering
Omgezet (n=17)	15,0 (1,7-28,7)	17,5 (4,4-30,2)	26	3(2-5)	Matig

De gradatie voor de stevigheid is duidelijk verbeterd door de kering. Bij de gekeerde profielen is gemiddeld 15% organische stof voor de beoordeling een grensgeval. Vanwege twee uitbijters van 27,6 en 28,7% organische stof ligt het gemiddelde zo hoog. De meeste gekeerde profielen bevatten veel minder organische stof (tussen 5 en 15%) en hebben daarom gradatie 3 gekregen. De range is dus wel groot bij de gekeerde profielen. Er komen veel plekken voor met een grote, maar ook enkele met een zeer geringe stevigheid voor. Door de bovengrond in de toekomst meer te mengen, kan deze heterogeniteit wel verminderen.

In Tabel 14 staan de gradaties voor de verkruielbaarheid weergegeven. De verkruielbaarheid van de bovengrond in de gekeerde profielen is door het lutumgehalte van gemiddeld 17,5% tamelijk gemakkelijk en zal in de praktijk voor maisteelt met een wat grovere zaaibedopbouw geen probleem vormen.

Tabel 14 Gradaties voor de verkruielbaarheid van originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven. Tussen haakjes wordt de range aangegeven.

Profiel	Organische stofgehalte (%)	Lutumgehalte (%)	Kalkrijkdom	Gradatie (range)	Benaming
Origineel (n=12)	18,6 (10,0-27,0)	38,0 (32-47)	Kalkloos	3	Moeilijk
Omgezet (n=17)	15,0 (1,7-28,7)	17,5 (4,4-30,2)	Kalkloos	2	Tamelijk makkelijk

Op basis van de vier beoordelingsfactoren kunnen we een conclusie gaan trekken over de mogelijkheden voor en na kering van het bodemprofiel. In Tabel 15 hebben de beoordeling

samengevat. Het is belangrijk alvast te vermelden dat in deze tabel de spreiding niet is aangegeven, terwijl die wel van groot belang is. Verder hebben we niet, zoals in de handleiding voor interpretatie van bodemkaarten wordt aangegeven, een geschiktheidsklasse genoemd. We vinden het belangrijker om met beschrijvingen aan te geven wat de mogelijkheden zijn.

Tabel 15 *Mogelijkheden voor weidebouw en akkerbouw (mais) voor de originele en gekeerde bodemprofielen bij de twee onderzochte bedrijven.¹tussen haakjes het vochtleverend vermogen voor akkerbouw.*

Profiel	Gradatie ontwaterings-toestand	Gradatie vochtleverend vermogen ¹	Gradatie stevigheid	Gradatie verkruijmelbaar-heid	Mogelijkheden weidebouw	Mogelijkheden akkerbouw (mais)
Origineel (n=12)	4	3(2)	5	3	Weinig	Weinig
Omgezet (n=17)	3	1(1)	3	2	Ruim	Vrij groot teeltrisico

Voor de weidebouw zijn door de kering de mogelijkheden aanzienlijk verruimd. De ontwatering is verbeterd door het lagere lutumgehalte van de bovengrond. De zware klei zorgde voor een vertraagde aeratie. Het vochtleverend vermogen is verbeterd doordat het capillaire geleidingsvermogen van de laag onder de wortelzone tot de diepste grondwaterstand nu in veel gevallen voor een groot deel uit zandig materiaal bestaat in plaats van veenmosveen. De stevigheid is verbeterd door het lagere lutum- en organischestofgehalte van de bovengrond.

Voor akkerbouw (mais) zijn de mogelijkheden ook groter, maar er wordt wel een kanttekening gemaakt voor de bewerkbaarheid. D.w.z. het aantal dagen dat bewerkingen kunnen worden uitgevoerd. Dat heeft met name met de ontwateringstoestand te maken. Akkerbouw vereist een grotere drooglegging en dat betekent bij de huidige ontwatering problemen met het op tijd bewerken van het land in het voorjaar en het oogsten in het najaar. Ook de gewasontwikkeling in het voorjaar door de tragere opwarming van de bodem is beperkt.

Bodemchemische en bodembioologische effecten

Aandachtspunt bij de hierboven beschreven berekeningswijze van de mogelijkheden voor landbouw is dat er hierbij vooral naar de fysische effecten wordt gekeken. De chemische bodemvruchtbaarheid wordt hierin niet meegenomen. Het is daarom goed om aan te geven dat de chemische bodemvruchtbaarheid behoorlijk verandert door de kering en dat er op korte termijn tekorten aan voedingsstoffen kunnen optreden. De chemische bodemvruchtbaarheid is in dit onderzoek ook niet nader onderzocht. De metingen aan voorraden voedingsstoffen zouden voor een groot deel beïnvloed zijn door de bemestingen die erna zijn uitgevoerd. Op basis van de veranderingen in lutum en organische stof van zowel boven- als ondergrond is wel duidelijk dat het vermogen om voedingsstoffen op te slaan en geleidelijk beschikbaar te maken voor gewasopname, daarmee recht evenredig is afgenomen (kleinere CEC (kationenuitwisselingscapaciteit) en geringer totaal geadsorbeerde kationen). Dat betekent ook dat het risico op uitspoeling van voedingsstoffen is vergroot. Door verbeterde infiltratie vermindert wel de oppervlakkige afspoeling, maar netto zullen de nutriëntenverliezen door uitspoeling toenemen.

Wat opviel bij de onderzochte gekeerde locaties is dat er een grote heterogeniteit in de bodem ontstaan is. Gemiddeld zijn de lutum- en organischestofgehalten wel op een redelijk niveau, maar door de heterogeniteit zal er een onregelmatige groei kunnen optreden, vooral wanneer er even tijdelijk sprake is van een tekort aan een bepaalde voedingsstof. De pH van de oorspronkelijke kleibovengrond was relatief laag (kalkloze klei). Dit had behalve op de opneembaarheid van bepaalde voedingselementen ook een negatieve invloed op de structuur van de klei. Bekalking zou de structuur hebben kunnen verbeteren.

Er wordt ook geen rekening gehouden met de bodembioologische effecten. Het Louis Bolk Instituut maakt terecht de opmerkingen dat er een 'lege bodem' ontstaat en dat de effecten op de biodiversiteit groot kunnen zijn.

Wat betreft de lege bodem is het aan te bevelen om een ent van de oorspronkelijke bodem in de nieuwe bovengrond terug te brengen. Het valt na drie jaar wel op dat er redelijk snel weer iets van een bovengrond is gevormd. De organische stof in de wortelmat van grasland neemt als bekend snel toe door jaarlijkse omzetting van biomassa uit gras. Maar het bleek ook uit de profielen in Tjalleberd dat er na dertig jaar nog steeds sprake is van een wat heterogene bovengrond die nog niet volledig gehomogeniseerd is.

De zandige bovengrond heeft een betere doorlatendheid en daarmee een betere aeratie. Er zal minder snel plasmavorming optreden en de grasmat blijft beter bestand tegen vertrapping. Kortom, er heerst inderdaad een heel ander microklimaat dat andere biodiversiteit aantrekt dan waar de veenweidegebieden om bekendstaan. Als de ontwatering nog verder wordt verbeterd door drainage zal de fauna die voorkeur heeft voor nat, er naar verwachting minder vaak voorkomen.

HELP-methode

De Help-tabellen die in het verleden veel gebruikt werden voor ruilverkavelingen, geven voor eenheden van de bodemkaart een inschatting voor de opbrengstverliezen door wateroverlast en droogte voor grasland en bouwland (Werkgroep Helptabel, 1987). Hoewel deze informatie deels achterhaald is door nieuwe rekenmodellen die meer invoer vergen, geeft het een meer kwantitatieve indicatie voor de opbrengstverliezen die optreden. Op basis van de in de in dit hoofdstuk verzamelde informatie zou de opbrengstdepressie van grasland voor het originele profiel 15-16% bedragen (uitgaande van een klei-op veengrond kV met Gt II*). Daarbij is nog geen rekening gehouden met het schalterveen. Hierdoor zal de depressie naar schatting 5% hoger zijn. Voor het gekeerde profiel zijn er twee gemengwoelde bodemtypes op Gt II* genoemd, die een opbrengstdepressie kennen van 13%. Bij zandgronden op Gt II* bedraagt de opbrengstdepressie 11%. De oorzaak voor de geringe verschillen in de opbrengstdepressies voor grasland is de dominante invloed van de grondwatertrap (II*) op de wateroverlast die wordt berekend.

Voor bouwland worden in de genoemde tabel geen opbrengstdepressies genoemd voor klei-op-veengronden. Gemengwoelde bodemtypes op Gt III* hebben voor bouwland een opbrengstdepressie van 21%. Met Gt II* komen geen bodemtypes in de tabel voor en zou die nog hoger zijn.

Rendement

In Tabel 16 staat een indicatieve berekening weergegeven van de rendabiliteit van verhoging van de opbrengsten voor mais en gras van een originele situatie naar het gekeerde profiel. Daarvoor zijn opbrengstgegevens en kostennormen gebruikt uit het handboek voor kwantitatieve informatie veehouderij (Blanken et al., 2020). De opbrengstdepressies komen uit de Helptabellen. Voor de opbrengstdepressie van mais in de originele situatie waren geen cijfers beschikbaar. We hebben daarvoor een inschatting van 45% gemaakt op basis van de in het handboek genoemde 'slechte' maisopbrengst van 11 t ds/ha en de maximale opbrengst van 20 t ds/ha. De kosten van de kring zijn deels van gemiddelde prijzen voor omgraven van land en drainage van loonbedrijven en uit mondelinge mededelingen. De berekening geeft een duidelijke saldoverbetering voor zowel gras- als maisland. Er is uitgegaan van 15% maisareaal. Het rendement van de investering in keren van land op bedrijfsniveau blijkt echter met deze input nog wel negatief, -€ 167 per ha/jaar. Dit is een berekening die voor gemiddelde en landelijk beschikbare kosten en opbrengstgegevens geldt. Individueel kan dit sterk afwijken. Bij de toegerekende kosten wordt veelal van loonwerk uitgegaan. Door eigen arbeid kunnen de kosten bijvoorbeeld lager uitvallen. Ook is uitgegaan van gemiddelde opbrengsten en die kunnen, zoals een van de bedrijven aangaf, hoger liggen.

Verder is van belang:

- Op welke diepte begint het zand, hoe diep reikt de grondbewerking?
- Worden alle werkzaamheden uitbesteed of een deel in eigen beheer gedaan, zoals het egaliseren?
- Worden de kosten van herinzaai als extra kosten in rekening gebracht, of niet omdat het regulier terugkerende kosten zijn, samenhangend met graslandvernieuwing eens in de tien jaar?
- Wordt wel of geen rekening gehouden met het belastingvoordeel van investeringen?
- Wordt wel of geen rekening gehouden met het voorkomen van muizenschade?

Rekening houdend met deze criteria is niet zonder meer te concluderen of de investering rendabel is en zal deze voor iedere situatie op basis van specifieke input eerst berekend moeten worden.

Tabel 16 Opbrengstverhoging en rendementberekening voor de investering in het keren van het veenprofiel.

	% areaal	Omgezet				Origineel			
Mais	15	Zeer goed (=100%)		21% opbrengst- depressie		45% opbrengst- depressie			
		Prijs/ kg ds	Kg ds/ha	Bedrag	Kg ds/ha	Bedrag	Kg ds/ha	Bedrag	Opbrengst- verhoging
Opbrengst		€ 0.14	20000	€ 2.800	15800	€ 2.212	11000	€ 1.540	
Toegerekende kosten				€ 1.400		€ 1.400		€ 1.400	
Saldo				€ 1.400		€ 812		€ 140	€ 672
Gras	85			13% opbrengst- depressie		21% opbrengst- depressie			
Opbrengst		€ 0.18	13000	€ 2.340	11310	€ 2.036	10270	€ 1.849	
Toegerekende kosten				€ 1.245		€ 1.245		€ 1.245	
Saldo				€ 1.095		€ 791		€ 604	€ 187
Naar teelt gewogen gemiddelde opbrengstverhoging									€ 260
		Kosten keren per ha				Afschrijving per jaar (20 jaar)			
Keren land				€ 5.500		€ 275			
Drainage				€ 1.500		€ 75			
Rente (1%)				€ 1.540		€ 77			
Totaal				€ 8.540		€ 427			€ -167

5.2 Effecten op bodemdaling en CO₂-emissie

Onderzoeken geven aan dat door de grondwaterstand in veenweidegebieden te verhogen, de broeikasemissies kunnen verlagen. Er worden meer anaerobe omstandigheden gecreëerd waardoor de benodigde zuurstof voor de microben ontbreekt om organische stof uit veen af te breken. Er is wel een optimum. Natte omstandigheden leiden soms tot meer CH₄-emissie, maar deze wordt al in een droge bovenlaag van slechts enkele centimeters afgebroken tot CO₂. Ook bij de aerobe afbraak hebben microben behoefte aan vocht. Te ver uitdrogen, leidt tot een rem op de afbraak. Bovendien zullen dan diepere lagen in een optimaal vochttraject voor afbraak terechtkomen. Onderwater en drukdrainage pretenderen ook succesvol veen langduriger onder anaerobe omstandigheden te conserveren.

Bij de keren van het veenprofiel kan er ook voor gezorgd worden dat het veen permanent onder het grondwaterniveau terechtkomt en niet verder afgebroken wordt. Uit Noors onderzoek kwam naar voren dat CH₄-emissie uit een op die manier weggestopte veenlaag beperkt is en onderweg naar boven omgezet wordt in minder sterk broeikasgas CO₂. Richardson et al. (1991) laten zien dat mengen tot 90 cm van een dunne veengrond met een zandige leemondergrond een aanzienlijke beperking van CO₂-emissie geeft. Deze beperking zal vooral ook worden veroorzaakt doordat een groot deel van het veen naar de diepte is gebracht. Uit onderzoek van Säurich et al. (2019) lijkt mengen van veen met puur zand bij veenmosveen een reductie van de veenafbraak en CO₂-emissie te geven, maar niet bij andere veensoorten. Daarnaast wordt de veenafbraak niet gestopt door de bijmenging van zand. Om veenoxidatie te beperken, zal dus zo veel mogelijk het veen naar de diepte moeten worden gebracht en liefst zo veel mogelijk onder het grondwaterpeil.

Vergelijking van verschillende grondsoorten in de broeikasgaswijzer geeft aan dat ervan uit wordt gegaan dat er minder broeikasgasemissie in de vorm van N₂O optreedt bij zandgronden dan bij veengronden bij gelijke Gt (De Haan et al. (2013) en Schils et al. (2012)). De proef met keren van veen in Noorwegen geeft een vermindering van de totale emissie van 2-4 ton CO₂-eq/ha/jaar. In Engeland werden soms zelfs veel grotere reducties (20 ton CO₂/ha/jaar) gerealiseerd bij het mengen van een veengrond in akkerbouw (Richardson et al., 1991). Voor een deel is dit verschil te verklaren door het klimaat. In Noorwegen zijn de temperaturen lager en valt er meer neerslag. Hierdoor blijft het natter en zijn de afbraakprocessen trager.

Verandering in de grondwaterstand blijkt ook een belangrijke parameter om de emissie te sturen. 10 cm grondwaterstandstijging leidt al tot een vermindering van emissie van 3,1-5 ton CO₂-eq/ha/jaar (Fritz et al. (2017) en Taft et al. (2018)). Er is ook sprake van een optimale waterverzadigingsgraad waarbij de emissie het hoogst is (o.a. Säurich et al., 2019). Er is ook nog volop onderzoek gaande en van belang is of onderwaterdrainage en/of drukdrainage als regelingsmechanismen voor de vochtigheid in de bodem een mogelijk positieve bijdrage aan de emissiebeperking kunnen geven.

Het effect van keren voor de CO₂-emissie hangt voor een groot deel af van de nauwkeurigheid waarmee de veenlaag onder het gemiddeld laagste grondwaterniveau wordt gestopt. In de praktijk zien we bij beide bedrijven nog een groot deel van de organische stof boven dat niveau voorkomen. Schalerveen dat ver is ingedroogd, heeft ook veel lucht ingesloten dat ook onder grondwaterniveau nog verder aerob afgebroken zal worden. Als de zuurstof in de lucht op is, nemen andere anaerobe afbraakprocessen het over. De zuurstofvoorziening wordt dan verzorgd door onder andere nitraat en sulfaat. Echter deze zal op den duur opraken en de aanvoer van sulfaat en nitraat via grondwaterstroming is in het algemeen traag en beperkt. We verwachten daarom dat die anaerobe afbraak beperkt en veel trager zal zijn, mede door de lagere bodemtemperatuur. Uit onderzoek in Noorwegen komt naar voren dat de methaanemissie van begraven veen kan toenemen, maar dat veel van het methaan, voordat het oppervlak bereikt, al is geoxideerd tot CO₂.

Uit onderzoek van Brouns en Verhoeven (2013) blijkt dat de afbraak van veen dat eenmaal blootgesteld is aan de lucht moeilijk afgeremd kan worden, omdat de beschermende fenolen verdwenen zijn. Het veenmosveen (schalerveen) blijkt daar na eigen onderzoek minder gevoelig voor. Daarnaast zal er altijd zuurstof nodig zijn voor de afbraak en die raakt na verloop van tijd toch op (schrift. mededeling, Van den Akker, 2021).

Ruwe inschatting bodemdaling en emissievermindering

Als we een ruwe inschatting willen maken van de effecten van de kering, kunnen we uitgaan van wat globale inschattingen. Wat betreft de bodemdaling is bekend dat in de Nederlandse veenweidegebieden de daling gemiddeld 10 mm/jaar is. In Friesland zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de maaiveld daling voor het landbouwgebied uitkwam op 13,9 mm/jaar (Akker et al., 2018). Op veengronden met een kleidek berekende men 8,2 mm/jaar. Als we hiervan uit gaan en we vergelijken dit met de zakking die bij de onderzochte bedrijven na kering optreedt, kunnen we stellen dat er in de beginjaren op gekeerde percelen waarschijnlijk wat meer bodemdaling optreedt, maar dit na enkele jaren nagenoeg stopt. Over twintig jaar gerekend is de bodemdaling van gekeerde percelen dan max. 8 cm en die van originele bodems 16 cm. Daarbij gaan we ervan uit dat de veenoxidatie in de gekeerde bodem volledig gestopt is, wat bij de onderzochte bedrijven op basis van het aanwezig veen boven 1 m -mv niet waarschijnlijk is. In de gekeerde grond zal ook nog veen afbreken, wat naar schatting leidt tot een meer permanente maaiveld daling van plm. 4,8 mm/jaar (59% organische stofrestant van 8,2 mm/jaar voor veengronden met een kleidek).

Als we op basis van de studies in Noorwegen (volledige kering met een ander klimaat) en Engeland (menging en vergelijkbaar klimaat) een schatting zouden maken voor de vermindering van de CO₂-emissie bij de onderzochte bedrijven, zou dat ongeveer 10 t CO₂/ha/jr voor een normale veengrond zijn. Voor veengronden met een kleidek berekende Van den Akker (2018) een emissie van 20,6 CO₂/ha/jr. Door de kering daalt de emissie. Als we uitgaan van 59% van de oorspronkelijke organische stof die boven 1m -mv nog was achtergebleven, kunnen we een vermindering van de CO₂-emissie van 20,6 t CO₂/ha/jaar naar 12,2 t CO₂/ha/jaar berekenen. Dit is een vermindering met 8,4 t CO₂/ha/jaar.

5.3 Andere omgevingseffecten

Watersysteem

Het keren van het veenprofiel heeft mogelijk effecten op het watersysteem. Als de waterberging en/of de infiltratiecapaciteit verandert, betekent dat mogelijk een verandering van de afvoersnelheid. We hebben geen waterretentiekenmerken gemeten en om een inschatting te maken van de waterberging, hebben we daarom gebruikgemaakt van enkele standaardkarakteristieken voor fysisch gedrag. Het zand uit de ondergrond is meest zwakleemig, matig fijn zand. Het verschilt in bergend vermogen met de zware humeuze klei en ook met veenmosveen. Met name de zware klei heeft een beperkt bergend vermogen. Voor de inschatting zijn we uitgegaan van evenwichtsprofielen. Dat wil zeggen, er is een hydrostatisch evenwicht met het grondwaterniveau aangenomen. In Tabel 17 is de gemiddelde bergingscoëfficiënt en het bergend vermogen weergegeven van de originele en gekeerde profielen voor verschillende dieptetrajecten. Er zijn weinig verschillen voor het onverzadigde profiel als geheel; 89 cm in een ongestoord profiel, 83 cm na het keren. Deels komt dit door de menging en de heterogeniteit van gekeerde profielen, deel ook omdat zand en veen qua berging toch weinig blijken te verschillen.

Tabel 17 Gemiddelde bergingscoëfficiënt en het bergend vermogen in mm en van originele en gekeerde profielen bij hydrostatisch evenwicht (grondwaterniveau 80 cm -mv) over verschillende dieptetrajecten.

Profiel	Dieptetraject (0-...cm)	Gemiddelde bergingscoëfficiënt	Gemiddeld bergend vermogen (cm)
Origineel (n=12)	30	0.03	13
Omgezet (n=17)	30	0.03	10
Origineel (n=12)	60	0.04	30
Omgezet (n=17)	60	0.04	28
Origineel (n=12)	80	0.06	46
Omgezet (n=17)	80	0.06	45

De doorlatendheid hebben we niet gemeten en hangt sterk af van het vochtgehalte. Bij uitdroging van de originele profielen treedt scheurvorming op in klei- en bovenste veenlagen. Die scheurvorming is minder het geval bij de gekeerde profielen. Dit effect betekent ten tijde van droogte dat de infiltratie bij originele profielen groter is. In een droge zomerperiode zal neerslag bij de gekeerde profielen dan minder snel afvoeren naar het oppervlaktewater dan bij de originele profielen. Het water wordt dan langer vastgehouden. Dit kan gunstig zijn voor de benodigde waterberging in die periode. In een natte periode bestaat in de originele situatie een grote kans op run-off, oppervlakkige afvoer naar greppels en sloten. Door keren zal door de hogere infiltratiecapaciteit van zandig materiaal (hoger dan van klei) neerslag makkelijker in de bodem infiltreren.

De zakking van het gekeerde profiel leidt tot een maaiveldddaling in de beginjaren van 2-8 cm. Zoals in paragraaf 3.1.5 genoemd, zal in de gekeerde grond ook nog veen afbreken, wat naar schatting leidt tot een meer permanente maaiveldddaling van plm. 4,8 mm/jaar. Daardoor zal de benodigde opvoerhoogte naar de boezem wat toenemen.

De gekeerde profielen moeten binnenkort nog gedraineerd worden. Bij een keuze voor de traditionele manier van draineren is een slootpeil nodig van 80 à 100 cm. Bij een min of meer blijvende daling van het maaiveld zal dit peil steeds aangepast moeten worden. Dit vergt een permanente aanpassing van het watersysteem. Echter ook voor de originele veenprofielen zou die benodigde aanpassing blijven gelden, naar verwachting op langere termijn zelfs in (steeds) grotere mate.

In de onverzadigde zone is de ontwatering verbeterd door het keren. Hierdoor zal met name na natte perioden de bovengrond sneller opdrogen. Dit wordt nog versterkt als de percelen binnenkort gedraineerd worden. Dit hangt nog wel af van de keuze voor het type drainage (bv. samengesteld, peilgestuurd, druk- of onderwaterdrainage of traditionele drainage).

In de verzadigde zone is er ook wat veranderd door de kering van grond. In de ondergrond is zandig, goed doorlatend materiaal vervangen door minder goed doorlatend materiaal (veen en klei). Dit heeft een remmend effect op de afvoer van water door het verzadigde systeem door de hogere K-waarde (stromingsweerstand). Hoe groot die invloed is, valt moeilijk in te schatten. We weten nog te weinig over de verzadigde stroming door gekeerde, heterogene lagen. Mogelijk vindt de meeste stroming richting afwateringsmiddelen juist over die weggestopte klei- en veenlagen plaats. De doorstroomde laag wordt dan dunner.

Het keren van het profiel grijpt, zo blijkt uit bovenstaande opmerkingen, op veel manieren in op de waterhuishouding. Het resulterende effect op de afvoer naar het watersysteem (ook op regionale schaal) hebben we in dit kortlopend onderzoek nog niet kunnen vaststellen.

Effect op bodemchemie

Pyriet

Brouns en Verhoeven (2013) constateren dat door de aeratie in eutrofe veentypen zwavelmineralisatie optreedt, blijkend uit de accumulatie van sulfaat. Dit is waarschijnlijk het gevolg van pyrietoxidatie. Pyriet (FeS_2) komt in de Nederlandse veengebieden vooral voor waar het veen is gevormd onder relatief zwavelrijke omstandigheden, onder invloed van toestromend sulfaatrijk grond- en oppervlaktewater. Deze condities vinden we vaker in het eutrofe riet-, zegge- en bosveen dan in het voedselarmere *Sphagnum*-veen.

Pyrietvorming treedt bij overmatige aanvoer van sulfaat onder zuurstofloze omstandigheden op. Van Delft et al. (2005) hebben onderzoek gedaan naar pyrietvorming in natte natuurgebieden, waarbij de overmaat sulfaat werd aangereikt door hetzij door depositie, of infiltratie en/of kwel. Die blijken niet te vergelijken met situaties in het onderzochte landbouwgebied in Fryslân.

Pyriet komt in Fryslân alleen voor aan de randen van het veengebied, waar het in aanwezigheid van organische stof heeft geleid tot de vorming van katteklei. Die katteklei komt alleen voor in onderliggende, oudere kleiafzettingen (Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, 1974).

Het risico op verzuring door de aanwezigheid van pyriet lijkt dus klein bij het keren van de veenprofielen, waarbij onder het oligotrofe veenmosveen een arme zandondergrond naar boven gehaald wordt.

Effecten op archeologische, cultuurhistorische en aardkundige en landschappelijke waarden

Door het keren/mengen van veen met de ondergrond gaan de oorspronkelijke gelaagdheid van de bodem (aardkundige waarden) en voorwerpen en sporen die informatie geven over mensen in het verleden (archeologische waarden) verloren. Daarbij gaat het niet alleen over waarden van en in het veen, maar ook om waarden van en in het kleidek en die van, op en in het zandpakket onder het veen. De archeologische waarden in de hoogste niveaus betreffen veelal de sporen van veenontginningen sinds de IJzertijd. De diepere niveaus herbergen resten van Steentijdnederzettingen, zowel van jagers-verzamelaars als van de eerste boeren. Ook bovengronds heeft het keren van veen effect, zoals een afname van de 'leesbaarheid' van het landschap.

Archeologische waarden

De FAMKE (Friese Archeologische Monumentenkaart Extra) geeft aan of bij bodemingrepen van een bepaalde omvang archeologisch onderzoek nodig is. Dit onderzoek wordt door de provincie gevraagd in het kader van de aanvraag van een ontgrondingenvergunning, of door de gemeente als die bevoegd gezag is. Afhankelijk van de resultaten van dit onderzoek kan het zijn dat de voorgenomen ingrepen vanuit archeologisch oogpunt zonder bezwaar kunnen worden uitgevoerd. Het kan ook zijn dat nader onderzoek nodig is. Als duidelijk is welke archeologische waarden in de bodem aanwezig zijn, besluiten Gedeputeerde Staten van Fryslân over de keuze voor behoud in situ (in de bodem) of behoud ex situ (behoud van de informatie door middel van een opgraving).

De kosten van onderzoek en behoud komen voor rekening van de initiatiefnemer. Die kan er ook voor kiezen om op de percelen of perceel delen waar waarden aanwezig kunnen zijn, van het keren/mengen af te zien.

Landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden

Keren/mengen van veen kan ertoe leiden dat de percelen na de grondbewerking anders worden ingericht en dat de oorspronkelijke landschappelijke bodemstructuur met bijbehorende vegetatie en begroeiing wordt gewijzigd in een ander landschapstype. Verder kunnen door het dempen van sloten percelen worden verruimd, waardoor oude ontginnings- en verkavelingspatronen verloren gaan. Ook kan er sprake zijn van egalisatie, waarbij greppels worden dichtgeschoven, met drainage als vervanging.

Het beleid met betrekking tot landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden van de provincie Fryslân is vastgelegd in de Omgevingsvisie De Romte Diele, de thematische structuurvisie Grutsk op 'e Romte (hierna Grutsk) en juridisch in de Verordening Romte en de Ontgrondingenverordening.

In Grutsk is een Top 10 met waarden voor de hele provincie en waarden per landschapstype van provinciaal belang opgenomen. De nummer 1 van de Top 10 is de verscheidenheid aan landschapstypen, overgangszones en de contrasten daartussen. Het gebied waar het keren van het bodemprofiel actueel kan worden, ligt in en grenst aan verschillende landschapstypes. Voor deze landschappen maken zaken als de bodemopbouw, opstrekend verkavelingspatroon, microreliëf en waterstructuren onderdeel uit van de kernkwaliteiten. Onder meer zijn de overgangen en contrasten tussen de veenweide, het klei-op-veen of het zand/keileemgebied van belang.

Het aardkundige beleid is in Grutsk vastgelegd in de bodemopbouw per landschapstype en een andere structuur binnen de Top 10, namelijk reliëf. Voor aardkunde zijn de landschapstypenkaart en de cultuurhistorische kaart, die gekoppeld zijn aan Grutsk, van belang. Hierin staan een geomorfologische kaart en een kaart van aardkundig waardevolle gebieden.

In de Verordening Romte is vastgelegd dat in ruimtelijke plannen rekening moet worden gehouden met de waarden van Grutsk. In de Ontgrondingenverordening is ook vastgelegd dat een aanvraag getoetst wordt aan Grutsk op 'e Romte.

Het keren van het bodemprofiel, waarbij het oorspronkelijke veendek wordt gemengd met zand en kleilagen, heeft directe gevolgen op de hiervoor genoemde waarden van Grutsk en kunnen op grond van het provinciaal beleid niet zonder meer worden goedgekeurd. Een aanvraag of een voornemen daarvoor zal getoetst moeten worden aan de principes van de Omgevingsvisie en daarmee ook aan de landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden van Grutsk op 'e Romte.

5.4 Naar richtlijnen voor keren veenprofielen

In hoofdstuk 3 hebben we uitvoerig stilgestaan bij de bodemkundige aspecten van de uitgevoerde kering van veenprofielen. Daarbij is een aantal aanbevelingen die voortkomen uit deze ervaringen terloops genoemd.

We zetten ze hier op een rijtje:

1. Belangrijkste zorg is dat het profiel zorgvuldig wordt gekeerd, waarbij bewust een deel van de bovengrond gemengd wordt met de nieuwe zandbovengrond om wat meer organische stof en lutum te hebben die zorgen voor voldoende vochthoudend vermogen, draagkracht, natuurlijke bodemvruchtbaarheid, structuur en bewerkbaarheid. Streven is 10-15% lutum en 5-10% organische stof in de bouwvoor.
2. Deel bovengrond (voor 10 cm laagdikte) daarom eerst opzijzetten. Dit bevat behalve veel voedingsstoffen, de genoemde klei en organische stof en voldoende 'ent' voor een snelle herstart van het bodemleven.
3. De veenlaag inclusief de schalterlaag zorgvuldig onder permanent grondwaterniveau brengen.

-
4. Bovengrond terugbrengen met machines met weinig bodemdruk en licht doormengen.
 5. Eerste jaren weinig berijden en beweiden en alleen onder droge omstandigheden.
 6. Bij voorkeur in het eerste jaar een diep wortelend gewas inzaaien. Dat zorgt voor gangvorming en contact met de ondergrond, nodig voor een goede verticale doorlatendheid.
 7. Daarna pas homogeniseren door te ploegen.
 8. De omzetwerkzaamheden uitvoeren bij droge weersomstandigheden in een droge periode van het jaar.
 9. Na drie jaar sleufdrainage (na voldoende zakking van het profiel) aanbrengen en egaliseren.
 10. Een drainagetechniek te verkiezen met regelbare drainage, waarbij de drooglegging kan worden gereguleerd (zomer/winter).

De aanvraag voor een omgevingsvergunning zal nu bij de provincie en straks bij een gemeente worden ingediend. De toets (door de provincie) zal gericht moeten zijn op:

1. Archeologische waarden, cultuurhistorische waarden en aardkundige landschappelijke waarden
2. Daarvoor is precieze locatie-aanduiding noodzakelijk. D.w.z. op een kaart met nauwkeurige x- en y-coördinaten, oppervlakte en de diepte van kering.
3. Periode van uitvoering
4. Controle op de werkzaamheden i.v.m. de eisen die nu en in de toekomst gesteld gaan worden aan emissiearme landbouw in veenweidegebieden.
 - a. Opzijzetten van de bouwvoor;
 - b. Tijdens de uitvoering op maatvoering van de kering, door bv. controle op diep onderbrengen van veenlagen;
 - c. Afstand tot sloot minimaal 2 m i.v.m. instorten talud (de huidige taludrand is steviger dan die met een zandlaag die kan 'weglopen').

We stellen voor om na gunning enkele controlemomenten in te bouwen tijdens de uitvoering. Het is van belang dat er een goede registratie is van de gekeerde arealen grond. Deze informatie kan via de provincie in de BRO (basisregistratie Ondergrond) worden opgeslagen en is voor ieder beschikbaar voor eventuele toekomstige vragen.

De verwachting is dat, afhankelijk van het succes, deze kering van het veenprofiel een vervolg zal krijgen in de omgeving. We hebben dit eerder gezien in zuidelijk Flevoland bij de kering van zware kleigrond, waar ook pleistoceen zand naar boven is gehaald om een lichtere bouwvoor voor akkerbouw te creëren. Het succes van de eerste jaren leidde tot veel vervolg in de nabije omgeving. Toch moeten ook de mislukkingen worden genoemd. In een aantal gevallen bleek de bovengrond te schraal en stuifgevoelig en slempgevoelig. Soms bleek de doorlatendheid te laag en de omhoog gebrachte grond te kleiig en onrijp, waardoor berijden en bewerken van de grond soms onmogelijk was. Pas na jaren herstelden deze gronden enigszins.

Ook geven we een overzicht van hoe andere provincies met veengronden met het keren van veenprofielen omgaan, en de argumentatie die daaraan ten grondslag ligt.

In de provincie Groningen en Drenthe is men, getuige het onderzoek van Verstand et al. (2020), actief op zoek naar maatregelen om de CO₂-emissie te verlagen. In de Veenkoloniën speelt de onregelmatige diepte van het veen een grote rol. Dat maakt dat daar ook andere oplossingen in beeld zijn. In Zuid- en Noord-Holland ligt de nadruk behalve op de emissiebeperking vooral op de maaiveldvaling. In die stedelijke omgeving lijkt die zorg groter. In Zuid-Holland komen ook irreversibel indrogende bovengronden in veen voor, ook aan de oppervlakte (Mulder et al., 1986). Over het algemeen treedt er echter weinig verdroging van grasland op veengronden op. De bovengrond bestaat daar meestal uit moerige klei die weinig of geen schaltereffecten kent en makkelijk rolbaar is na een natte periode. De veendikte is vaak erg groot (tot 5 à 8m). De druk om alternatieven te zoeken, is daardoor minder groot. Het veen is erover het algemeen wat eutrofer met minder veenmosveen en meer zegge- of bosveen. Dat veen is wat beter doorlatend.

We hebben aandachtspunten genoteerd die zouden kunnen leiden naar richtlijnen voor het keren van veenprofielen. Belangrijke aandachtspunten bij de keuze voor keren van het veenprofiel zijn:

Landbouwkundig:

- Huidige profielopbouw met diepte en juiste textuur zandondergrond (leempercentage < 17,5%) en liefst wat grover zand (M_{50} 170- 250)
- Nauwkeurigheid werkzaamheden
- Checklist, werkvolgorde en stappen
- Rendabiliteit afweging
 - Kosten: keren, nazorg, drainage, bemesting
 - Opbrengsten: oogst, beperking arbeidstijd

Klimatologisch/Milieukundig

- Maaiveldaling
- Emissie beperking CO₂
- Invloed op het watersysteem (kwantitatief richting grond- en oppervlaktewater en kwalitatief door bv. nutriëntenverliezen)

Andere waarden:

- Natuur
- Archeologie, cultuurhistorie/ aardkundige waarden
- landschap (reliëf, begreppeling, gewas)

Juridische/bestuurkundige aspecten:

- Inpassing veenweidevisie
- Regelgeving (Omgeving wet, Wet op de archeologische monumentenzorg,)
- Monitoringsmogelijkheden

6 Conclusies

Het doel van dit project is om de provincie Fryslân meer inzicht te verschaffen in de effecten van het keren van veengronden op de eigenschappen en het functioneren van de bodem en de doorwerking hiervan op het (landbouwkundig) gebruik van de bodem en de eventuele effecten op de omgeving. Een belangrijk effect hierbij is de mogelijke beïnvloeding van de afbraak van veen, maaiveld daling en CO₂-emissie. Op grond daarvan kan de provincie vervolgens beslissen hoe met de activiteit om te gaan: in alle gevallen verbieden, alleen in bepaalde situaties en/of onder bepaalde voorwaarden toestaan? De voorwaarden zouden bijvoorbeeld betrekking kunnen hebben op de bodemprofielen, de wijze van uitvoering, het onderzoek dat vooraf en de monitoring die achteraf nodig is.

Hoewel het drie jaar na keren nog redelijk vroeg is om conclusies te trekken, lijkt het keren van veengronden, specifiek de onderzochte klei op veengronden met een zandondergrond op 1,5 m, gunstig voor de landbouwkundige waarde.

Voor de weidebouw zijn door de kering de mogelijkheden aanzienlijk verruimd. De ontwatering is verbeterd door het lagere lutumgehalte van de bovengrond. Het vochtleverend vermogen is verbeterd doordat het capillair geleidingsvermogen van de laag onder de wortelzone tot de diepste grondwaterstand nu in veel gevallen voor een groot deel uit zandig materiaal bestaat in plaats van veenmosveen. De stevigheid is verbeterd door het lagere lutum- en organischestofgehalte van de bovengrond.

Voor akkerbouw (mais) zijn de mogelijkheden ook groter, maar er wordt wel een kanttekening gemaakt voor de bewerkbaarheid. D.w.z. het aantal dagen dat bewerkingen kunnen worden uitgevoerd. Dat heeft met name met de ontwateringstoestand te maken. Akkerbouw vereist een grotere drooglegging en dat betekent bij de huidige ontwatering problemen met het op tijd bewerken van het land in het voorjaar en het oogsten in het najaar. Ook de gewasontwikkeling in het voorjaar is door de tragere opwarming van de bodem beperkt.

Kanttekening bij deze methodiek is dat er geen rekening wordt gehouden met de chemische bodemvruchtbaarheid en met bodembioologische effecten. Op basis van de veranderingen in lutum en organische stof van zowel boven- als ondergrond is wel duidelijk dat het vermogen om voedingsstoffen op te slaan en geleidelijk beschikbaar te maken voor gewasopname, daarmee recht evenredig is afgenomen (kleinere CEC (kationenuitwisselingscapaciteit) en geringer totaal geadsorbeerde kationen). Dat betekent ook dat het risico op uitspoeling van voedingsstoffen is vergroot. Door verbeterde infiltratie vermindert wel de oppervlakkige afspoeling, maar netto zullen de nutriëntenverliezen door uitspoeling toenemen.

Het valt na drie jaar wel op dat er redelijk snel weer iets van een humeuze bovengrond (5-10 cm) is gevormd. Ook na zeven jaar bleek die ontwikkeling doorgezet op een eerder omgezet perceel. Maar er bleek ook uit de profielen in Tjalleberd dat na bijna vijftig jaar nog steeds sprake is van een wat heterogene bovengrond, die nog niet volledig gehomogeniseerd is. Het bijmengen van (een deel van) de oude bovengrond zou kunnen bijdragen aan een actiever bodemleven en bevordert de homogenisatie. Verder zal een andere zandiger bovengrond die wat sneller opdroogt, ongetwijfeld effect hebben op de fauna die daar voorkomt.

Er is nog weinig onderzoek bekend over de effecten van keren op CO₂-emissie. In Nederland gaat men bij modelberekeningen uit van een positief verschil tussen zandgronden en veengronden (De Haan et al. (2013) en Schils et al. (2012)). Noors onderzoek duidt op een vermindering van de totale emissie van 2-4 ton CO₂-eq/ha/jaar (Hansen et al., 2016). De klimaatomstandigheden zijn er natter en kouder. Engels onderzoek (Richardson et al., 1991) laat veel grotere reducties in gemengde gronden zien, tot zelfs 20 t CO₂-eq/ha/jaar. Ons klimaat lijkt daar meer op.

De CO₂-emissie wordt uiteraard ook bepaald door de hoeveelheid organische stof die beschikbaar is. We zagen dat er na de keren van het veenprofiel nog 59% van de oorspronkelijke hoeveelheid organische stof in de eerste meter terug werd gevonden. Daarmee is er nog vrij veel organische stof in het profiel aanwezig dat potentieel door afbraak kan verdwijnen. De vermindering van CO₂-emissie door deze aanpak is onzeker, zolang er nog niet gemeten is. Kering van het veenprofiel zal op basis van een ruwe inschatting van de huidige CO₂-emissie van klei op veengronden en de resterende hoeveelheid organische stof een vermindering met plm. 8,4 ton CO₂-eq/ha/jaar opleveren.

Door de aanwezigheid van resten organische stof in de eerste meter van het gekeerde profiel verwachten we ook nog steeds maaiveldval door veenoxidatie. We berekenen die op 4,8 mm/jaar (59% van 8,2 mm/jaar voor veengronden met een kleidek).

Als gevolg van de kering is er een kans dat de percelen ook zullen nazakken. Er is zandiger materiaal met een grotere dichtheid boven grondwatervniveau gebracht en venig/kleilig materiaal daarbeneden. De berekende zakking door deze verandering varieert tussen 2 en 8 cm, afhankelijk van de geschatte samendrukkingsconstante. Voor de landbouw misschien nog wel belangrijker is dat het nazakken sterk kan variëren door de heterogene profielopbouw. Hierdoor zal het perceel een onregelmatige maaiveldligging krijgen. Het veldonderzoek in Tjalleberd heeft geleerd dat pas na tien jaar van instellen (nazakken, egaliseren, ontwikkelen bodemleven, drainage), de percelen een redelijke perceelopbouw verkregen hebben, er nog steeds onregelmatige verdroging en vernatting optreedt, een goede drainage belangrijk is en dat er bodemverdichting voorkomt door vermenging met de lemige ondergrond.

Het is voor de provincie van belang welk areaal potentieel in beeld is voor keren van het veenprofiel, waardoor voor de landbouw een geschikter bodemprofiel kan worden gecreëerd. Daarnaast kan er mogelijk een reductie van de CO₂-emissie worden verwacht. Er is 29.722 ha land in Fryslân, dat uit de bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 geselecteerd kan worden en dat aan de criteria van veengronden opgebouwd uit veenmosveen en/of schalterveen in combinatie met een dekzandondergrond voldoet. Daarvan bedraagt 4930 ha veengrond met zand ondieper dan 1 m -mv en 16015 ha met zand tussen 1 en 2 m -mv. De textuur van voor keren geschikt dekzand is leemarm en matig fijn of grover. Dit komt niet overal voor. Op de bodemkaart wordt daarin geen onderscheid gemaakt. Daarom zal in de praktijk het areaal dat geschikt is om te keren, lager uitvallen.

Andere omgevingseffecten die een rol spelen bij het keren van veengronden zijn effecten op de chemie van de bodem, het watersysteem (berging en afvoer) en de consequenties voor archeologische, cultuurhistorische, aardkundige en landschappelijke waarden.

Verzuring van de bodem door pyrietvorming komt alleen voor bij voldoende sulfaataanvoer in eutrofe veengebieden. In Fryslân is dat risico niet groot. De veengronden die in de belangstelling staan voor kering, zijn oligotroof. Het risico op verzuring door de aanwezigheid van pyriet lijkt dus klein bij het keren van de veenprofielen, waarbij onder het oligotrofe veenmosveen een arme zandondergrond naar boven gehaald wordt.

Veranderingen in de berging en doorlatendheid van water hebben invloed op de werking van het afwateringssysteem. De gemiddelde bergingscoëfficiënt en het bergend vermogen van de originele en gekeerde profielen voor de verschillende dieptetrajecten tot 80 cm -mv (onverzadigde zone) verschillen op profielniveau weinig. De ontwatering van de bovengrond is verbeterd, waardoor in natte perioden de grond sneller opdroogt en er daardoor meer lucht in de bodem komt. De infiltratie in de bovengrond is sterk veranderd. Neerslag vond in natte perioden deels zijn weg via run-off en zal na keren beter infiltreren. In droge perioden kon door scheuren in klei en veen neerslag snel afgevoerd worden, na keren wordt er juist meer water vastgehouden, wat ook gunstig is voor de benodigde waterberging. In de verzadigde zone verandert ook het een en ander door de kering. In de ondergrond wordt zandig, goed doorlatend materiaal vervangen door minder goed doorlatend materiaal (veen en klei). Dit heeft invloed op de dikte van doorstroomde ondergrond en de weerstand. Het keren van het profiel grijpt, zo blijkt, op veel manieren in op de waterhuishouding. Het resulterende effect op de afvoer naar het watersysteem (ook op regionale schaal) hebben we in dit

kortlopende onderzoek nog niet kunnen vaststellen. Belangrijk daarbij is ook welke invloed de nog uit te voeren drainage daarop heeft.

Het keren van veengebieden heeft ook consequenties voor archeologische, cultuurhistorische, aardkundige en landschappelijke waarden. Door het keren/mengen van veen met de ondergrond gaan de oorspronkelijke gelaagdheid van de bodem (aardkundige waarden) en voorwerpen en sporen die informatie geven over mensen in het verleden (archeologische waarden) verloren. Daarbij gaat het niet alleen over waarden van en in het veen, maar ook om waarden van en in het kleidek en die van, op en in het zandpakket onder het veen. De FAMKE (Friese Archeologische Monumentenkaart Extra) geeft aan of bij bodemingrepen van een bepaalde omvang archeologisch onderzoek nodig is. Dit onderzoek wordt door de provincie gevraagd in het kader van de aanvraag van een ontgrondingenvergunning of door de gemeente als die bevoegd gezag is.

Keren/mengen van veen kan ertoe leiden dat de percelen na de grondbewerking anders worden ingericht en dat de oorspronkelijke landschappelijke bodemstructuur met bijbehorende vegetatie en begroeiing wordt gewijzigd in een ander landschapstype. Verder kunnen door het dempen van sloten percelen worden verruimd, waardoor oude ontginnings- en verkavelingspatronen verloren gaan. Ook kan er sprake zijn van egalisatie, waarbij greppels worden dichtgeschoven, met drainage als vervanging. Het beleid met betrekking tot landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden van de provincie Fryslân is vastgelegd in de Omgevingsvisie De Romte Diele, de thematische structuurvisie Grutsk op 'e Romte (hierna Grutsk) en juridisch in de Verordening Romte en de Ontgrondingenverordening. Het keren van het bodemprofiel, waarbij het oorspronkelijke veendek wordt gemengd met zand en kleilagen, heeft directe gevolgen op de hiervoor genoemde waarden van Grutsk en kunnen op grond van het provinciaal beleid niet zonder meer worden goedgekeurd. Een aanvraag of een voornemen daarvoor zal getoetst moeten worden aan de principes van de Omgevingsvisie en daarmee ook aan de landschappelijke, cultuurhistorische en aardkundige waarden van Grutsk op 'e Romte.

7 Discussie en aanbevelingen

Drie jaar na de uitvoering is redelijk vlot om conclusies te trekken over de werking van de kering van de klei op veengronden, waarbij zand naar boven wordt gehaald en veen en klei onder in het profiel worden gestopt. Er treden nog allerlei veranderingen op, zoals onregelmatige nazakking. Hiervoor zal het land naar verwachting nog moeten worden geëgaliseerd. Ook de nog uit te voeren drainage zal voor een belangrijk deel het eindresultaat medebepalen. Daarnaast speelt de ontwikkeling van de bodem een belangrijke rol. Het bodemleven moet voor een groot deel weer op gang komen en daarmee gepaard de vorming van een nieuwe bodem. Dat gaat nog een hele tijd duren.

Bij de gekeerde gronden bleek dat de heterogeniteit van het gekeerde profiel erg groot is. Dit heeft consequenties voor zowel de landbouwkundige kwaliteit als voor de effecten op de vermindering van CO₂-emissie. Secuurder keren van grond zou voor beide effecten een grote verbetering kunnen betekenen.

De beide grondeigenaren zijn tot nu toe tevreden over de kering. Ze zien nog wel wat onvolkomenheden, maar verwachten die nog op te lossen. Zo zijn ze nog van plan te draineren. Interessante aanvulling op hun evaluatie was de opmerking dat de muizenplaag die hier enkele jaren in de toplaag heerste op de gekeerde percelen niet meer zichtbaar is geweest. Ze vermoeden dat dit te maken heeft met de stevigheid van de hopen in de venig-kleiige bovengrond, waarin de muizen zich lang konden verstoppen en ook vermeerderen.

Er is nog veel onderzoek in gang naar de CO₂-emissie van veengronden en eventuele maatregelen daarbij. Vooral het effect van onderwaterdrainage en/of drukdrainage wordt veel onderzocht. In Fryslân speelt het plan voor verandering van het grondwaterniveau door slootpeilverhoging een belangrijke rol. Indien keren een rol gaat spelen in de keuzes, dan is meten sterk aanbevolen.

Na het keren is nog geen drainage uitgevoerd. We hebben nu nog geen goed inzicht in de effecten op het watersysteem. Om het effect van het keren van het profiel op het watersysteem te kunnen bepalen, stellen we voor om de waterhuishouding na de drainage nauwkeurig in kaart te brengen.

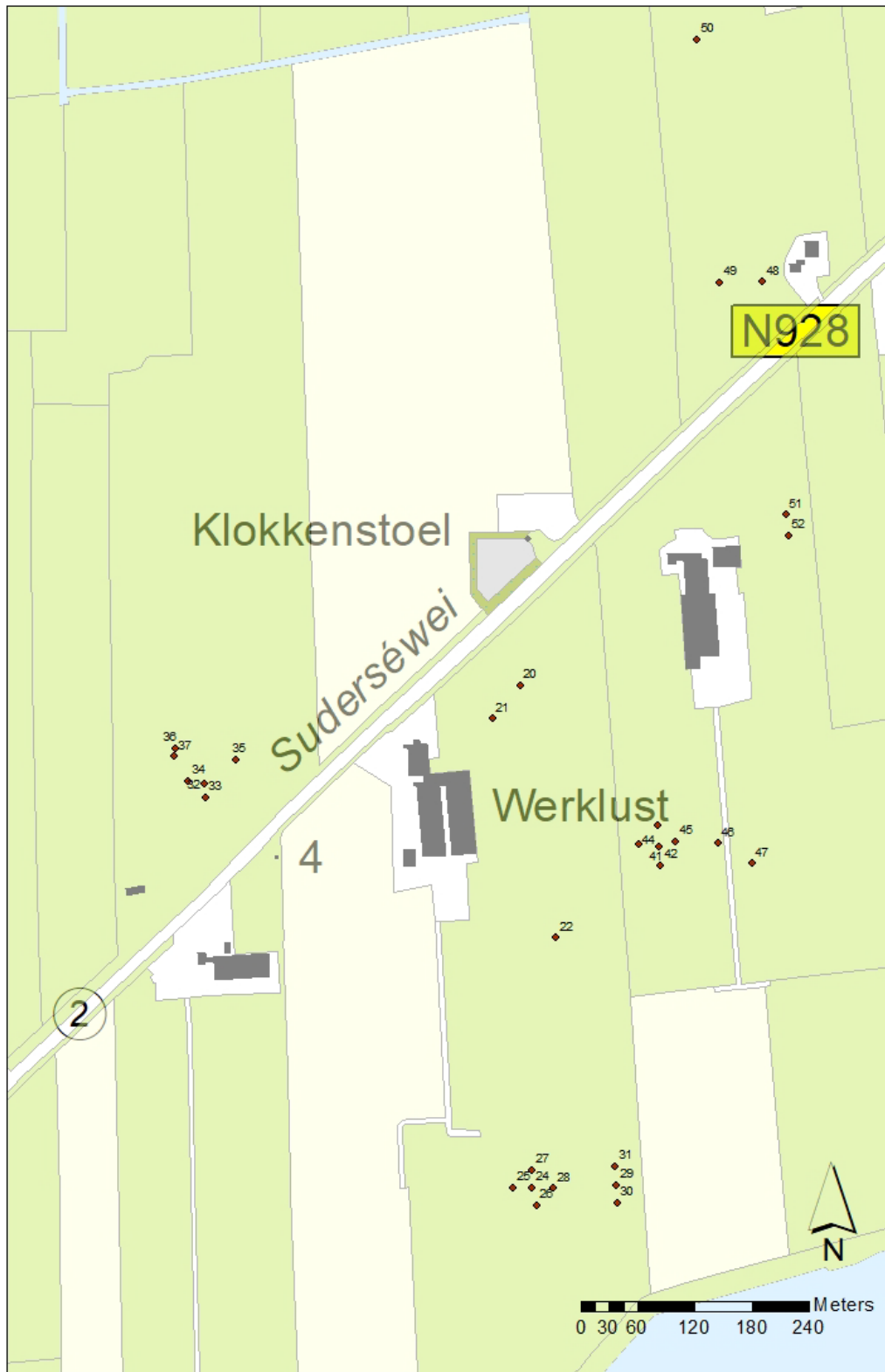
Indien keren van een klei op veenprofiel met schalter om allerlei redenen geen optie is, zijn er mogelijk wel alternatieve oplossingen mogelijk. Het Louis Bolk Instituut heeft een onderzoek lopen met gaten boren en vullen met zand, en al eerdergenoemd is het versnijden van de schalterlaag. Ook sleufdrainage waarbij de sleuf wordt opgevuld met grof zand kan bijdragen aan een verbeterde ontwatering. Verder dragen rondleggen en greppels bij tot een snellere ontwatering van de toplaag. Eventueel kan beregenen of bevoeien bijdragen aan het minder ver uitdrogen van de bovengrond en een muizenplaag voorkomen. We zouden daarvoor aanbevelen meer onderzoek te doen naar deze alternatieven voor zowel landbouwkundige als klimaateffecten. Dit kan mogelijk door aan te sluiten bij andere lopende onderzoeksprogramma's.

Literatuur

- Actualiteiten 32, 1984. Het consultantschap voor de akkerbouw en de tuinbouw, Goes
- Akker, J.J.H. van den, J. Beuving, R.F.A. Hendriks en R.J. Wolleswinkel, 2007. Maaiveldaling, afbraak en CO₂-emissie van Nederlandse veenweidegebieden. Leidraad Bodembescherming. Den Haag, Sdu.
- Akker, J.J.H. van den, H.T.L. Massop en R.P.J.J. Rietra, 2018. Potentiële emissiereductie Fries veenweidegebied, Waterhuishoudkundige en bodembeheermaatregelen om broeikasgasemissies te beperken, Wageningen, Wageningen Environmental Research, rapport 2905
- Anonymus, Brochure Grondwerk in grasland, doe het grondig
- Berg, van den M., S. Weideveld, J. Geurts en C. Fritz, 2019. CO₂-, N₂O- en CH₄-emissies en bodemdaling in de Friese Veenweiden. Kan onderwaterdrainage veenoxidatie en emissies uit veengebieden duurzaam verlagen? Technische rapportage: Project 'Monitoring veenoxidatiesnelheden en broeikasgasemissies PF-2016/165140'
- Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, 1974. Toelichting bij de kaartbladen 10 West Sneek en 10 Oost Sneek, Stiboka, Wageningen
- Brouns, K. en J.T.A. Verhoeven, 2013. Afbraak van veen in veenweidegebieden: effecten van zomerdroogte, verbrakking en landgebruik, eindrapport van project HSOV01A, Hotspot Ondiepe wateren en Veenweidegebieden, KvK 97/2013, UU, Utrecht
- Cultuurtechnische Vereniging, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum, Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch vademecum, Utrecht
- Dekker, L., 1988. Verspreiding, oorzaken, gevolgen en verbeteringsmogelijkheden van waterafstotende gronden in Nederland, rapport 2046, Stiboka, Wageningen
- Delft, S.P.J. van, R.H. Kemmers en A.G. Jongmans, 2005. Pyrietvorming in relatie tot interne eutrofiering en verzuring, Alterra-rapport 1161, 88blz.;16 fig.;9 tab.; 71 ref., Alterra, Wageningen
- ENVISO,2020. 201004 Bodemonderzoek Ypecolsga nrs. 12 en 15 Ypecolsga, ENVISO Ingenieursbureau, Drachten
- Fritz, C., Geurts, J., Weideveld, S., Temmink, R., Bosma, N., Wichern, F. & Lamers, L. (2017) Meten is weten bij bodemdaling-mitigatie. Effect van peilbeheer en teeltkeuze op CO₂-emissies en veenoxidatie. Bodem, (2)
- Goselink, R. M. A., Sebek, L. B., Hilhorst, G. J., Evers, A. G., & de Haan, M. H. A. (2016). *Inpassen van maatregelen ter reductie van gasvormige emissies in de bedrijfsvoering van melkveebedrijven: Koeien & Kansen resultaten 2010-2013*. (Rapport/ Koeien & Kansen; No. nr. 76). Wageningen UR Livestock Research. <https://edepot.wur.nl/376512>
- Hansen, S., Rivedal, S., Øpstad, S., Heggset, S., Deelstra, J., & Dörsch, P. (2016). GHG emissions and agronomic feasibility for forage production on inverted peat soil, (6630), 4–6.
- Hassink, J. 1995. Organic matter dynamics and nitrogen mineralization in grassland soils. DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility (AB-DLO), PhD-thesis. Haren.
- Hoving, I.E, G. Holshof, R.F.A. Hendriks, 2019. Effecten waterbeheersmaatregelen op veenweidebedrijven in Noord-Holland. Technische en economische consequenties en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissie. Wageningen Livestock Research, Report 1274.
- IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraiishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland
- Klimaatakkoord, 2019. Rijksoverheid, Den Haag.
- Kooistra, K. 1990. Onderhoud van drainage en sloten. Praktijkreeks Veehouderij, Misset, Doetinchem
- Kooistra, K. 2003. Aanleg en Onderhoud van Drainage, Vereniging van Nederlandse drainagebedrijven
- Blanken, K., F. de Buissonje, A. Evers, W. Ouweltjes, J. Verkaik, I. Vermeij en H. Wemmenhove, 2020. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2020-2021, Handboek 43, Livestock Research, Wageningen.
- Luten et al, 1984. Diepe grondbewerking op veengrasland met een schalterlaag. Verslag van een proefveld te Spannenburg van 1977 t/m 1980. Rapport 95, Proefstation voor de Rundveehouderij, schapenhouderij en Paardenhouderij (PR), Lelystad.

-
- Mulder, J.R., W.J.M. de Groot, en A.G. Beekman, 1986. Een bodemkartering van het landinrichtingsgebied Krimpenerwaard, rapport 1736, Stiboka, Wageningen
- Pijlman, J., S.M. Roelen en N.J.M. van Eekeren, 2020. Klimaatmaatregelen in het veenweidegebied in relatie tot biodiversiteit, bodem- en waterkwaliteit - Een inventarisatie van effecten, Publicatienummer 2020-036 LbD, Louis Bolk instituut, Bunnik.
- Richardson, S.J., C.J. Dyer & S.N. Jewell, 1991. Soil mixing in the East Anglian fens. *Soil Use and Management*, Volume 7, Number 1, pp 30-34.
- Ruitenbergh, G.H., F.A. Wopereis en O. Oenema, 1991. Berekenende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort, Rapport 173, DLO-Staring Centrum, Wageningen
- Säurich, A., Tiemeyer, B., Dettmann, U., Don, A., 2019. How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? *Soil Biol. Biochem.* 135, 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.013>
- Schils R.L.M., D.A. Oudendag (Alterra) K.W. van der Hoek (RIVM) J.A. de Boer A.G. Evers M.H. de Haan (2006). Praktijk Rapport Rundvee 90 Broeikasgasmodule BBPR Alterra rapport 1268, RIVM-rapport, 2006
- Schothorst, C.J., 1983. grondverbetering op zandgronden Serie mededelingen van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nummer 22, instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen
- Schothorst, C.J. en J. Broekhuizen, 1985. In: Locher, W.P. en H. de Bakker, 1985. Bodemkunde van Nederland, deel 1. Malmberg, Den Bosch.
- Schot, J.W., H.W. Lintsen, Arie Rip en A.A.A. de la Bruhèze, 2000. Techniek in Nederland in de twintigste eeuw, Deel 3. Landbouw, voeding. Stichting Historie der Techniek, z.p. [Eindhoven] / Walburg Pers, Zutphen
- Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. Bodemkaart van Nederland, Schaal 1:50 000; Algemene begrippen en indelingen. 4^e uitgave, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Stuyt, L.C.P.M., 2013. Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2370, 488 blz.; 269 fig.; 40 tab.
- Taft, H.E., Cross, P.A., Jones, D.L., 2018. Efficacy of mitigation measures for reducing greenhouse gas emissions from intensively cultivated peatlands, *Soil Biology and Biochemistry*, doi: 10.1016/j.soilbio.2018.08.020.
- Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek, *Richtlijnen en voorschriften*, Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik, Technisch Document 19D, DLO-Staring Centrum, Wageningen
- Valuta voor Veen, 2018, CO2-emissiereductie via verhoging grondwaterpeil in veengebieden. Veenweideprogramma 2021-2030, 2020. Achtergronddocument, Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân
- Verstand, D., Bulten, E., Vijn, M., 2020. *Naar klimaatbestendige agrarische bedrijven op veen- en moerige gronden in de Veenkoloniën*. Wageningen Research, Rapport WPR 825.
- 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 (University & Research centre), Alterra-rapport 2556. 60 blz.; 20 fig.; 15 tab.; 13 ref.
- Vlugschrift 287, 1978. Ministerie van landbouw, Den Haag
- Vlugschrift 416, De ontwatering en grondverbetering van grasland, Ministerie van Landbouw, Den Haag
- Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie, mededelingen Landinrichtingsdienst, nr. 176, Utrecht.
- Wilson D., D. Blain, J. Couwenberg, C.D. Evans, D. Murdiyarsa, S.E. Page, F. Renou-Wilson, J.O. Rieley, A. Sirin, M. Strack and E.-S. Tuittila, 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, Article 04: 1-28.
- Wissink, J., 2020. Gaten in wei voor betere water af- en toevoer, Nieuwe oogst.
- Wopereis, F.A., 1994. Invloed van bodemverdichting op de wortelontwikkeling van grasland op zandgrond, Rapport 260, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Bijlage 1 Kaart met boringnummers van de profielbeschrijvingen bij de twee onderzochte bedrijven (voor beschrijvingen, zie Bijlage 2 en 3)



Bijlage 2 Profielbeschrijvingen bij de twee onderzochte bedrijven (kaart, Bijlage 1) en van een bedrijf in Tjalleberd (bij de punten staat de standaardpuntencode (toelichting in Bijlage 3, Ten Cate et al. 1995)

Boring-nr.	Standaard-puntencode	GHG	GLG	BEW	Opmerking	Verwerkt (=F met diepte in dm)	Gt	Hoogte m NAP)	X	Y
20	1rp12	25	80	50		F5	IIb	-1.19	169797	549564
21	1rp12F	25	80	50		F4	IIb	-1.17	169768	549529
22	1rp12	25	80	50	drainage verstoord	F3	IIb	-1.22	169835	549299
24	1ss	30	90	40	tot ca. 40 cm verwerkt	F4	IIIb	-1.07	169809	549036
25	1sp12	25	80	45	ondiep verwerkt	F3	IIb	-1.26	169790	549036
26	1ssf	30	95	45	punt ligt vrij hoog	F4	IIIb	-1.04	169814	549017
27	1ss	30	90	45	gedraineerd en begreppeld	F4	IIIb	-1.09	169809	549055
28	1ss	25	80	45		F4	IIb	-1.10	169832	549035
29	2r423m5F	25	85	50	omgezet	F24	IIIb	-1.17	169898	549039
30	2r433m8F	25	85	55	omgezet	F23	IIIb	-1.15	169899	549020
31	1tsF	20	85	50	omgezet, klei-tussenlaag	F27	IIIa	-1.19	169897	549058
32	2r433m9F	30	85	50	omgezet	F17	IIIb	-1.28	169465	549460
33	2o432m8F	30	90	45	omgezet	F18	IIIb	-1.29	169466	549446
34	1ssf	25	85	45	omgezet	F18	IIIb	-1.27	169448	549463
35	1rs	30	95	45			IIIb	-1.30	169498	549485
36	1rsF	30	95	50	tot 220 cm verwerkt	F22	IIIb	-1.34	169434	549498
37	k5k432v10F	25	85	35	omgezet	F23	IIIa	-1.31	169434	549489
38	v4d432F	15	75	45	soms tot 250cm gediëppløgd	F9	IIa	-1.90	191321	558412
39	4i433v9F	25	100	50	onder bouwvoor verdicht; begreppeld	F15	IIIa	-1.64	191310	558173
40	1dp8	15	70	50	iets verwerkt, wel verveend rond 1900, zwakke B in ondergr.		IIa	-1.93	191124	558618
41	5k432m6F	25	80	45	ringmonsters	F16	IIIb	-1.31	169943	549394
42	5k432v14F	25	85	40	nog niet gedraineerd	F22	IIIb	-1.29	169945	549374
43	k4d432v10F	25	85	40		F22	IIIa	-1.26	169941	549416
44	5k432F	25	85	40		F22	IIIb	-1.18	169921	549397
45	5k432m7F	20	80	40		F20	IIIa	-1.33	169960	549400

Boring-nr.	Standaard-puntencode	GHG	GLG	BEW	Opmerking	Verwerkt (=F met diepte in dm)	Gt	Hoogte m NAP)	X	Y
46	5k432F	30	90	40	geen kleiresten aangetroffen wel in tussenboring, kuil		IIIb	-1.21	170005	549398
47	4i433m8F	25	90	45	ca. 7 jaar geleden al omgezet	F16	IIIb	-1.36	170040	549377
48	1rp7	20	85	35	ligt iets lager dan omgeving, kuil, ringmonsters		IIIa	-1.24	170051	549988
49	1sp8	30	90	45			IIIb	-1.23	170006	549987
50	M4m321cp11F	35	105	45	ronde akkers	F5	IIIb	-1.27	169983	550243
51	5k432m7F	30	85	45	kuil, ringmonsters	F20	IIIb	-1.20	170076	549743
52	2r432m7F	25	90	40		F20	IIIb	-1.19	170078	549721

Bijlage 3 Toelichting profielbeschrijvingen van Bijlage 1 en 2

Boring-nr.	Standaard-puntencode	Subgroep-code	Cijfer-deel	Toe-voeging	Ver-graven	Bodemtype	Ondergrond
20	1rp12	1r	p12			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 120cm
21	1rp12F	1r	p12			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 120cm
22	1rp12	1r	p12			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 120cm
24	1ss	1s	s			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
25	1sp12	1s	p12			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 120 cm
26	1ssF	1s	s			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
27	1ss	1s	s			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
28	1ss	1s	s			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
29	2r423m5F	2r	423	m5	F	Veldpodzolgrond	Moerige materiaal vanaf 50 cm
30	2r433m8F	2r	433	m8	F	Veldpodzolgrond	Moerige materiaal vanaf 80 cm
31	1tsF	1t	s		F	Veengrond met een zanddek	
32	2r433m9F	2r	433	m9	F	Veldpodzolgrond	Moerige materiaal vanaf 90 cm
33	2o432m8F	2o	432	m8		Veldpodzolgrond met een kleidek	Moerige materiaal vanaf 80 cm
34	1ssF	1s	s		F	Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
35	1rs	1r	s			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
36	1rsF	1r	s			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Veenmosveenondergrond
37	k5k432v10F	5k	432		F	Vlakvaaggrond met een kleidek	Veenondergrond beginnend op 100 cm
38	v4d432F	v4d	432		F	Broekeerdgrond met een moerig dek	
39	4i433v9F	4i	433		F	Gooreerdgrond	Veenondergrond beginnend op 90 cm
40	1dp8	1d	p8			Koopveengrond	Pleistoceen zand beginnend op 80 cm
41	5k432m6F	5k	432	m9	F	Vlakvaaggrond	Met moerige ondergrond vanaf 60 cm
42	5k432v14F	5k	432	v14		Vlakvaaggrond	Veenondergrond beginnend op 140 cm
43	k4d432v10F	k4d	432	v10	F	Broekeerdgrond	Veenondergrond beginnend op 100 cm

Boring-nr.	Standaard-puntencode	Subgroep-code	Cijfer-deel	Toe-voeging	Ver-graven	Bodemtype	Ondergrond
44	5k432F	5k	432		F	Vlakvaaggrond	
45	5k432m7F	5k	432	m7	F	Vlakvaaggrond	Moerige ondergrond vanaf 70 cm
46	5k432F	5k	432		F	Vlakvaaggrond	
47	4i433m8F	4i	433	m8	F	Gooreerdgrond	Moerige ondergrond vanaf 80 cm
48	1rp7	1r	p7			Veengrond met kleidek en minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 70 cm
49	1sp8	1s	p8			Veengrond met een kleidek zonder minerale eerdlaag	Zand met humuspodzol op 80 cm
50	M4m321cp11F	M4m	321	p11	F	Liedeerdgrond	Zand met humuspodzol op 110 cm
51	5k432m7F	5k	432	m7	F	Vlakvaaggrond	Moerige ondergrond vanaf 70 cm
52	2r432m7F	2r	432	m7	F	Veldpodzolgrond	Moerige ondergrond vanaf 70 cm

Bijlage 4 Profielbeschrijving van boring 47 (0_2) in een perceel dat in 2013 omgezet is

Profielcode (boringnummer Bijlage 1)	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv)	%os	% lutum	% zand	Omschrijving
0_2(47)	Omgezet	1Ap	1	0-20	4	7	75	Redelijk homogeen
		1Cu	2	20-75	3	4	85	Iets veenbijn.
		2Cu1	3	75-120	80	15		Zandbijn.
		2Cu2	4	120-160	50	15	-	Meer zandbijn.
		2Cr	5	160-200	0.3	4	85	Grijs

Bijlage 5 Profielbeschrijvingen bedrijf Tjalleberd

Boringnummer	Omgezet/ origineel	Horizont	Laag	Diepte (cm-mv)	%os	% lutum	% zand	Omschrijving
38	Omgezet	1Ah	1	0-20	20	4	84	iets heterogeen
		2Cu	2	20-60	10	3	86	zand en veen
		3Cu	3	60-90	30	3	86	veen en zand
		3BC	4	90-150	1.5	3	88	bruin vast zand
39	Omgezet	1Ap	1	0-25	10	4	82	donkergrijs; iets heterogeen
		1Cu	2	25-50	4	5	75	vast met leembrokken
		1B/C	3	50-90	4	3	85	grijs en bruin zand
		2Cr	4	90-150	18	10	60	lössleem en veenresten

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3103
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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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

Rapport 3103
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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.

