

Maatregelen reductie CO₂-uitstoot niet-klassieke veengronden Groningen/Drenthe

Guido Bakema, Nanny Heidema, Willy de Groot, Iris Visscher en Gilbert Maas



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Maatregelen reductie CO₂-uitstoot niet-klassieke veengronden Groningen/Drenthe

Guido Bakema¹, Nanny Heidema¹, Willy de Groot¹, Iris Visscher² en Gilbert Maas¹

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Plant Research

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de provincies Groningen en Drenthe met bijdrage van het Kennis Basis programma KB32-2A-1 'Veengebieden in nieuwe circulaire en klimaatpositieve productiesystemen'.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, november 2022

Gereviewd door:

Jan van den Akker, onderzoeker (WENR)

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack-ten Broeke teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3204

ISSN 1566-7197

In Groningen en Drenthe zijn veel organische gronden die behoren tot de zogenaamde niet-klassieke veengronden. Dit zijn gronden die veelal in gebruik zijn als akkerland of natuurgebied en waar de veenlaag relatief dun is, waar deze diep ligt en gedeeltelijk is afdekt door een kleidek. Deze niet-klassieke veengronden dragen aanzienlijk bij aan de totale CO₂-uitstoot van de organische gronden in Nederland. In dit onderzoek is specifiek gekeken naar de mogelijkheden om de CO₂-uitstoot van deze niet-klassieke veengronden terug te dringen. Hiertoe zijn diverse hydrologische, civieltechnische en teelttechnische maatregelen onderzocht.

In Groningen and Drenthe there are many organic soils that belong to the so-called non-classical peat soils. These are soils that are mostly used as arable land or nature reserve and where the peat layer is relatively thin, where it lies deep and where it is partially covered by a clay layer. These non-classical peat soils contribute significantly to the total CO₂ emissions of the organic soils in the Netherlands. This study specifically looked at the possibilities of reducing CO₂ emissions from these non-classical peat soils. Various hydrological, civil engineering and cultivation measures were investigated.

Trefwoorden: reductie CO₂-emissie, veengronden, moerige gronden, bodemdaling

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/579565> 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.

© 2022 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.

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Onderzoeksopzet	12
2 Omschrijving veengronden	14
2.1 Algemeen	14
2.2 Organische gronden	14
2.3 Terreinhoogte	17
2.4 Voorkomen van veenlagen	18
2.5 Veengronden in beekdalen	21
2.6 Grondwaterstanden en wateraanvoergebieden	23
2.7 Landgebruik	25
2.8 Veenafbraak	27
2.9 CO ₂ -emissies diverse veen- en moerige gronden	28
3 Inventarisatie maatregelen reductie CO₂-uitstoot	32
3.1 Algemeen	32
3.2 Hydrologische maatregelen	32
3.2.1 Passieve peilstijging	32
3.2.2 Dynamisch peilbeheer	32
3.2.3 Onderwaterdrainage (WIS)	33
3.2.4 Drukdrainage (AWIS)	34
3.2.5 Mogelijkheden hydrologische maatregelen	35
3.2.6 CO ₂ -reductie	37
3.2.7 Aandachtspunten hydrologische maatregelen	38
3.3 Civieltechnische maatregelen	39
3.3.1 Keren van gronden	39
3.3.2 Klei in veen	42
3.3.3 Klei op veen	44
3.4 Teelten en grondbewerking	45
3.4.1 Teelten	46
3.4.2 Grondbewerking	46
3.5 Maatregelen voor beekdalen	48
3.5.1 Maatregelen Beekdalen	49
3.5.2 Effectiviteit beekdalmaatregelen	53
3.6 Preventieve maatregelen	54
4 Beoordelen maatregelen	56
4.1 Toetsen individuele maatregelen	56
4.2 Toepasbaarheid maatregelen en CO ₂ -reductiemogelijkheden	58

5	Conclusies en aanbevelingen	61
5.1	Conclusies	61
5.1.1	Voorkomen en kenmerken van de niet-klassieke veengronden	61
5.1.2	Maatregelen	61
5.1.3	Toepasbaarheid en te verwachten CO ₂ -reductie	62
5.2	Aanbevelingen	63
5.3	Nader onderzoek	64
Literatuur		65

Verantwoording

Rapport: 3204

Projectnummer: 5200046705

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: Onderzoeker

naam: Jan van den Akker

datum: 22 augustus 2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Mirjam Hack- ten Broeke

datum: 25 augustus 2022

Woord vooraf

Het Klimaatakkoord heeft het alleen over veenweidegebieden, terwijl er ook buiten de 'klassieke' veenweidegebieden (veengebieden in West- en Noord-Nederland en Noordwest-Overijssel met in hoofdzaak grasland) organische gronden aanwezig zijn of gronden met organische lagen waar sprake is van CO₂-uitstoot door oxidatie van organisch materiaal. Deze organische (veen)gronden liggen voornamelijk in de provincies Groningen en Drenthe en kenmerken zich door een zeer grote variatie op korte afstand (o.a. beekdalen in Drenthe), een sterke variatie in voorkomen, een sterk verschil in type veenpakket (veengronden, moerige gronden), de veelal diepe grondwaterstand en het gebruik als akkerland. Dit betekent dat de in de klassieke veenweidegebieden toegepaste methoden (veelal verhogen peil en grondwaterstand) in deze gebieden wellicht minder geschikt zijn. Er is behoefte aan een overzicht van maatregelen, hun toepasbaarheid en hun effectiviteit om de CO₂-uitstoot in deze gebieden te kunnen reduceren.

Samenvatting

In Groningen en Drenthe zijn veel organische gronden die behoren tot de zogenaamde niet-klassieke veengronden. Dit zijn gronden die veelal in gebruik zijn als akkerland of natuurgebied en waar de veenlaag relatief dun is, waar deze diep ligt en deze gedeeltelijk is afdekt door een kleidek. Deze niet-klassieke veengronden dragen aanzienlijk bij aan de totale CO₂-uitstoot van de organische gronden in Nederland. In dit onderzoek is specifiek gekeken naar de mogelijkheden om de CO₂-uitstoot van deze niet-klassieke veengronden terug te dringen. Hiertoe zijn diverse hydrologische, civieltechnische en teelttechnische maatregelen onderzocht.

Dit onderzoek is gebaseerd op bestaande bodem en waterdata die aanwezig zijn bij WUR en de waterschappen in het gebied. De werking en de effectiviteit van de diverse reducerende maatregelen zijn gebaseerd op nationale en internationale onderzoeken en aangevuld met de ervaring en het oordeel van experts binnen WUR. Door het combineren van de data (bodem, water en landgebruik) met de kenmerken van de maatregelen, is een ruimtelijk beeld verkregen van de toepasbaarheid en de effectiviteit om de CO₂-uitstoot van de niet-klassieke gronden in Groningen en Drenthe te reduceren.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn:

De niet-klassieke veengronden in Groningen en Drenthe beslaan ca. 110.000 ha

De niet-klassieke veengronden beslaan ongeveer 110.000 ha, met name in gebruik als akkerland, grasland in beekdalen en natuur. Globaal ligt 40% van de niet-klassieke veengronden in Groningen en 60% in Drenthe. De dikte van de veenlagen van die gronden is beperkt en de begindiepte van het veen is relatief ondiep. De grondwaterstand aan het eind van de zomer en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) is in 90% van het gebied waar de niet-klassieke veengronden voorkomen, dieper dan 80 cm -mv. Dit betekent dat een groot deel van het veen zich in de zomerperiode boven de grondwaterspiegel bevindt. Uitzonderingen hierop zijn de dikkere veenlagen in enkele beekdalen, delen van het Oldambt en Duurswold, de flanken van de Hondsrug en de hoogveengebieden.

Van 50% van de niet-klassieke veengronden kan (in theorie) de emissie worden gereduceerd

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat met behulp van hydrologische en civieltechnische maatregelen op 50% van de niet-klassieke veenweidegronden de emissie (in theorie) kan worden gereduceerd. Met name bij de veengronden zonder mineraal dek liggen de grootste mogelijkheden. De uitstoot van de moerige gronden zijn beperkt te reduceren.

De maatregelen kunnen (in theorie) tussen de 0,3 en 0,4 Mton CO₂-uitstoot per jaar reduceren

De maatregelen kunnen (in theorie) de CO₂-uitstoot met 0,3 en 0,4 Mton per jaar reduceren. Dit is een reductie van ca. 20% ten opzichte van de geschatte huidige uitstoot. Dit is een globale indicatie en wordt sterk bepaald door de schatting van de huidige uitstoot en van de effectiviteit van de maatregelen in de praktijk. De verdeling over Groningen en Drenthe is 50/50%.

De maatregelen kunnen sterk ingrijpen op het landschap, het hydrologische systeem of op het landbouwkundig gebruik. Daarnaast vereisen de maatregelen dat er meer oppervlaktewater en/of mineraal materiaal moeten worden aangevoerd. Nader onderzoek moet duidelijk maken wat de consequenties (technisch, sociaaleconomisch) zijn wanneer de hier beschreven maatregelen worden opgeschaald naar grotere gebieden.

Preventie is belangrijk om verdere CO₂-uitstoot te voorkomen

Naast de actieve maatregelen is er aandacht nodig voor preventieve maatregelen. Dit zijn generieke maatregelen, zoals passieve peilstijging, het minder verlagen van oppervlaktewaterpeilen in het voorjaar en de zomer, het minder diep bewerken van gronden, het tegengaan van (diep) ploegen of spitten of het niet meer telen van diep wortelende gewassen. Voor beekdalen zou er nadruk moeten liggen op het beperken

van het graven van 'afvoerslenken', het beperken van het plaggen van nutriëntrijke beekdalgronden en het beperken van het afgraven van het klei- of zanddek voor natuurontwikkeling of waterberging.

Nog veel gebrek aan inzicht in de effectiviteit van de maatregelen

Het onderzoek heeft het inzicht vergroot in de mogelijkheden van de diverse maatregelen om de CO₂-emissie van de niet-klassieke veengronden te verminderen. Voordat de diverse maatregelen op grote schaal kunnen worden toegepast, is het belangrijk de kennis over de effectiviteit te vergroten. Dit kan o.a. door aan te sluiten bij de nationale onderzoeksprogramma's op het gebied van veenoxidatie.

1 Inleiding

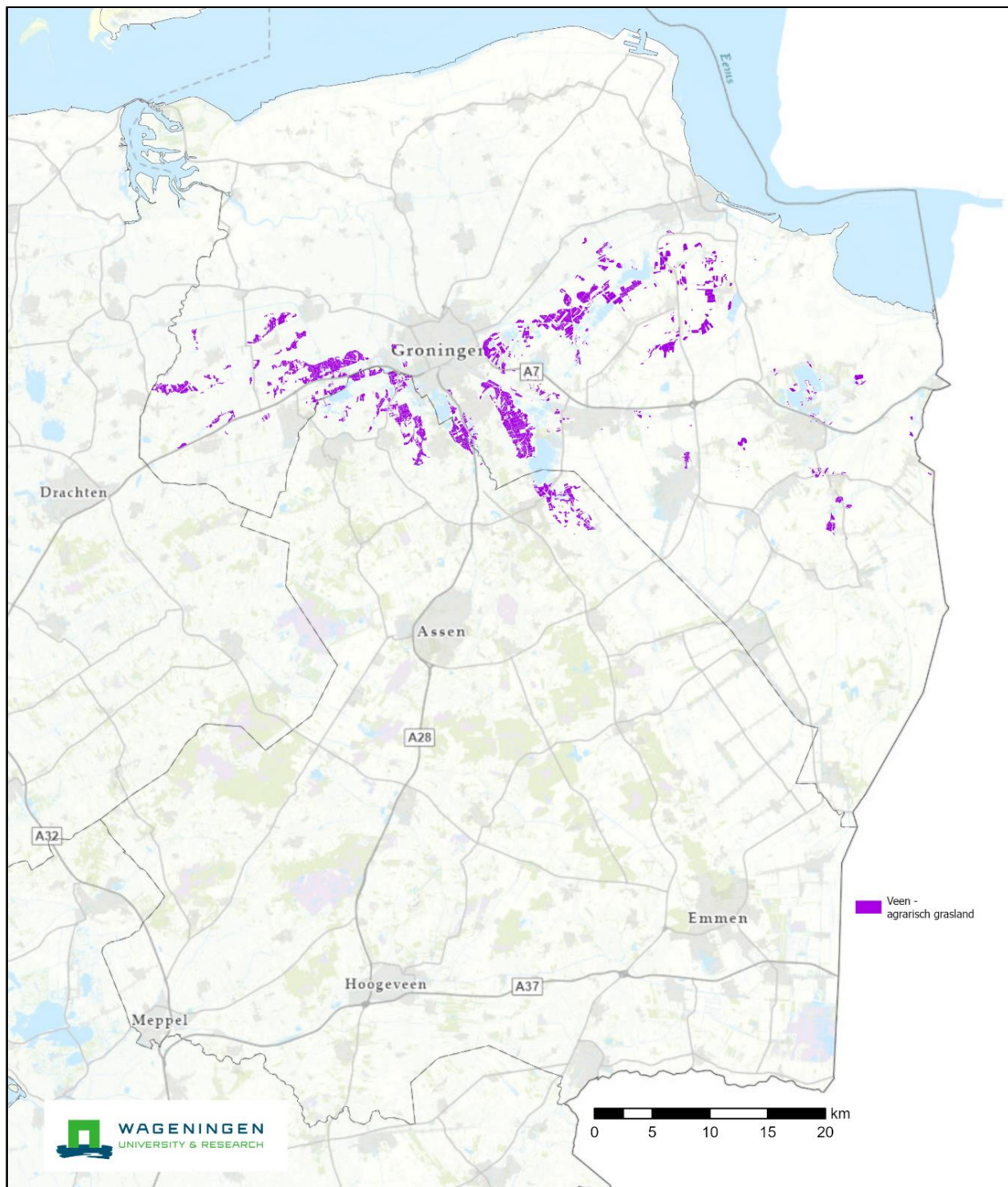
1.1 Achtergrond

Het Klimaatakkoord heeft het alleen over veenweidegebieden, terwijl er ook buiten de 'klassieke' veenweidegebieden (veengebieden in West- en Noord-Nederland en Noordwest-Overijssel met in hoofdzaak grasland) organische gronden aanwezig zijn of gronden met organische lagen waar sprake is van CO₂-uitstoot door oxidatie van organisch materiaal. Door Deltares is 2021 een onderzoek gedaan naar de omvang van de Nederlandse organische gronden in het licht van de diverse definities vanuit het Klimaatakkoord of internationale afspraken (Erkens, 2021). De organische gronden worden veelal verdeeld in veengronden, moerige gronden en veengronden met een mineraal dek. Uit het landelijk overzicht blijkt dat de moerige gronden in Groningen/Drenthe een belangrijk deel (25%) van het volume uitmaken van de totale hoeveelheid organische gronden. Verder blijkt dat de veengronden zich kenmerken door een grote variatie op korte afstand (o.a. beekdalen in Drenthe), een sterke variatie in voorkomen, een sterk verschil in type veenpakket, de veelal diepe grondwaterstand en het gebruik als akkerland. Dit betekent dat de in de klassieke veenweidegebieden toegepaste methoden (veelal verhogen peil) in deze gebieden wellicht minder geschikt zijn. Er is behoefte aan een overzicht van maatregelen en hun effectiviteit om de CO₂-uitstoot in deze gebieden te kunnen reduceren.

In dit onderzoek is bij het bepalen van het toepassingsgebied van de diverse maatregelen gekeken naar de niet-klassieke veengronden. Kenmerken van de niet-klassieke veengronden zijn:

- Alle gronden die niet tot de klassieke veengronden behoren (Figuur 1). De klassieke veengronden zijn gronden, waarvan de veengrond een agrarische graslandfunctie heeft en waarbij wateraanvoer mogelijk is;
- Organische gronden die officieel niet bij de veengronden horen zoals de moerige gronden;
- Minerale gronden met veenlagen die dieper dan 40 cm -mv beginnen;
- Veengronden met bestemming akkerbouw en natuur (incl. beekdalen);
- Infra, wonen en water zijn uitgesloten.

De totale oppervlakte van de niet-klassieke gronden bedraagt ca. 110.000 ha.



Figuur 1 Klassieke veenweidegebieden Groningen en Drenthe (data afkomstig van Altenburg & Wymena 2022).

1.2 Onderzoeksopzet

In dit onderzoek is gekeken naar hydrologische, civieltechnische en teelttechnische maatregelen om de CO₂-uitstoot van de niet-klassieke veengronden te verminderen. Er is hierbij gebruikgemaakt van nationale en internationale onderzoeken; daarnaast zijn diverse experts binnen WUR geraadpleegd op het gebied van bodemkunde, veenoxidatie, agrohydrologie, grondbewerking en planttechniek.

Om de maatregelen goed te kunnen toetsen, is het belangrijk om te weten waar het veen zit, wat de dikte is en wat de diepteligging is ten opzichte van de gemiddelde laagste grondwaterstand. Daarnaast is informatie nodig over de huidige drooglegging, de mogelijkheden om water aan te voeren en het huidige landgebruik. Al deze aspecten, aangevuld met beschrijvingen van het veenoxidatieproces en de CO₂-uitstoot van de diverse veentypen, zijn onderdeel van het tweede hoofdstuk. In dit hoofdstuk zijn zowel de klassieke als niet-klassieke veengronden beschreven en op kaart gezet.

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de diverse maatregelen; deze zijn gerubriceerd naar: hydrologie, civiele techniek, teelttechniek en grondbewerking en beekdalen. Naast de actieve maatregelen om de uitstoot te reduceren, is ook aangegeven welke zaken er in de huidige situatie moeten worden vermeden om extra uitstoot te voorkomen. In dit onderzoek is een overzicht gemaakt van de maatregelen en is een aantal daarvan ruimtelijk vertaald voor de niet-klassieke veengebieden.

In Hoofdstuk 4 zijn de diverse maatregelen beoordeeld op zaken als CO₂-reductie, kosten, neveneffecten en maatschappelijke effecten. Door het rangschikken van de maatregelen wordt een beeld verkregen welke maatregelen voor welke veen type het effectiefst zijn. Hoofdstuk 5 ten slotte bevat de belangrijkste conclusies en worden aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

2 Omschrijving veengronden

2.1 Algemeen

Om de CO₂-reductiemaatregelen goed te kunnen toetsen, is het belangrijk om te weten waar het veen zit, wat de dikte is en wat de diepteligging is ten opzichte van de gemiddelde laagste grondwaterstand. Daarnaast is informatie nodig over de huidige drooglegging, de mogelijkheden om water aan te voeren en het huidige landgebruik. Al deze aspecten, aangevuld met beschrijvingen van het veenoxidatieproces en de CO₂-uitstoot van de diverse veentypen, worden hier beschreven. Er is daarbij geen onderscheid gemaakt tussen de klassieke en niet-klassieke veengronden.

2.2 Organische gronden

De bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000, is voor Groningen en Drenthe in 2014 geactualiseerd (De Vries et al., 2014). Op de bodemkaart worden de gronden met veenlagen primair ingedeeld op basis van de begindiepte en veendikte en vervolgens naar de aard en samenstelling van de boven- én ondergrond en veensoort. Wanneer de veenlaag of moerige laag binnen 40 cm -mv begint én met een maximale dikte van 40 cm, is er sprake van moerige gronden. Indien de veenlaag binnen 40 cm -mv begint én dikker is dan 40 cm hebben we te maken met veengronden. Wanneer de veenlaag dieper dan 40 cm -mv begint, overheerst binnen 80 cm het minerale materiaal en worden de gronden –afhankelijk van de samenstelling van de laag – bij de kleigronden of de zandgronden ingedeeld. Minerale gronden met meer dan 40 cm veen beginnend tussen 40 en 80 cm heten mineraal dek op veen.

Moerige gronden

Moerige gronden hebben een moerige bovengrond of moerige of venige tussenlaag dikker dan 5 à 15 cm en dunner dan 40 cm die binnen 40 cm -mv begint. Ze vormen de overgang tussen veengronden en minerale gronden. Op de bodemkaart worden ze aangeduid met hoofdletter W in de code (bijvoorbeeld vWp). De onderverdeling geschiedt in de eerste plaats naar de textuur van de bodemlagen onder de moerige laag en de bodemvorming in deze laag. Bij zandondergronden wordt onderscheid gemaakt naar het al dan niet voorkomen van een duidelijke humuspodzol-B. De lutumrijke ondergronden worden ingedeeld naar consistentie of rijping. Een ongerijpte ondergrond is zeer slap. De moerige gronden met een zandondergrond zijn verder onderverdeeld naar de aard van de bovengrond. Deze kan moerig zijn (vW..) of kan bestaan uit een 20 tot 40 cm dikke laag zavel of klei (kW..) of zand (zW..). In de veenkoloniale gebieden varieert het humusgehalte van de bovengrond sterk, deels komen bij deze gronden humushoudende zandige bovengronden voor en deels ook venige. Voor deze gronden met een zgn. 'veenkoloniaal dek' geldt een aparte legenda-eenheid (iW..).

Veengronden

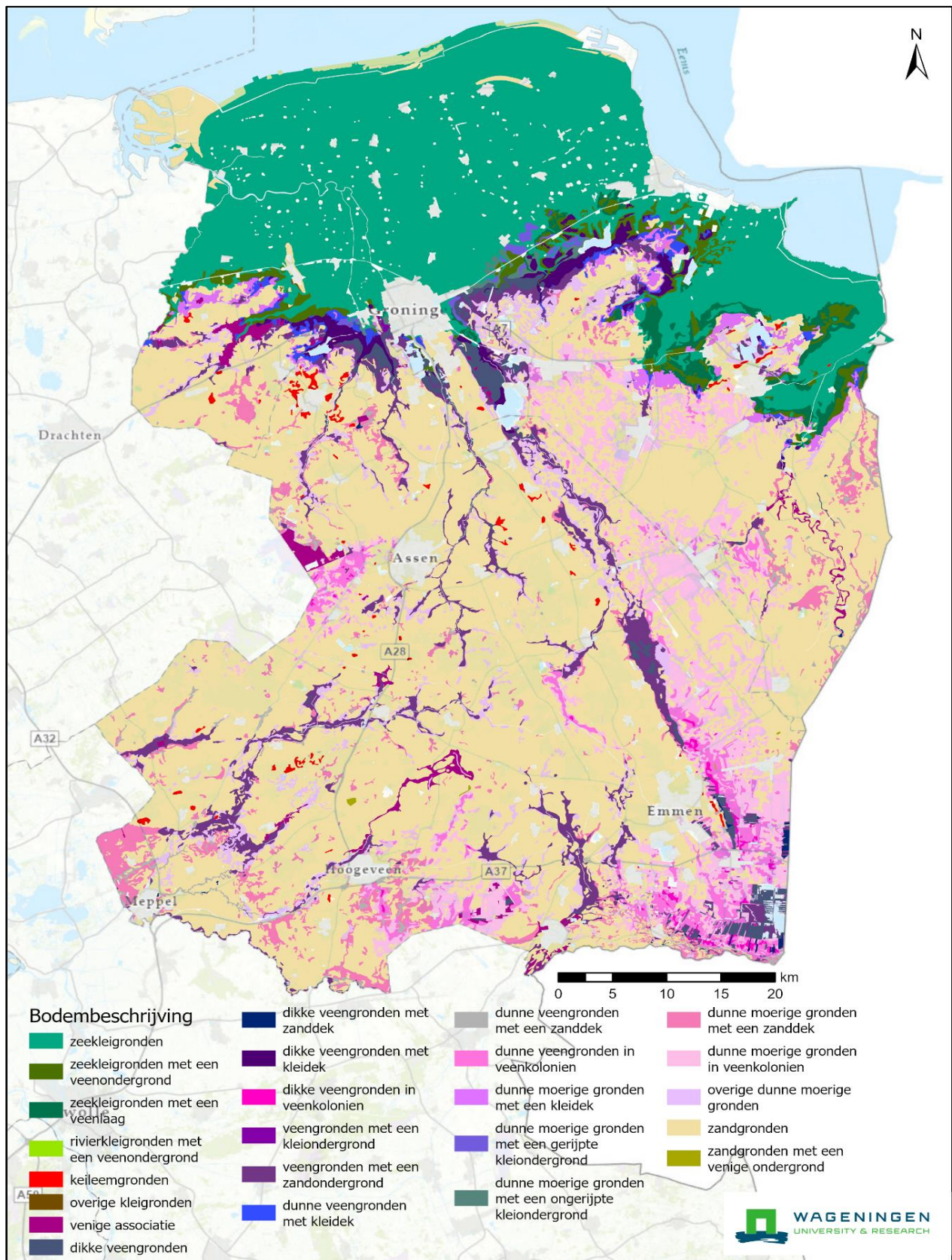
Veengronden hebben meer dan 40 cm moerig materiaal binnen 80 cm -mv. Deze gronden worden in de legenda verder onderverdeeld naar de aard en samenstelling van de bovengrond, de aanwezigheid van een minerale ondergrond binnen 120 cm -mv en de veensoort. De veengronden met een minerale ondergrond binnen 120 cm zijn 'dunne veengronden' en veengronden waarbij het veen doorloopt tot dieper dan 120 cm zijn 'dikke veengronden'.

Mineraal dek op veen

Bij minerale gronden begint een eventuele veenondergrond dieper dan 40 cm. Afhankelijk van de minerale bovengrond zijn dit zand- of kleigronden. Bij zandgronden wordt dit aangegeven met de toevoeging w of v. Bij kleigronden wordt de ondergrond aangeduid met profielverloop 1 indien het moerig materiaal begint binnen 80 cm en doorloopt tot dieper dan 120 cm. Als het niet doorloopt tot dieper dan 120 cm krijgt het de toevoeging w. Indien het veen dieper dan 80 cm begint, wordt dit een toevoeging v.

De bodemkaart geeft aldus inzicht in het voorkomen van het veen. De bodemkaart (Figuur 2) van Nederland 1: 50 000 is enigszins aangepast voor dit doel. Er is hierbij meer de nadruk gelegd op het voorkomen van gronden met moerig materiaal en hoe dik de moerige laag ongeveer is. Er is hiertoe een beschrijvende legenda toegevoegd.

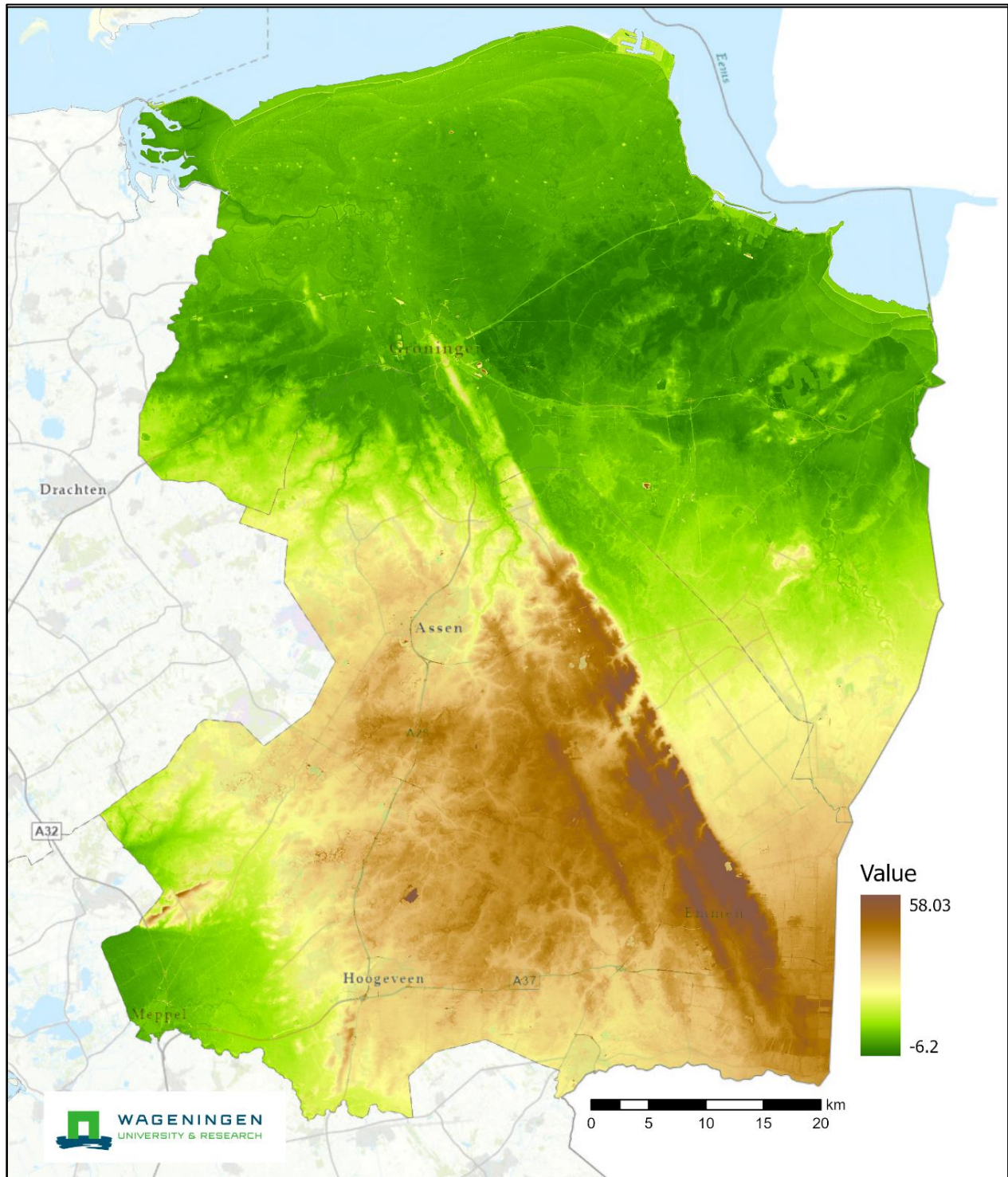
Op deze kaart is niet aangegeven in welke mate gronden bewerkt zijn. Het percentage gronden met veen dat vergraven is, bedraagt op basis van een globaal overzicht van vergraven gronden van Nederland zo'n 20%. In het verleden en ook tegenwoordig nog, worden om verschillende redenen bodems afgegraven of vergraven. Redenen zijn onder andere natuurontwikkeling of het verbeteren van een bodemprofiel voor de landbouw. Wat onder andere gebeurt, is dat bodems bijvoorbeeld ge(diep)ploegd worden; zo wordt veen dat eerder als een diepere, ongestoorde horizont in de bodem zat, door het profiel heen gemengd. Door het grillige resultaat van deze bewerking zijn de begin- en einddiepte van het veen soms moeilijk vast te stellen. Door er voor het gemak van uit te gaan dat gronden niet vergraven zijn, maken we dus een inschattingsfout in het voorkomen van veen einddiepte van het veen soms moeilijk vast te stellen. Door er voor het gemak van uit te gaan dat gronden niet vergraven zijn, maken we dus een inschattingsfout in het voorkomen van veen.



Figuur 2 Afgeleide bodemkaart 2014, schaal 1: 50 000 van de provincies Groningen en Drenthe (De Vries et al., 2014).

2.3 Terreinhoogte

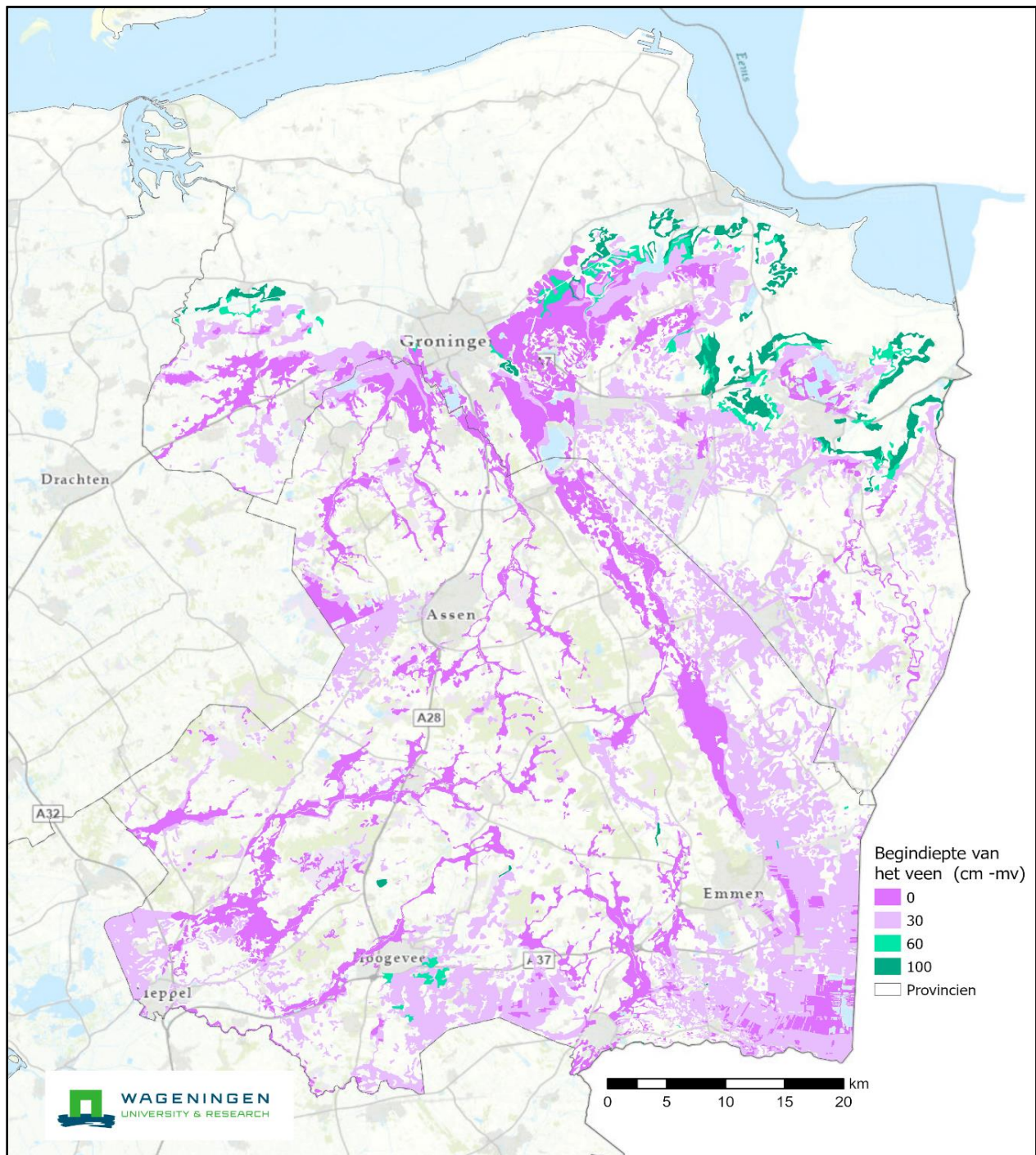
In de provincies Groningen en Drenthe is de terreinhoogte medebepalend geweest voor de veenvorming. Met name ten oosten van de Hondsrug en ten westen van het keileemplateau van Drenthe kon door de relatief lage ligging veenvorming optreden. De terreinhoogte van beide provincies hebben we daartoe aangegeven (Figuur 3). Dat op het keileemplateau vanwege de slechte doorlatendheid ook veen is ontstaan, maakt dat de terreinhoogte niet altijd doorslaggevend was voor de locaties waar veen gevormd is. We hebben terreinhoogte niet als aparte laag meegenomen in het verdere onderzoek, omdat het indirect al terugkomt via o.a. de hydrologie, de bodem en de peilen. Het illustreert wel goed de ligging van het onderzoeksgebied.



Figuur 3 Hoogtekaart (m NAP) van de provincies Groningen en Drenthe (AHN3, 2020).

2.4 Voorkomen van veenlagen

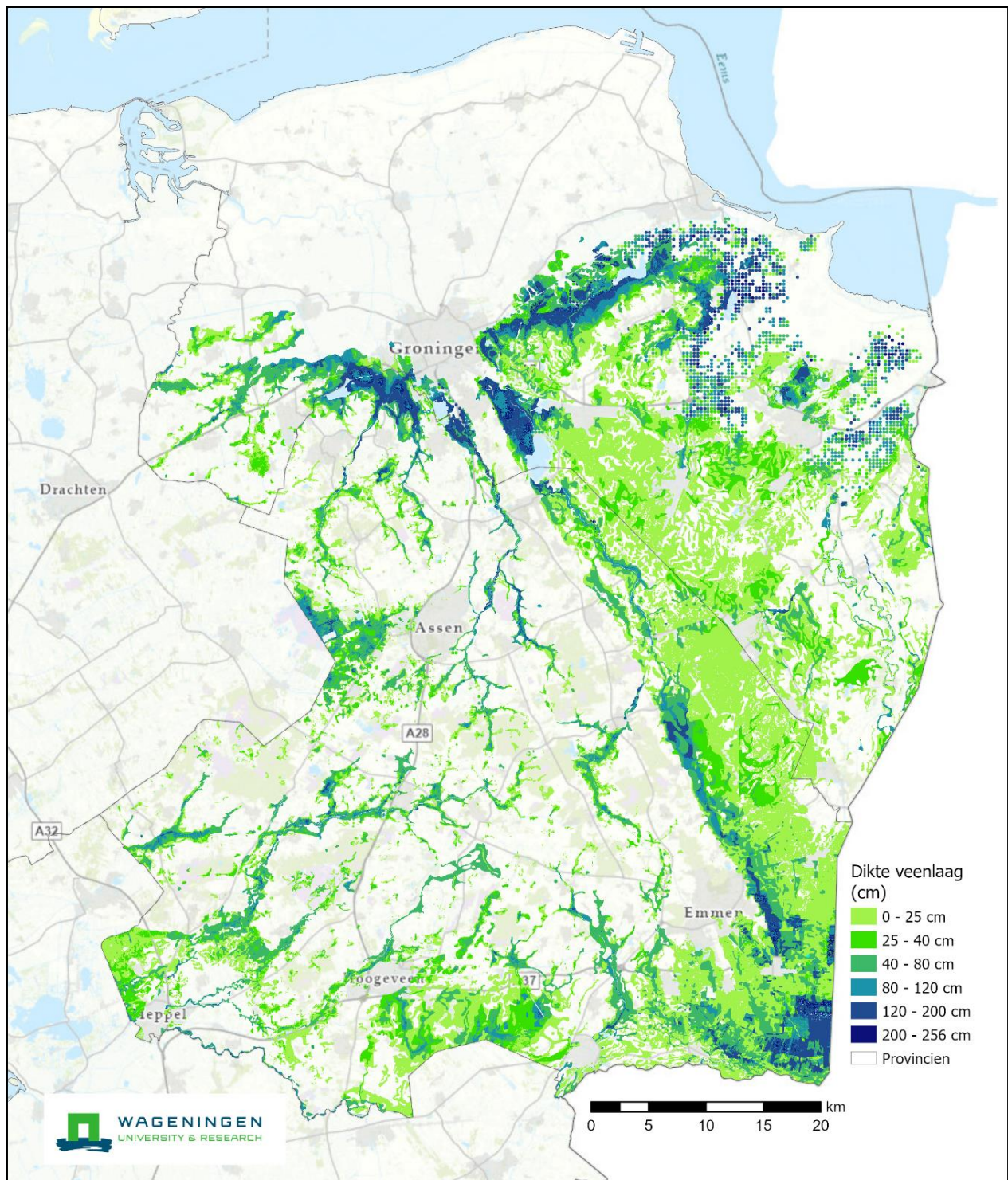
Er zijn wat aannames gedaan om uit de bodemkaart een veenbegindieptekaart af te leiden. Zo zijn we ervan uitgegaan dat het veen bij moerige en veengronden met een venige bovengrond aan maaiveld (0 cm) begint en dat bij moerige en veengronden met een veenkoloniaal zanddek (i..) of kleidek (k..) of minerale eerdlaag (p..), het minerale dek 30 cm dik is. Verder is voor gronden met een moerige ondergrond (profielverloop 1 of toevoeging w) de begindiepte op 60 cm aangehouden en voor toevoeging ...v op 100 cm. De begindiepte van het veen is op een kaart weergegeven (Figuur 4). In het veenkoloniale gebied is de begindiepte meestal 30 cm (ingegeven door de code i...). In de beekdalen en aan de flank van de Hondsrug komen nog veel veen- en moerige gronden voor met moerig materiaal beginnend aan maaiveld. In het noorden komt veel moerig materiaal voor onder een kleidek of kleibovengrond.



Figuur 4 Begindiepte van het veen (in cm -mv) (klassieke en niet-klassieke veengronden) volgens de geactualiseerde bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (De Vries et al., 2014).

De veendikte is afgeleid uit een combinatie van actualisatie van de bodemkaart in 2014 en een veendiktekartering. De veendiktekaart (Figuur 5) is een rasterbestand met waarden van de veendikte per rastercel. Dit rasterbestand is gecombineerd met de actuele bodemkaart om binnen elk vlak rekening te houden met de inhoud van het vlak. Voor sommige cellen was geen veendikte bekend en is daarom gebruikgemaakt van de inhoud van het vlak van de bodemkaart om een veendikte te herleiden. Dit geldt niet voor gronden met een moerige ondergrond (toevoeging ...v en ...w). De veendikte is over het algemeen gering in het veenkoloniale gebied. In de beekdalen is de dikte wat groter en in het zuiden bij Emmen en langs de Hondsrug en aan de zuidrand en het oosten van de stad Groningen is de veendikte over het algemeen het grootst.

Het Waterschap Hunze en Aa heeft in de periode 2017-2019 uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorkomen van veenlagen (Hunze en Aa, 2021).) Uit hun puntinformatie is de totale veendikte aan de eerdergenoemde kaart toegevoegd. Dit betreft met name gebieden die niet als veengrond of moerige grond op de bodemkaart van vóór 2014 stonden. Het zijn vooral kleigronden met een veenondergrond. Er is alleen puntinformatie van de kartering van het waterschap gebruikt. Die is niet op identieke wijze geïnterpoleerd tot een uniforme rasterkaart.



Figuur 5 Dikte van de veenlaag (cm) (klassieke en niet-klassieke veengronden) volgens de geactualiseerde bodemkaart van Nederland 1: 50 000 (De Vries, et al., 2014), aangevuld met extra detailinformatie van Waterschap Hunze en Aa.

De bodeminformatie van de Bodemkaart van Nederland is op schaal 1: 50 000. Dat betekent dat er geen inzicht op perceelschaal uit kan worden verkregen. De veendiktekaart is een gridbestand. De boordichtheid was meestal geringer dan 1 boring per 50 ha (De Vries et al., 2014). Veenputten binnen percelen zijn daarop bijvoorbeeld niet goed te onderscheiden. De meeste veenputten zullen wel als relatieve laagte in het perceel zichtbaar zijn (door klink en oxidatie).

2.5 Veengronden in beekdalen

Veengronden in beekdalen variëren in dikte en samenstelling. De beekdalen (totale oppervlakte 46558 ha in beide provincies) bestaan voor 56% uit gronden met veen. Daarvan heeft 72% een veenlaag van >25 cm dikte. Dat is een relatief hoog percentage van met name moerige en veengronden. 65% bestaat uit gronden waarbij het veen tussen 0 en 30 cm begint. Deze gronden zijn daarmee relatief kwetsbaar voor veenoxidatie.

In Tabel 2 staat de verdeling van de oppervlakten over de verschillende bodemtypen met veen in de beekdalen in het studiegebied. De ruimtelijke selectie is gebaseerd op de dalvormen uit de geomorfologische kaart van Nederland (Koomen & Maas, 2004; Van der Meij & Maas 2020; Maas et al., 2021). Het grootste deel van de oppervlakte (50%) wordt ingenomen door veengronden (.V..). Moerige gronden (.W..) nemen 42% van de oppervlakte in beslag. De overige gronden (8%) zijn associaties (A., samengestelde eenheden) en gronden met een toevoeging (.w of ..v).

Tabel 1 Oppervlakteverdeling van veengronden (V), moerige gronden (W) en overige gronden met een veenlaag in beekdalen.

Veengronden in beekdalen	Opp. (ha)	Opp. (%)
Veengronden (.V..)	14086	53
Moerige gronden (.W..)	12293	47
Overige gronden met veen	17	0
Totaal	26395	100

Van de veengronden is in Tabel 3 weergegeven hoe groot het aandeel van deze gronden is met een zandondergrond binnen 1.20 m -mv (.z of .p) en van de gronden met een veenlaag die dieper doorgaat dan 1.20 m -mv per veensoort, (riet)zeggeveen en mesotroof broekveen (.c) of veenmosveen (.s). Rijker bosveen (.b) is in de beekdalen niet onderscheiden.

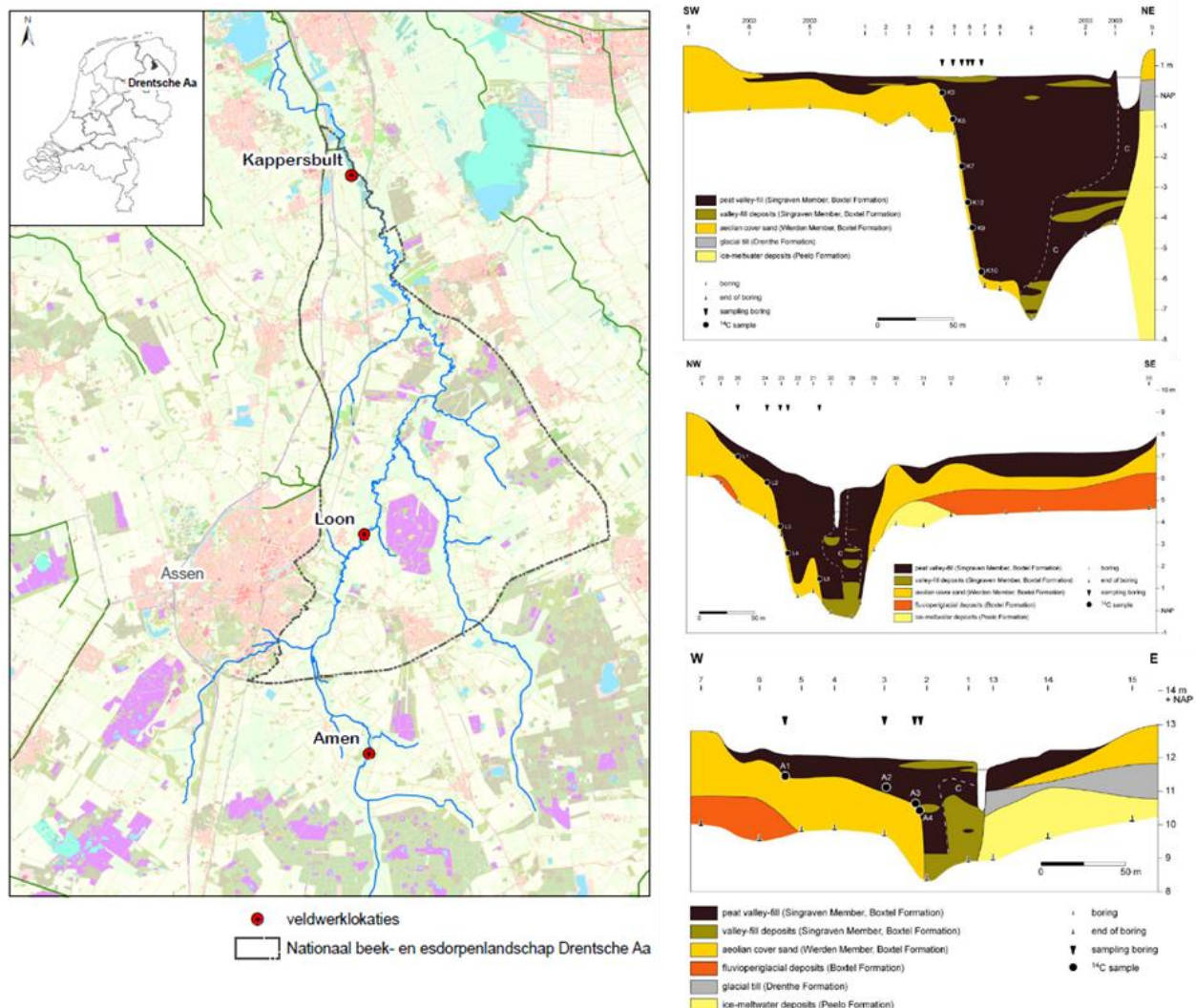
Tabel 2 Oppervlakteverdeling van bodemsubtypen van veengronden (V) in beekdalen.

Veengronden in beekdalen (.V..)	Opp. (ha)	Opp. (%)
met een zandondergrond binnen 1.20 -mv (.Vz, .Vp)	11747	91.4
zeggeveen, rietzeggeveen en mesotroof broekveen (.Vc, ABv)	1063	8.3
veenmosveen (.Vs)	41	0.3
Totaal	12851	100

De dikte en samenstelling van het veen in beekdalen hangen samen met de geomorfologie en (geo)hydrologie van de beekdalen in de dwars en lengterichting van het dal. Uit geomorfologisch onderzoek in het stroomgebied van de Drentsche Aa is gebleken dat veel beekdalen een asymmetrische vorm hebben als gevolg van verschillende insnijdingsfasen van de zand- of leemondergrond gedurende het Laat-Pleistoceen (Makaske et al., 2015). In de daaropvolgende periode, het Holoceen, vanaf ruim 10.000 jaar geleden, steeg de zeespiegel met ruim 20 meter (Van de Plassche, 1982). De beekdalen werden zeer nat, met grondwaterstanden die constant tot aan het maaiveld reikten.

Figuur 6 schetst een beeld van de opbouw van het dal van de Drentsche Aa aan de hand van drie dwarsprofielen in de beneden-, midden- en bovenloop, bij resp. Kappersbult, Loon en Amen. In alle drie de dwarsprofielen is te zien dat het dal bestaat uit een diepe insnijding, een vlakte aan een zijde van de diepe insnijding en aan de andere zijde een flauwe of steile helling. In de lengterichting van het beekdal neemt de diepte van de insnijding toe in stroomafwaartse richting. De donkerbruine kleur in de profielen is de veenopvulling in het dal. De maximale veendikte in de bovenloop bij Amen is ca. 2,5 m; bij Loon in de middenloop ca. 5 m en in de benedenloop bij Kappersbult ca. 6,5 m. De olijfgroen banen in het veen en op de bodem van het dal zijn zandige beekafzettingen. Het veen in de diepe dalinsnijding correspondeert met de zeggeveen-, rietzeggeveen- en mesotroof broekveengronden uit Tabel 2. Ook veengronden met een

zandondergrond binnen 1.20 m-mv komt in dit deel van het dal voor. De zandondergrond bestaat in dat geval uit zandige beekafzettingen. Op de dalvlakte is het veenpakket dunner en komen zowel veengronden met een zandondergrond binnen 1.20 m -mv (.Vz, .Vp) voor als moerige gronden met een dunne veenlaag (.Wz,.Wp). De zandondergrond is veelal reliëfrijk, maar dat wordt door het veen afgevlakt. Op de dalhelling komen veengronden met zandlaag binnen 1.20 m -mv voor. De helling versterkt de laterale afvoer van water in de veentoplaag en via oppervlaktewater over maaiveld. De grondwaterstand zakt daardoor in droge perioden diep onder maaiveld uit. Het veen is hier door de diepere ontwatering veelal sterk veraard.



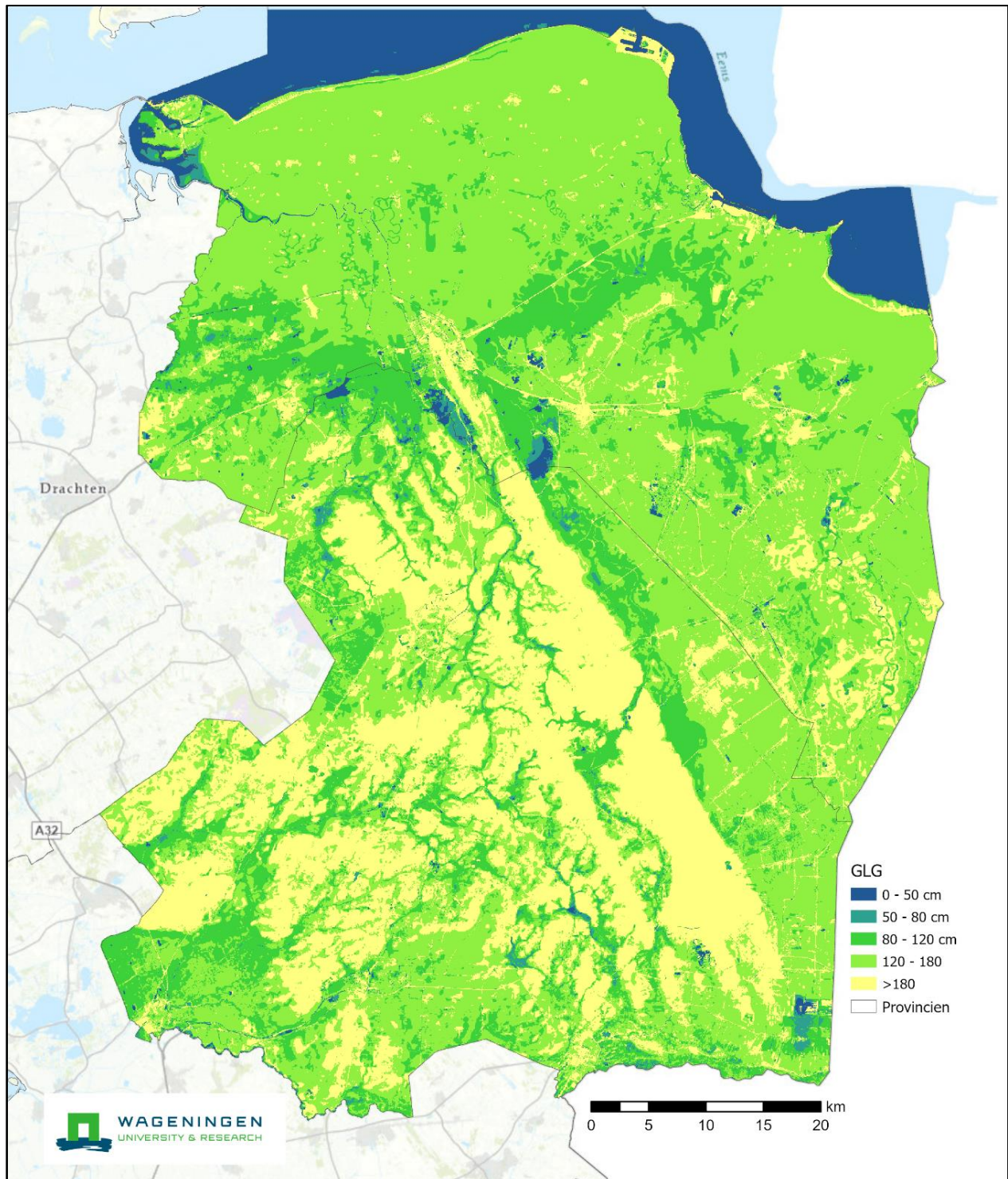
Figuur 6 De geomorfologie van het beekdal van de Drentsche Aa in de boven-, midden- en benedenloop bij respectievelijk Amen, Loon en Kappersbult (Makaske et al., 2015).

Het veen in de beekdalen bestaat voornamelijk uit grondwater gevoed zeggeveen-, rietzeggeveen- en mesotroof broekveengronden, al dan niet aangerijkt door nutriënten houdend oppervlaktewater. In ongedraineerde toestand kan de kweldruk zodanig hoog zijn dat het kwelwater aan maaiveld uittreedt. Door begreppeling van de dalvlakte en normalisering van de beekbedding is in veel gevallen de grondwaterstand verlaagd. Hydrologische maatregelen om de grondwaterstand te verhogen, hebben betrekking op de verschillende delen van het dal. Veenmosveen in beekdalen treffen we alleen aan in dalen op de flank van de Hondsrug op de overgang naar de Hunzevallei.

2.6 Grondwaterstanden en wateraanvoergebieden

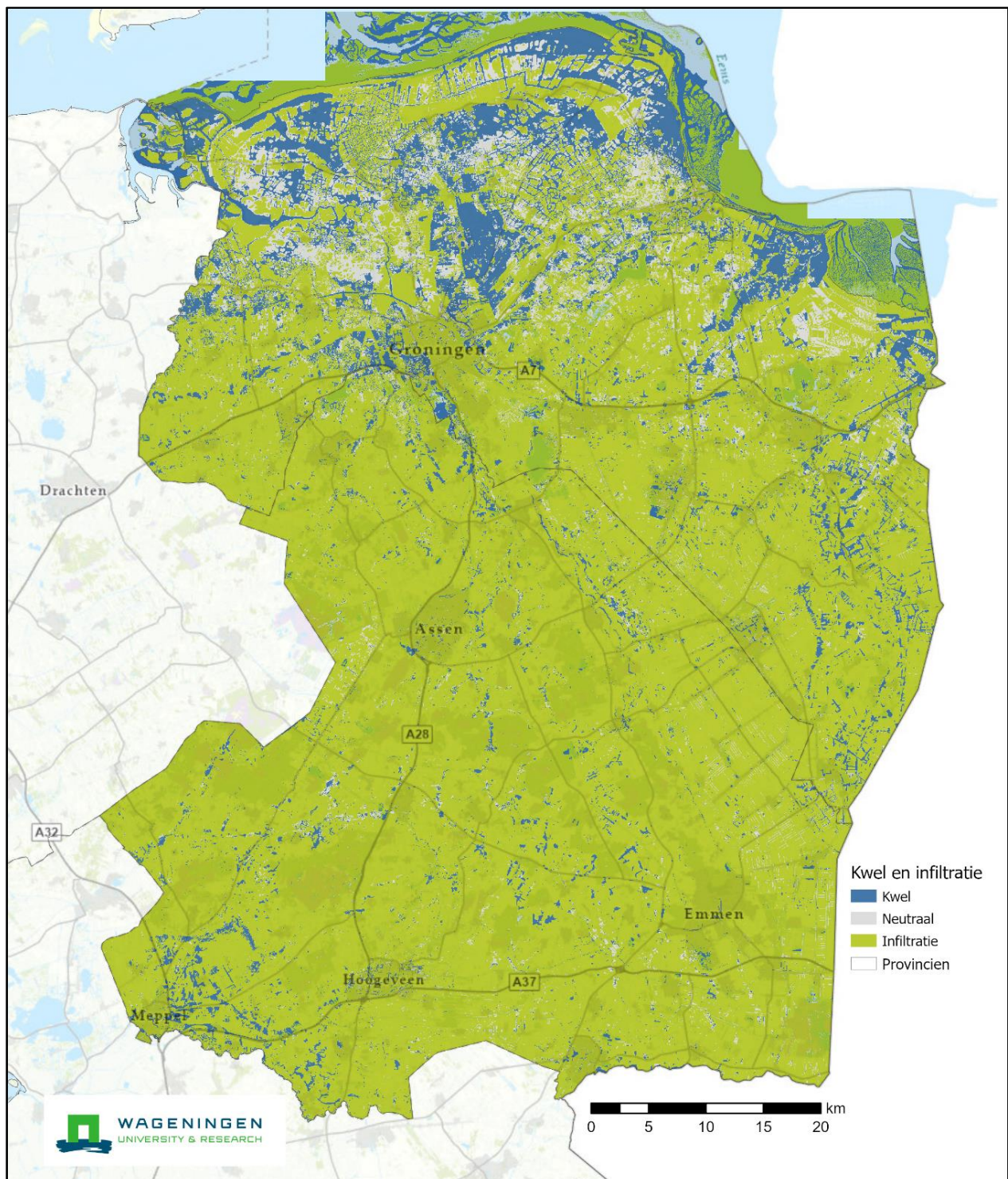
In Figuur 7 is de GLG weergegeven. Deze kaarten zijn gebaseerd op de Gt-kaart van 2018 (WENR) en deels van uitvoer van het MIPWA-model (MIPWA, 2020). Rond Emmen ontbrak een deel van de Gt-kaart van WENR. Dit zijn voornamelijk gedeelten met relatief diepe GHG's.

Om wat meer inzicht te verkrijgen in de waterhuishouding, is gebruikgemaakt van de informatie over peilgebieden in de waterschappen Noorderzijlvest, Hunze en Aa en Drents Overijsselse Delta.



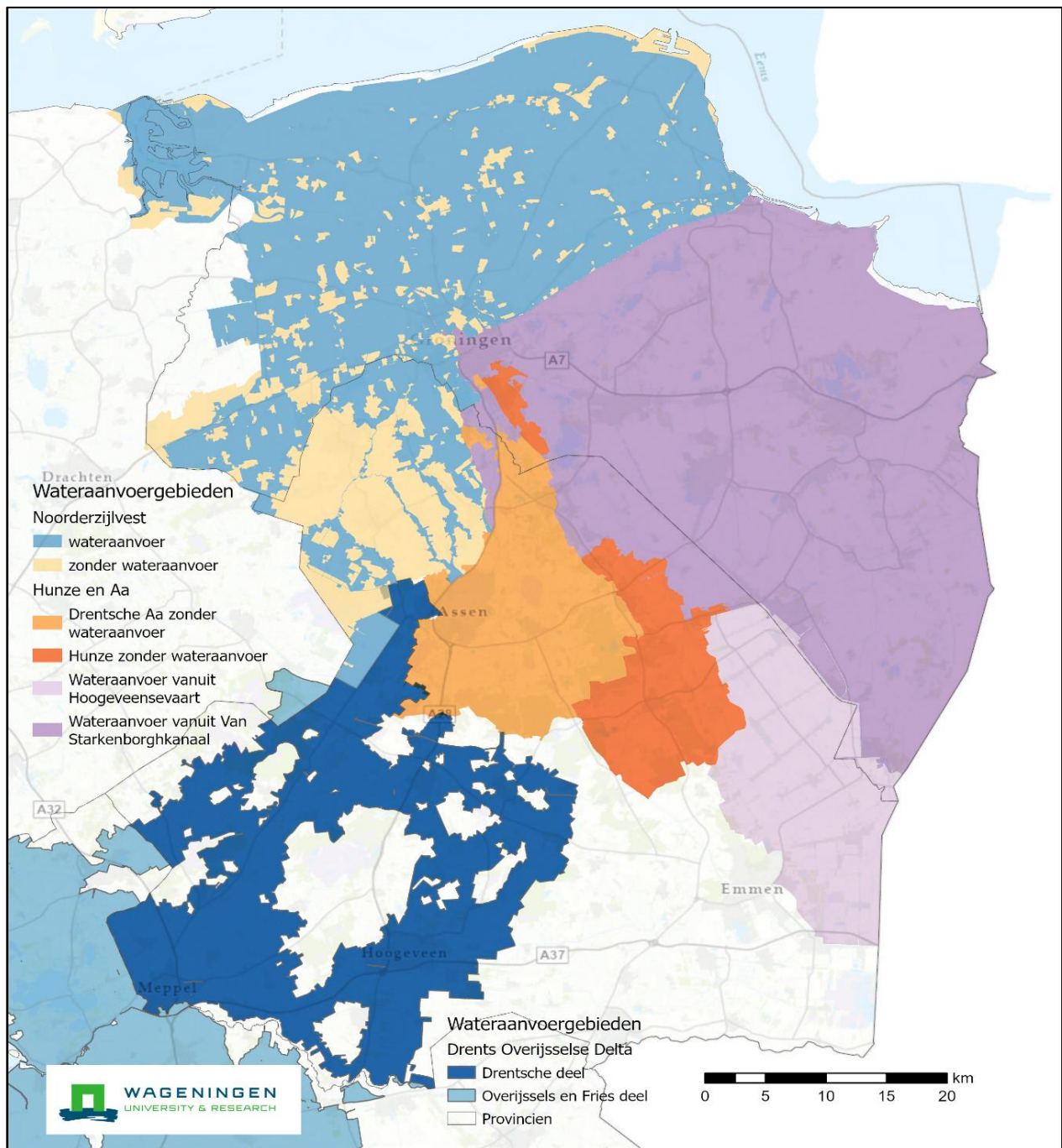
Figuur 7 kaart van de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) (op basis van de grondwatertrappenkaart van 2018 (WENR) en uitvoer van het model MIPWA).

Figuur 9 geeft inzicht in het aanvoergebied dat gebiedsvreemd water kan bereiken.¹ Het gebiedsvreemde water is afkomstig van de IJssel of het IJsselmeer. Uit de uitvoer van het MIPWA-model hebben we ook informatie over het voorkomen van kwel of infiltratie verkregen. Figuur 8 geeft de gebieden weer met een kwelflux ($> 0,1$ mm/dag), neutraal en infiltratie (< 0 mm/dag). De kwel komt met name voor in het noordelijke deel van de provincie Groningen.



Figuur 8 Kwel en infiltratie, uitvoer MIPWA.

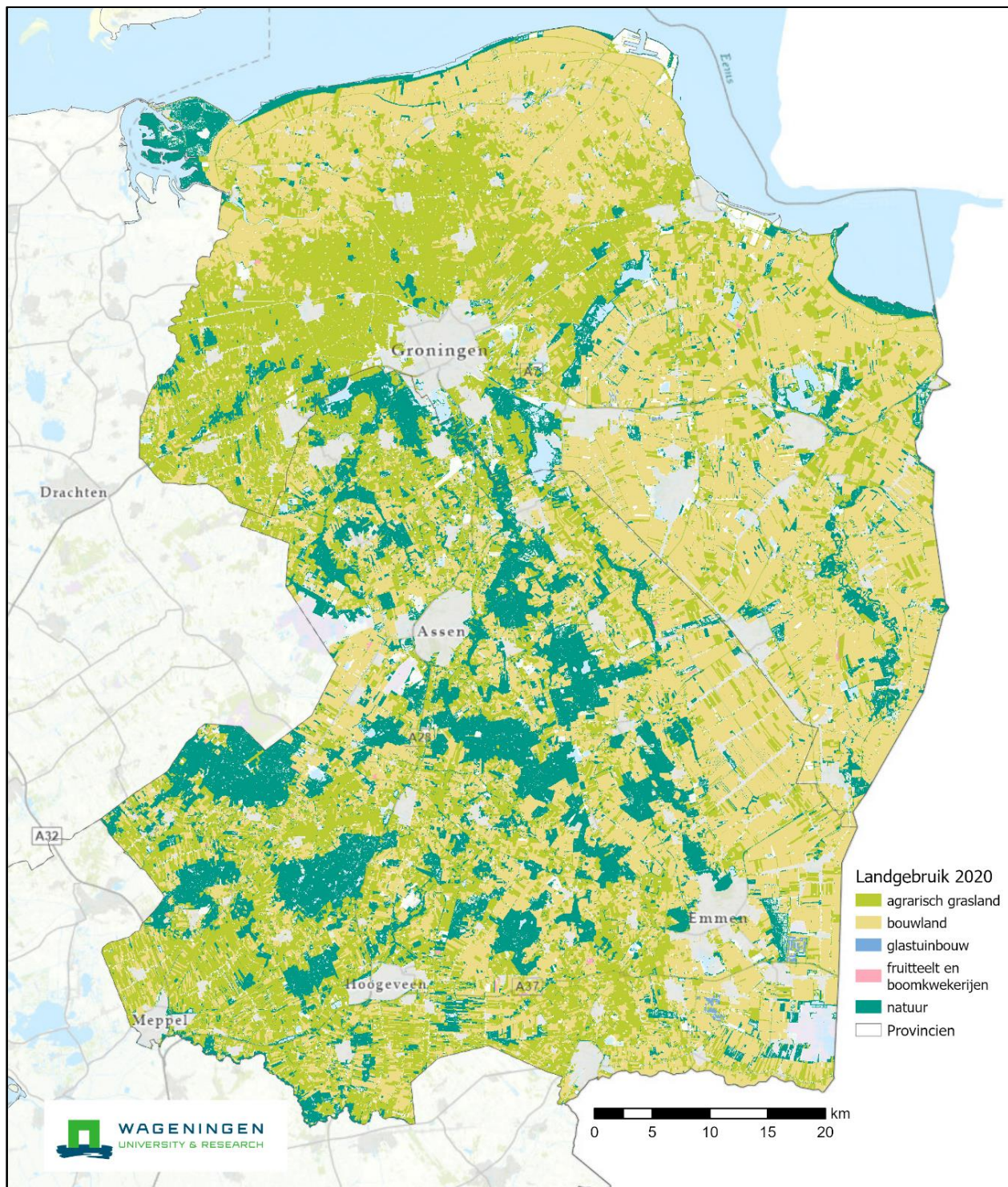
¹ Voor het gebied van Waterschap Vechtstromen wordt ervan uitgegaan dat er geen mogelijkheden zijn om water aan te voeren.



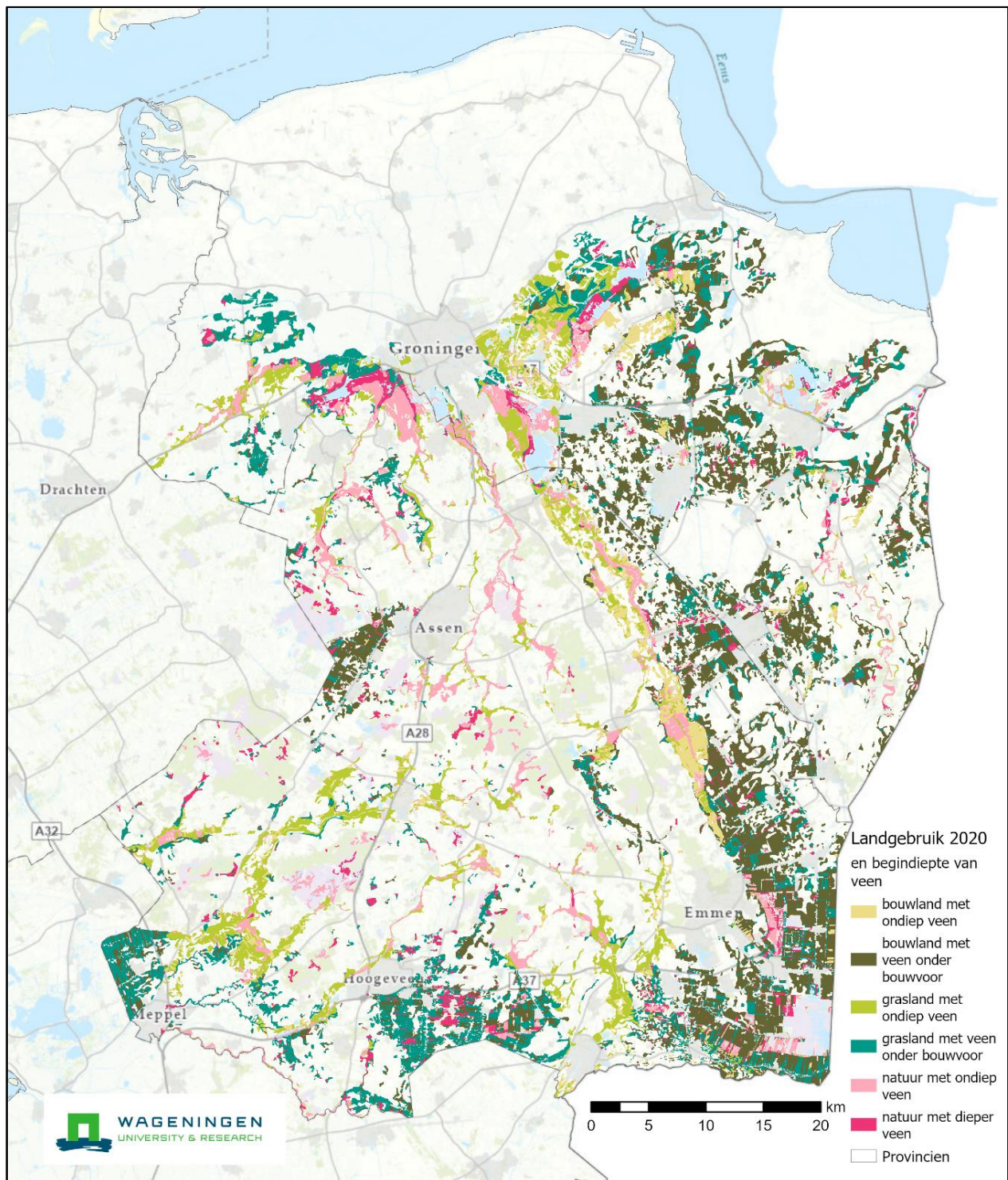
Figuur 9 Wataaraanvoergebieden in Groningen en Drenthe (bron: Waterschap Hunze en Aa en Drents Overijsselse Delta, Noorderzijlvest). Informatie van Waterschap Vechtstromen ontbreekt.

2.7 Landgebruik

Het actueel landgebruik (2020) is ook sterk van invloed op de mogelijke maatregelen. Figuur 10 is een geaggregeerde uitsnede van de landelijke landgebruikskaart (LGN10; Hazeu et al., 2021). Bouwland komt veel voor in de Veenkoloniën in het noordelijk kleigebied. Agrarisch grasland komt verspreid over het zuidwesten van Groningen en de provincie Drenthe voor. Dat geldt ook voor de natuur (bos, heide, overig grasland). Omdat het in dit onderzoek vooral gaat om het veen, is deze informatie gecombineerd met de begindiepte van het veen (Figuur 11). Hierbij is goed te zien dat op veel bouwland nog nauwelijks veen in de bouwvoor voorkomt. Grasland en bouwland met ondiep voorkomend veen (ondieper dan 25 cm -mv) komen vooral aan de oostflank van de Hondsrug voor. In de beekdalen komen ook nogal wat graslanden en natuur met ondiep veen voor.



Figuur 10 Landgebruik (klassieke en niet-klassieke veengronden) in 2020 in de provincies Groningen en Drenthe (LGN10, WENR).



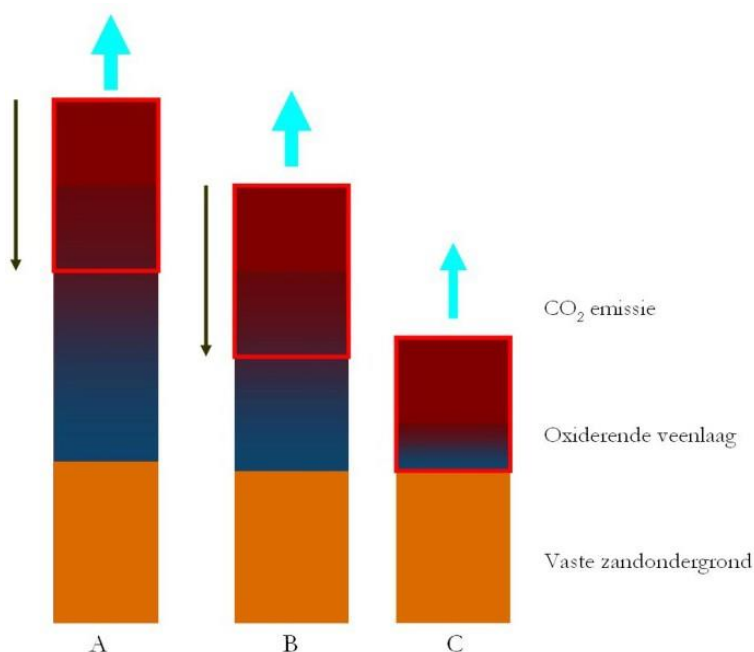
Figuur 11 Landgebruik (klassieke en niet-klassieke veengronden) in relatie tot de begindiepte van het veen. Ondiep veen begint binnen 25 cm -mv (in bouwland in de bouwvoor).

2.8 Veenafbraak

Veen bestaat grotendeels uit plantaardig materiaal. Bij de veengronden en moerige gronden komen veenlagen ondiep in het bodemprofiel voor. Onder invloed van het gebruik en de daarvoor noodzakelijke ontwatering treedt er bij de veenbodems oxidatie op van oppervlakkige veenlagen, waardoor deze lagen slinken en het maaiveld daalt. Doordat in de Nederlandse landbouwkundige praktijk de ontwatering wordt aangepast aan de maaiveldddaling, blijft de maaiveldddaling doorgaan totdat het veen is verdwenen. De drooglegging (maaiveldhoogte minus slootpeil) blijft daardoor ongeveer constant en hetzelfde geldt voor de

grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en de dikte van de laag meer of minder veraard veen. Bij verlaging van de grondwaterstand treedt er in eerste instantie klink op, doordat de met water gevulde poriën inzakken. Een deel van het veen bevindt zich boven de grondwaterspiegel; bij toetreding van lucht oxideert de organische stof in dit deel van de veenlaag. Met de vertering en daardoor het verminderen van de veendikte zakt de onderkant van de geaereerde zone geleidelijk naar beneden. Plastisch voorgesteld 'vreet' de beluchte laag zich een weg naar beneden waarbij het pas ontsloten verse veen ook onderdeel wordt van de voorraad veen die blootstaat aan vertering. Figuur 12 geeft een schematische voorstelling van het proces.

De mate van vertering in het geaereerde deel van het profiel neemt naar beneden toe af. Zolang de onderkant van het zakkende verteringsfront niet wordt belemmerd door de grondwaterstand, gaat de afbraak door tot uiteindelijk de zandondergrond wordt bereikt en de voorraad organische stof geleidelijk opgesoupeerd raakt (De Vries et al., 2009). Aanvankelijk verteert er vooral gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Na verloop van tijd resteert er resistenter materiaal, de afbraak vertraagt en de veenlaag slinkt minder snel.



Figuur 12 Schematische voorstelling van bodemprofiel met de zone waarin oxidatie plaatsvindt in de geaereerde veenlaag (het roodomrande gedeelte). Bij de profielen A en B is nog niet ontsloten veen aanwezig (blauw aangegeven). Door de oxidatie slinkt de veenlaag en bij voldoende ontwatering zakt het aeratiefront naar beneden (De Vries et al., 2009).

2.9 CO₂-emissies diverse veen- en moerige gronden

Om een indruk te krijgen van de mate waarin een bepaalde maatregel de CO₂-uitstoot kan reduceren, is het belangrijk om te weten wat de uitstoot is in de huidige situatie (zonder maatregel). Voor veengronden, en dan met name de dikke veenpakketten, is relatief veel onderzoek gedaan naar de uitstoot, veelal gebaseerd op historische maaiveld dalingen; van moerige gronden en minerale gronden is minder informatie beschikbaar.

Veengronden

De CO₂-emissie van veengronden is afhankelijk van type veen, de veendikte, aanwezigheid van een kleidek en de grondwaterstand in de zomer. Door Van den Akker et al. (2018) zijn, op basis van langjarige metingen voor het veenweidegebied, relaties ontwikkeld voor de maaiveld daling bij verschillende droogleggingen (Figuur 13). Het blijkt dat de bij droogleggingen dieper dan 100 cm de snelheid van maaiveld daling (en

daarmee ook de CO₂-uitstoot) niet verder toeneemt. Dit betekent ook dat bij een diepe grondwaterstand een eventuele verhoging van die grondwaterstand maar een beperkte vermindering van de CO₂-uitstoot oplevert.

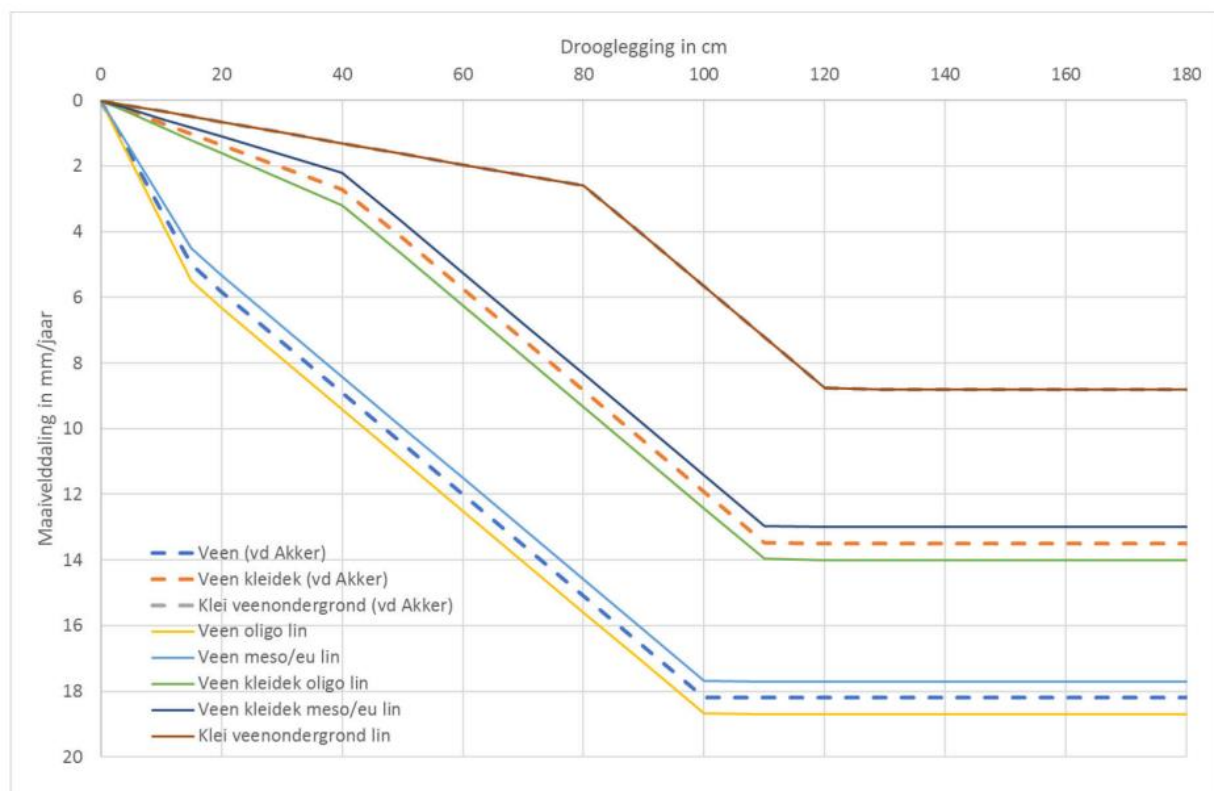
Het onderzoek geeft aan dat de uitstoot van oligotroof veen iets lager ligt dan mesotroof veen (2,1 en 2,26 ton CO₂ per ha/mm maaiveldddaling). Dit betekent dat de CO₂-uitstoot bij een drooglegging van 100 cm voor een volledig veenpakket ca. 40 ton per ha/jaar bedraagt; bij een drooglegging van 50 cm ligt dit op 20 ton per ha (Van den Akker et al., 2018). De bovengenoemde getallen gelden voor veelal dikke veenpakketten; de verwachting is dat voor dunne veenpakketten (< 1,0 m.) de uitstoot lager zal liggen (Van den Akker, 2021).

Veengronden met natuurlijk kleidek

De belangrijkste reden dat veen met een natuurlijk kleidek minder CO₂-emissie heeft, is dat die bovenlaag van klei voornamelijk mineraal is en dus niet afbreekt en niet bijdraagt aan de CO₂-emissie. Bij een dun kleidek (25-40 cm) is de maaiveldddaling en daarmee de uitstoot ca. 50% minder dan bij een volledig veenpakket. Bij een dik kleidek (60-80 cm) is dit 80%.

Direct onder de kleilaag wordt vaak veel veenoxidatie geconstateerd omdat het kleidek al snel scheurt en het veen rijkelijk wordt voorzien van zuurstof via de scheuren (Van den Akker et al., 2018). Een natuurlijk kleidek is daarmee maar beperkt in staat om de veenoxidatie van eronder liggend veen te voorkomen. Dit is een belangrijke constatering die ook terugkomt bij het bepalen van de effectiviteit van het aanbrengen van een mineraal dek (zie paragraaf 3.3.3).

Arets et al. (2021) komen voor alle veengronden met kleidek (en verschillende droogleggingen) op een gemiddelde waarde van 13 ton CO₂/ha/jaar.



Figuur 13 Maaiveldddaling voor diverse bodemsoorten op basis van de Van den Akker-relaties voor diverse droogleggingen (Van den Akker et al., 2018).

Moerige gronden

Voor moerige gronden worden verschillende waardes gevonden; deels te verklaren doordat de dikte van de veenlaag sterk varieert. Zo berekenen De Vries et al. (2009) dat moerige gronden met een gemiddelde dikte van 30 cm een uitstoot hebben van ca. 20 ton/ha. Naarmate de moerige gronden verder oxideren, verdwijnt het veen of wordt het omgezet in minder sterk emitterend veen (veraard veen). Hierdoor worden bij deze zogenaamde versleten moerige gronden met een dikte van 20 cm, lagere emissies berekend van gemiddeld ca. 12 ton/ha. Deze waarde komt overeen met de emissies die door Arets et al. (2021) zijn berekend op basis van de verminderde dikte van de aangetroffen veendikte bij het maken van de oude en nieuwe (2014) bodemkaarten.

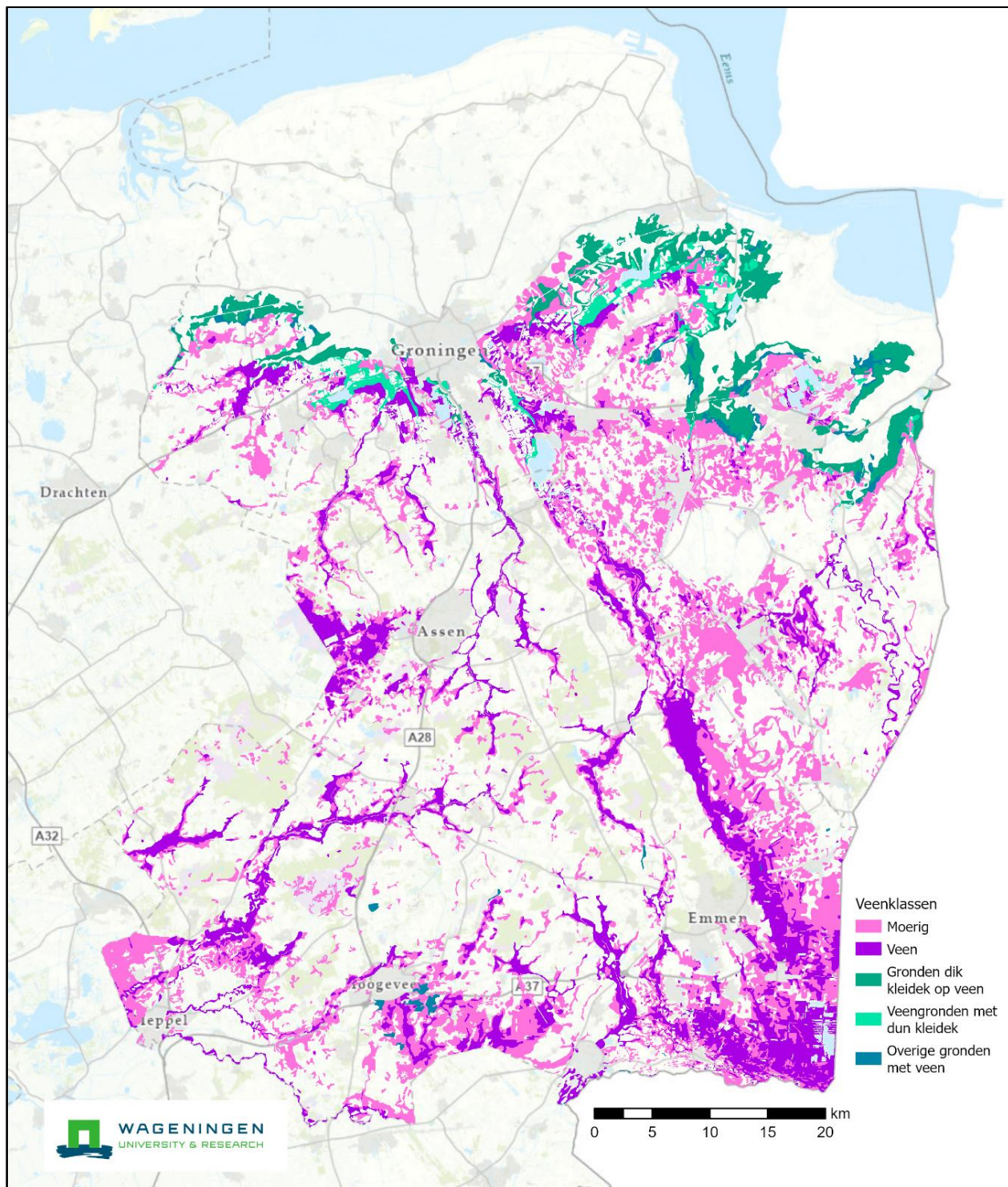
Samenvatting CO₂-emissie diverse gronden

Op basis van de CO₂-emissies per grondsoort die bekend zijn vanuit de diverse studies en de verspreiding van de grondsoort (Figuur 14) is berekend dat de CO₂-uitstoot van de niet-klassieke veenweidegronden in Groningen en Drenthe ligt tussen de 1,3 en 2,3 Mton/jaar (Tabel 3). Globaal ligt 40% van de niet-klassieke veengronden in Groningen en 60% in Drenthe.

De landelijke uitstoot vanuit landbouwkundige veengronden (veengronden en moerige veengronden) bedraagt 6,9 Mton CO₂ per jaar (CBS, 2021) <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/natuurlijk-kapitaalrekeningen-nederland-2013-2018/4-de-koolstofbalans-van-nederland>). De landelijke cijfers gaan uit van emissie van 19 ton CO₂/ha voor veengronden en 12 ton CO₂/ha voor moerige gronden. Dit betekent dat de landelijke cijfers vergeleken kunnen worden met de laagste schatting (1,3 Mton CO₂ Jaar) zoals berekend in dit onderzoek. De niet-klassieke veengronden in Groningen en Drenthe dragen op basis van die vergelijking 18% bij aan de landelijke uitstoot van veengronden.

Tabel 3 CO₂-emissie van diverse bodemtypes als gevolg van veenoxidatie (diverse bronnen).

Bodemtype	Dikte veenlaag (cm)	CO ₂ -emissie (ton/ha/jaar)	Landgebruik	Areaal (ha)	Geschatte emissie MCO ₂ /jaar
Veengronden	80	20 - 30	Akkerbouw, natuur, beekdalen	33.335	0,666 - 1,000
Veengronden met dun kleidek (25-40 cm)	80	10 - 15	Akkerbouw, natuur, beekdalen	2.640	0,026 - 0,039
Gronden met dik kleidek (60-100 cm) op veen	80	4 - 6	Akkerbouw, natuur, beekdalen	10.926	0,043 - 0,065
Moerige gronden	20- 40	10 - 20	Akkerbouw, natuur, beekdalen	61.510	0,615 - 1,230
Overige gronden met veen/Versleten moerige gronden/ minerale gronden	< 20	0 - 10	Akkerbouw, natuur, beekdalen	2.850	0 - 0,029
Totaal				111.261	1,350 -2,363



Figuur 14 Verspreiding van de diverse grondsoorten met veen (niet-klassieke veengronden).

3 Inventarisatie maatregelen reductie CO₂-uitstoot

3.1 Algemeen

Veel maatregelen om de emissie van CO₂ van veen- en moerige gronden te voorkomen, hebben te maken met het vernatten van het veen. Dit vernatten kan grote invloed op het landgebruik hebben. Daarnaast is het de vraag of het fysiek mogelijk is om een gebied te vernatten en of er voldoende water beschikbaar is. Dit maakt dat er behoefte is om naast de hydrologische maatregelen ook te kijken naar civieltechnische, teelttechnische en grondbewerkingsmaatregelen. De maatregelen voor de beekdalen worden apart beschreven.

Naast een beschrijving van de maatregel is ook gekeken hoe effectief een maatregel is en welke neveneffecten te verwachten zijn. Maatregelen zijn passieve dan wel actieve ingrepen in het bodem-, water- of landgebruikssysteem. Daarnaast zijn er ook activiteiten of ingrepen die juist niet meer zouden moeten plaatsvinden, omdat ze de veenoxidatie versterken. Deze laatste maatregelen hebben veelal geen directe kosten, maar kunnen wel van invloed zijn op het verdienmodel van agrariërs.

3.2 Hydrologische maatregelen

Hydrologische maatregelen richten zich op het vernatten van het veen. De wijze waarop de vernatting kan plaatsvinden, is afhankelijk van het karakter van het veen, de geohydrologische situatie en de mate waarin de waterhuishouding kan worden gestuurd. Belangrijk bij de hydrologische maatregelen is dat uiteindelijk de grondwaterstand in het perceel wordt verhoogd. Dit kan worden bereikt door het oppervlaktewaterpeil (permanent) te verhogen, echter daarmee wordt slechts een beperkte verandering van de grondwaterstand gerealiseerd. Uiteindelijk zal met een actieve maatregel de grondwaterstand in het perceel moeten worden verhoogd. De hydrologische maatregelen bestaan daarmee uit een combinatie van gebiedsgerichte maatregelen, zoals passieve peilstijging of dynamisch peilbeheer in combinatie met perceelgerichte maatregelen, zoals onderwater- en drukdrainage.

3.2.1 Passieve peilstijging

Passieve peilstijging is een strategie om het peil van het oppervlaktewater niet meer met de bodemdaling mee te laten dalen, waardoor de drooglegging op de lange duur vermindert. Door Deltares zijn in het kader van een studie naar effecten van onderwaterdrainage en passieve peilstijgingen op de zoetwatervoorziening, berekeningen gedaan aan de verandering van de grondwaterstand (Hunnink et al., 2021).

Onderwaterdrainage heeft, op basis van de criteria in die studie (huidige drooglegging tussen de 30 en 60 cm), in Groningen/Drenthe een zeer beperkt toepassingsgebied. De passieve peilstijging ligt op basis van klimaatscenario STOOM2050 tussen de 10 en 50 cm, maar zal in droge jaren minder zijn. Er is door Deltares van uitgegaan dat passieve peilstijging de bodemdaling in 2050 met de helft kan doen verminderen. Dit laatste is twijfelachtig, omdat bij grote slootafstanden er nog steeds een sterke uitzakking van de grondwaterstanden plaatsvindt. Bedenk verder dat de nieuwe drooglegging in 2050 wordt bereikt door nog heel veel veen te oxideren. Passieve peilstijging is daarmee niet de oplossing om veenoxidatie op korte termijn te verminderen, maar met name om extra veenoxidatie op langere termijn te voorkomen.

3.2.2 Dynamisch peilbeheer

Bij dynamisch peilbeheer wordt in het voorjaar en de zomer het slootpeil verhoogd. Hierdoor zal het grondwaterpeil in het perceel minder ver uitzakken. Het aanwezige veen rond de gemiddelde laagste grondwaterstand blijft daardoor natter. De effectiviteit van het opzetten van het slootpeil is afhankelijk van de doorlatendheid van het bodemmateriaal, de afstand tussen de sloten en de aanwezigheid en diepte van drains. In zijn algemeenheid zullen de zones in de directe omgeving van de sloten vernatten, maar zal het

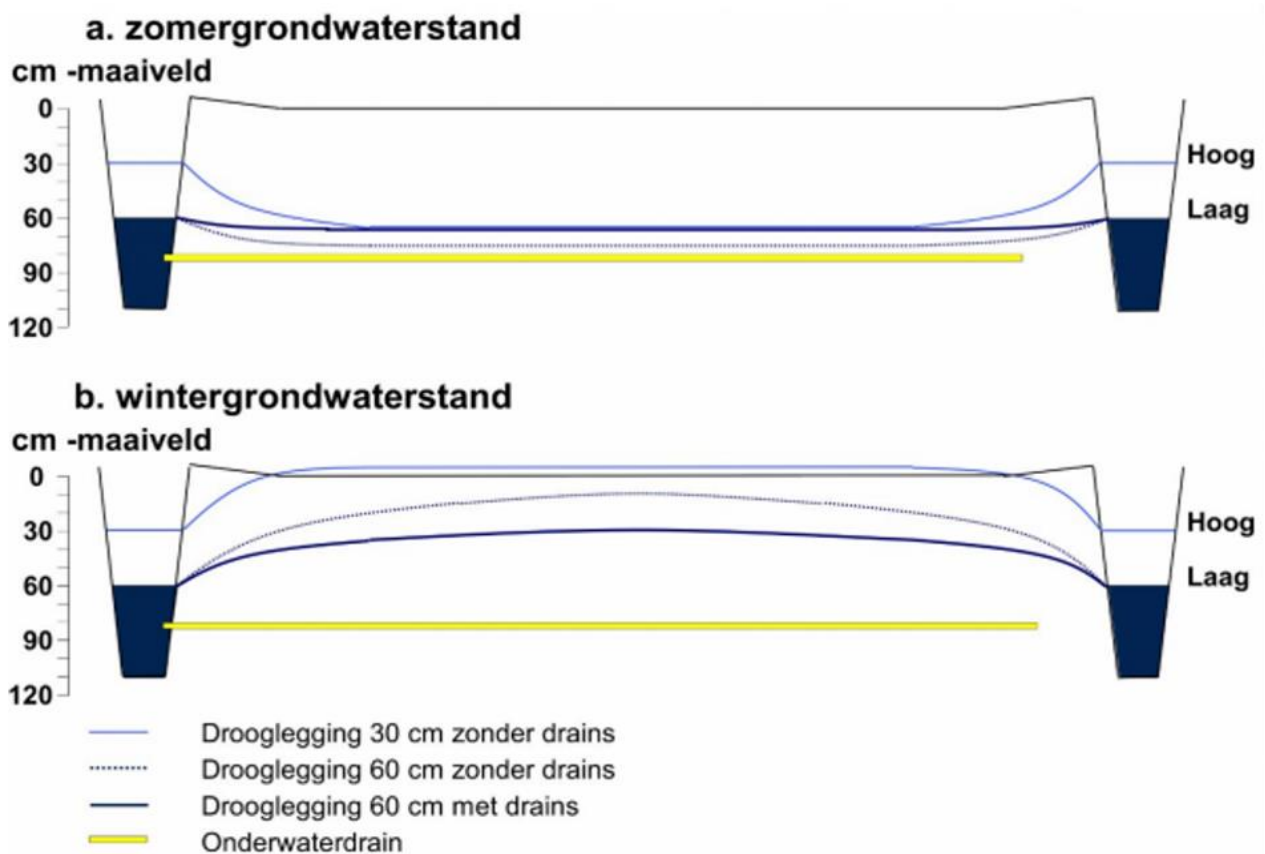
effect in het midden van het perceel beperkt zijn. Verder zal de grondwaterstand traag reageren op de verhoging van het slootpeil.

Bij experimenten in Zegveld (veenweide Utrecht) werd in het midden van het perceel (relatief smalle percelen) na 8 weken circa 50% van de aanpassing in het oppervlaktewaterpeil gemeten. Binnen een periode van een maand was dit effect beperkt (ordegrootte 20 à 30%). Langs de randen van de sloot was de reactietijd korter, namelijk ongeveer een week (HDSR, 2011). Verder laten de experimenten zien dat voor de situatie in Zegveld het slootpeil van 20 cm of minder nodig is om in het midden van het perceel de grondwaterstand in het algemeen niet lager dan 45-60 cm -mv te laten zakken en de GLG niet lager dan 60 cm -mv (Hoving et al., 2021).

Dynamisch peilbeheer kan in het onderzoeksgebied alleen worden toegepast in gebieden waarin het peil beheerst kan worden of die vrij afwaterend zijn, maar waarbij wel (beperkte) waterafvoer mogelijk is (zie Figuur 9). Gedeeltelijk wordt in het onderzoeksgebied al dynamisch grondwaterbeheer toegepast doordat de zomerpeilen ca. 30 cm hoger liggen in gebieden met klei op veen; in de overige gebieden 50 cm hoger (Hunze en Aa, 2021). Voor de gebieden waar nu al drainage ligt, zoals Oldambt en Duurswold, zal het verhogen van het oppervlaktewaterpeil effectiever zijn dan in de gebieden waar deze nu beperkt aanwezig is (Massop en Schuiling, 2016).

3.2.3 Onderwaterdrainage (WIS)

De effectiviteit van de vernatting van het perceel door het verhogen van het slootpeil kan worden verhoogd door extra infiltratiedrains aan te leggen. Dit systeem werd veelal onderwaterdrainage genoemd, maar is eigenlijk een misleidende term, omdat het bedoeld is voor infiltratie in de droge perioden. Vandaar dat men is overgestapt op de term WIS (Water Infiltrage Systeem). In natte perioden werkt het wel drainerend. WIS zorgt dat de fluctuatie van de grondwaterstand ten opzichte van het slootpeil door verdamping en neerslag beperkt wordt. Door onderwaterdrainage neemt de invloed van het slootpeil op de grondwaterstand toe (Figuur 15). In het veenweidegebied worden zeer korte drainafstanden gebruikt van 4 tot 6 meter.



Figuur 15 Schematische weergave effect onderwaterdrainage (STOWA, 2020).

De effectiviteit van onderwaterdrainage is door WUR in een groot aantal pilots getest. Door Rozemeijer et al. (2019) is een overzicht gemaakt van de diverse pilots die in West-Nederland tussen 2003 en 2018 zijn uitgevoerd. Hieruit zijn de volgende conclusies worden getrokken (Rozemeijer, 2018):

- De effectiviteit van onderwaterdrainage verschilt sterk per pilot en binnen pilots ook per perceel. Vooral de infiltratie via de drains viel in enkele pilots tegen.
- Bij de pilots met goed functionerende drains worden de hoogste grondwaterstanden 5-15 cm lager dan zonder drains.
- Bij de pilots met goed functionerende drains worden de laagste grondwaterstanden 5-15 cm hoger dan zonder drains.

De grondwaterstanden zijn hierbij halverwege tussen de drains en halverwege tussen de sloten gemeten. De laagste grondwaterstanden zullen bij de drains meer verhoogd worden dan tussen de drains. Dicht bij de sloten zullen de grondwaterstanden juist weer minder beïnvloed worden dan halverwege tussen de sloten. De oorzaak van het wel of niet goed functioneren van onderwaterdrainage is niet altijd duidelijk. Voor een deel wordt in de pilotrapportages verwezen naar problemen met slootbagger bij de infiltratie via de drains. Ook bij de aanleg kunnen fouten in de hoogteligging en/of vlakligging van de drains grote gevolgen hebben op het functioneren van de drains. In de praktijk blijkt dat vaak uit kostenoverwegingen de drainafstanden en drainlengten te groot zijn gekozen om voldoende infiltratie tijdens droge perioden te waarborgen. Dit is reden geweest om het ontwerp en de aanleg van WIS te certificeren (KIWA Nederland bv, 2021, BRL1411 buisdrainage en veenweide-infiltratie).

Onderwaterdrainage wordt in het veenweidegebied (veen in de bovenste 60 cm) veelal toegepast bij een slootpeil tussen de 30 en 60 cm -mv. Bij een lager slootpeil (-60 cm of meer t.o.v. maaiveld) is de effectiviteit van onderwaterdrainage beperkt, omdat de grondwaterstand sowieso laag is en het verhogende effect in droge perioden wegvalt ten opzichte van het effect van de diepe ontwatering. In het voorjaar draineert het veen sterk en zakt de grondwaterstand. Dat water verdwijnt door de grote verdamping van het gewas. De infiltratie is klein, omdat pas als de grondwaterstand onder 60 cm -mv zit, er enig drukverschil is tussen slootpeil en grondwaterstand. Het bovenstaande betekent dat, gezien de diepe grondwaterstanden (zie Figuur 7), onderwaterdrainage in de gebieden met de niet-klassieke veengronden zeer beperkt toepasbaar is.

Tussen 2013 en 2016 is in Exloo in het Hunzedal een experiment uitgevoerd met drainage en het verhogen van slootpeilen door middel van stuwen (Rozemeijer et al., 2017). In dit gebied vindt akkerbouw plaats in relatief laaggelegen beekdalen met veenbodems en kwel. Het doel was de grondwaterstanden op akkerbouwpercelen te verhogen en veenaafbraak tegen te gaan zonder natschade te veroorzaken. Door ijzerverstopping bleek het drainagesysteem minder goed te werken, waardoor er maar een beperkte verhoging van het grondwaterpeil kon worden gerealiseerd. Ook bleek de drainerende werking beperkt, waardoor de percelen te lang nat bleven. Het gebruik als akkerbouwgrond (met een diepe drooglegging) bleek lastig te combineren met een gewenste tijdelijke vernatting van de ondiepe veenlagen.

3.2.4 Drukdrainage (AWIS)

De effectiviteit van onderwaterdrainage kan worden verhoogd door deze aan te sluiten op een waterreservoir. Het water in het waterreservoir kan met een pomp hoger worden gezet dan de sloot, of zelfs tot boven maaiveld, waardoor er meer druk op de drainagebuizen ontstaat en er effectiever vernat kan worden. Dit systeem werd drukdrainage genoemd, maar staat nu bekend als AWIS (Actief Water Infiltratie Systeem). Het voordeel is ook dat de extra ontwatering in het voorjaar, zoals bij de standaard onderwaterdrainage, kan worden voorkomen. Dit maakt drukdrainage ook toepasbaar bij diepere (> 60 cm -mv) grondwaterstand. Aangezien er in een groot gedeelte van het onderzoeksgebied een infiltratiesituatie heerst (Figuur 8), zal een verhoging van de grondwaterstand ook kunnen resulteren in extra infiltratieverliezen.

Uit in 2016 gestarte experimenten in Zegveld blijkt dat de grondwaterstand met drukdrainage ook midden tussen de drains niet of nauwelijks beneden het gewenste peil komt (Hoving et al., 2021). De grondwaterstand blijft daardoor meer gelijk. In Zegveld bleek een streefgrondwaterstand van 40 cm -mv goed te handhaven bij slootpeilen van -55 cm en -20 cm. Alleen direct naast de sloot is de grondwaterstand

gelijk aan het slootpeil (NKB, 2020). Inmiddels wordt ook op andere locaties geëxperimenteerd met drukdrainage, met vergelijkbare resultaten.

3.2.5 Mogelijkheden hydrologische maatregelen

In het voorgaande is aangegeven dat een verhoging van de GLG kan worden bereikt door de verhoging van het oppervlaktepeil (permanent of dynamisch) in combinatie met drukdrainage. Het is afhankelijk van de diepteligging van het veen en de huidige grondwaterstanden of een verhoging tot daadwerkelijke vernatting van het veen gaat leiden.

Om een eerste indicatie te krijgen van de effectiviteit van vernatting is gekeken of (in cm):

1. de begindiepte van het veen gelijk of ondieper is dan de GLG -20;
2. de begindiepte van het veen en de veendikte groter of gelijk zijn aan de GLG.

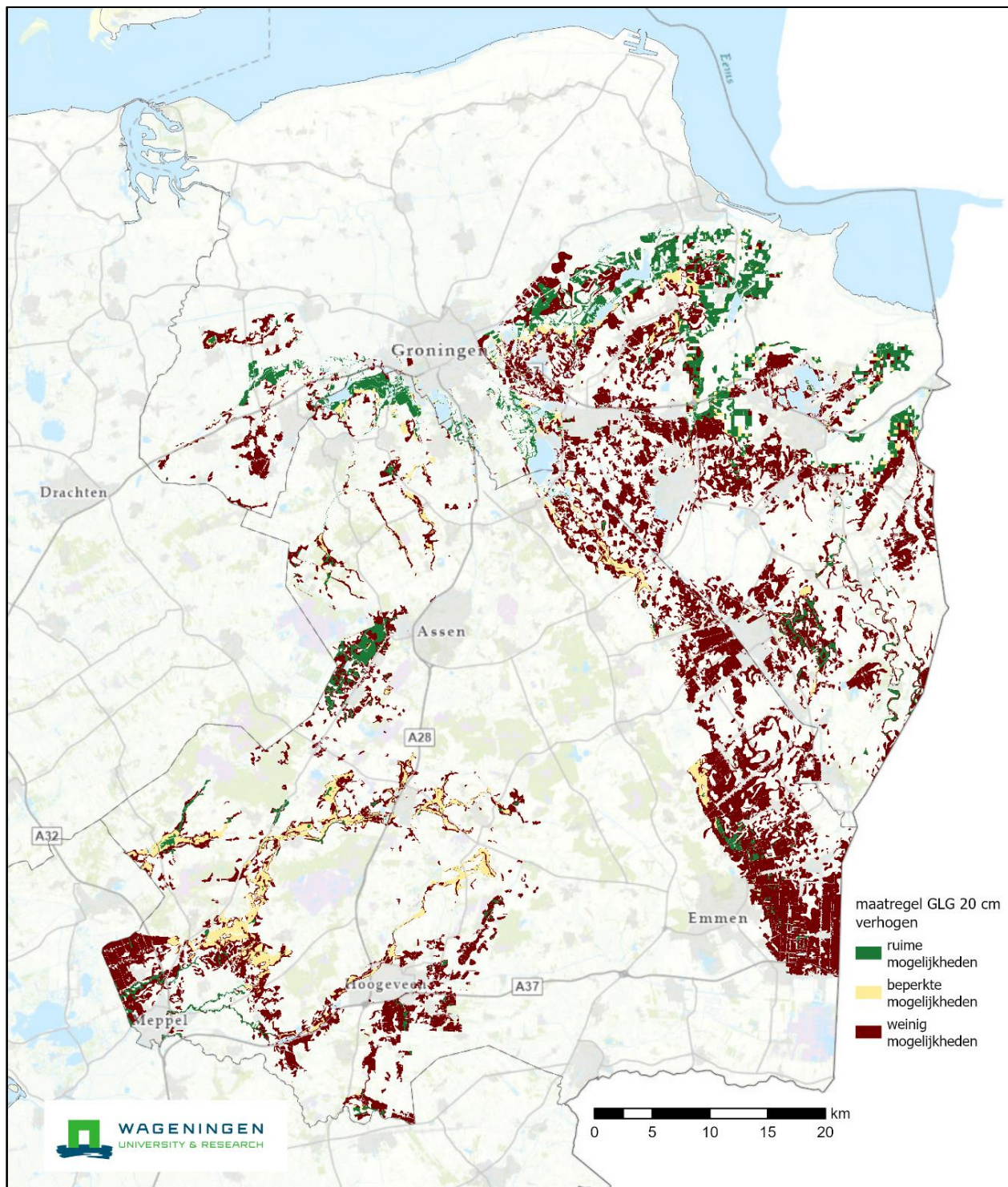
Uitgangspunt is dat het veen uit een doorgaande laag bestaat. Als aan alle bovenstaande eisen wordt voldaan, heeft elke centimeter GLG-stijging effect. Er zijn dan veel mogelijkheden om veen te conserveren met deze maatregel. Als het veen dieper dan de GLG cm begint of al eerder eindigt dan GLG -20cm zijn er weinig mogelijkheden. Daartussen zijn er beperkte mogelijkheden.

Er is door het Waterschap Hunze en Aa aangegeven dat het mogelijk zou moeten zijn de GLG met 20 cm te verhogen. In Figuur 16 en Tabel 6 staan de mogelijkheden voor deze hydrologische maatregel aangegeven. Voor een deel van de niet-klassieke gronden met veen was geen veendikte of GLG beschikbaar. Vandaar dat de totale oppervlakte kleiner is dan in Tabel 4. Veel mogelijkheden zijn er vooral bij een GLG tussen 80 en 120 cm bij een veendikte groter dan 40 cm. Totaal betreft het ruim 12.000 ha. Beperkte mogelijkheden zijn er voor ruim 7.200 ha. De ruime mogelijkheden liggen met name in gebieden met wat dikkere veenlagen en in een meer noordelijk gedeelte van met zeeklei afgedekt veen. In een deel van het gebied met veel mogelijkheden is onvoldoende capaciteit om gebiedsvreemd water aan te voeren en de slootpeilen actief te verhogen. We hebben er rekening mee gehouden dat er aanvoer van gebiedsvreemd water mogelijk moet zijn. Ook zijn uitsluitend agrarisch land en natuurgebieden in de totale oppervlakte meegenomen. Verspreid ligt er ruim 1.600 ha in beekdalen met veel mogelijkheden (Tabel 10).

Om de gevoeligheid van een bepaalde GLG-stijging na te gaan, zijn de mogelijkheden ook bekeken als de GLG met 40 cm verhoogd zou kunnen worden. Het areaal met ruime mogelijkheden neemt wat af, omdat we die zo gedefinieerd hebben, dat elke centimeter GLG-verhoging direct tot veenconservering zou moeten leiden. De eventuele toename van gronden met mogelijkheden voor hydrologische maatregelen wordt bereikt op gronden die eerst weinig mogelijkheden hadden en daarna beperkte. Die toename bedraagt 1.731 ha of 3,3%. Er zijn wat meer gebieden met beperkte mogelijkheden. Hieruit blijkt dat de mogelijkheden om veen te conserveren met name worden bepaald door de aanwezigheid van veen op de juiste diepte.

Tabel 4 *Oppervlakteverdeling van gronden met veen met mogelijkheden voor hydrologische maatregelen afhankelijk van de GLG en veendikte (bij een GLG-verhoging van 20 cm).*

Oppervlakte (ha)		Veendikte (cm)					Eindtotaal
Mogelijkheden	GLG	0-25cm	25-40cm	40-80cm	80-120cm	>120cm	
ruim			29	5194	4962	1895	12080
	0-50cm		29		77		106
	50-80cm			89	459		548
	80-120cm			4515	3542	559	8616
	120-180cm			590	883	1336	2809
	>180cm					1	1
beperkt		65	470	251	6432	1	7219
	50-80cm		198	2			200
	80-120cm	65	124		6365		6553
	120-180cm		148	249	67		464
	>180cm				1	1	2
weinig		534	43866	4497	2786	72	51756
	0-50cm		46	5	11		63
	50-80cm		272				272
	80-120cm	30	14171	10	12	72	14295
	120-180cm	500	27924	4187	2368		34980
	>180cm	5	1453	294	395		2146
	Eindtotaal	600	44364	9942	14180	1968	71054



Figuur 16 Mogelijkheden voor het conserveren van veen door een hydrologische maatregel waarbij de GLG 20 cm stijgt in gebieden met de niet-klassieke veengronden veen en waar wateraanvoer mogelijk is.

3.2.6 CO₂-reductie

De mogelijkheden om CO₂-emissie te reduceren, is afhankelijk van de diepteligging van het veen, de aanwezigheid van een mineraal dek en de grondwaterstanden. De meeste gegevens zijn bekend van de meer klassieke veengronden. In een studie voor veengronden in Noord-Holland zijn modelberekeningen gemaakt om de effecten op bodemdaling en broeikasgasemissies van diverse vernattingsmaatregelen te bepalen (Hoving et al., 2020). De vernattingsmaatregelen betroffen pomp gestuurde onderwaterdrains met verschillende streefpeilen voor de grondwaterstand (30, 40 en 50 cm beneden maaiveld), slootpeilverhoging, greppelinfiltratie en lisdoddeteelt en combinaties van deze maatregelen. De maatregelen zijn vergeleken met

een gangbare situatie met een drooglegging van 50 cm (Tabel 6) en laten zien dat de onderwaterdrainagesystemen waarmee een verhoging van de GLG van 20 cm wordt bereikt, tot 50% CO₂-reductie kunnen opleveren. Het verhogen van alleen het slootpeil blijkt weinig effectief te zijn (10% reductie).

De reductiecijfers uit de genoemde studies zijn gebaseerd op veenweidegronden met dikke veenpakketten en ondiepe grondwaterstanden. Om een eerste indicatie te krijgen hoe effectief vernatting werkt bij een diepe grondwaterstand, is gebruikgemaakt van de relatie drooglegging-maaiveld-daling (Figuur 13). Hieruit blijkt o.a. dat bij gronden met een dik veenpakket er bij een drooglegging dieper dan 1.00 m -mv de maaiveld-dalingssnelheid (en daarmee de CO₂-emissie) niet verandert (zie de vlakke blauwe lijn in Figuur 13). Dit zou betekenen dat indien de huidige drooglegging 1,2 cm -mv is, een extra verhoging van het slootpeil van bv. 20 cm niet leidt tot een verandering van de CO₂-emissie.

Gebruiken we deze gegevens om de verandering in maaiveld-dalingssnelheid (en daarmee ook de CO₂-emissie) te bepalen, dan komen daar voor de grondwatertrappen 50-80 cm en 80-120 cm – op basis van een volledig veenpakket – de onderstaande waarden uit:

GLG 50 -80 cm -mv
 Huidige gemiddelde CO₂-emissie = 26 Mton,
 CO₂-emissie bij 20 cm peilverhoging = 18 Mton (-30%)
 CO₂-emissie bij 40 cm peilverhoging = 12 Mton (-50%)

GLG 80 - 120 cm -mv
 Huidige gemiddelde CO₂-emissie = 36 Mton,
 CO₂-emissie bij 20 cm peilverhoging = 30 Mton (-15%)
 CO₂-emissie bij 40 cm peilverhoging = 24 Mton (-30%)

Deze waarden zijn indicatief, omdat ze zijn geëxtrapoleerd van maaiveld-dalingsdata en geen rekening houden met dikte en samenstelling van een mineraal dek. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de reductiepercentages ook te realiseren zijn voor veen met een mineraal dek.

Tabel 5 Berekende maaiveld-daling en CO₂-emissie voor diverse vernattingsmaatregelen in klassieke veenweidegebieden (Hoving et al., 2020).

	GLG (cm -mv)	Maaiveld-daling (mm/jaar)	Emissie (t CO ₂ -eq ha ⁻¹ j ⁻¹)			
			CO ₂	N ₂ O	CO ₂ + N ₂ O	(%)
Referentie drooglegging 50 cm	73	11.2	25.3	2.78	28.1	0
OWD's pompgestuurd gwst 30 cm -mv	45	3.6	8.1	0.89	9.0	68
OWD's pompgestuurd gwst 40 cm -mv	52	5.4	12.2	1.34	13.6	52
OWD's pompgestuurd gwst 50 cm -mv	56	6.6	14.9	1.63	16.5	41
Verminderde drooglegging 20 cm	70	10.2	23.0	2.52	25.5	9
Greppelinfiltratie greppelafstand 12,5 m	44	3.2	7.3	0.80	8.1	71
Greppelinfiltratie greppelafstand 20 m	52	5.3	12.0	1.32	13.3	53

3.2.7 Aandachtspunten hydrologische maatregelen

Extra water

Elke maatregel waarbij de grondwaterstand wordt verhoogd, kost water dat zal moeten worden ingelaten. Dit betreft in de eerste plaats extra gewas- en bodemverdamping doordat het gewas minder verdroogt en door open-watervedamping (hogere slootpeilen) en vooral ook door extra wegzijging of verminderde kwel. Voor gebieden met een probleem met aanvoer van water kan dit in droge jaren een groot probleem zijn. Hierbij speelt ook de kwaliteit van het aangevoerde water een mogelijk probleem. In een studie naar de effecten van het grootschalig gebruik van onderwaterdrainage en passieve peilstijging blijkt dat de buffer van het

IJsselmeer vaker volledig ingezet moet worden, waardoor het risico op beperkingen in de levering ook toe kan nemen (Hunnink, 2021).

Verminderde buffercapaciteit

Door de hoge slootpeilen en grondwaterstanden wordt de mogelijkheid om water te bufferen tijdens hevige regenval verminderd. Voor de opvang van hevige droogte is de situatie juist andersom en leveren de hoge slootpeilen juist een zekere buffer en kan de bodem efficiënt zo vol mogelijk worden gehouden in de periode voordat werkelijke watertekorten optreden.

Extra uitstoot methaan

Bij het vernatten van veen kan methaan ontstaan. Methaan is een zeer sterk broeikasgas, maar wordt wel sneller opgelost in de atmosfeer. De optimale balans tussen reductie van CO₂-uitstoot én methaanuitstoot ligt voor de klassieke veenweidegebieden op een jaargemiddelde grondwaterstand van 20 cm -mv. Voor de niet-klassieke veengronden liggen de grondwaterstanden, ook na vernatting met 20 tot 40 cm, nog steeds dieper dan 40 cm -mv. Extra methaanuitstoot zal hier maar beperkt optreden.

3.3 Civieltechnische maatregelen

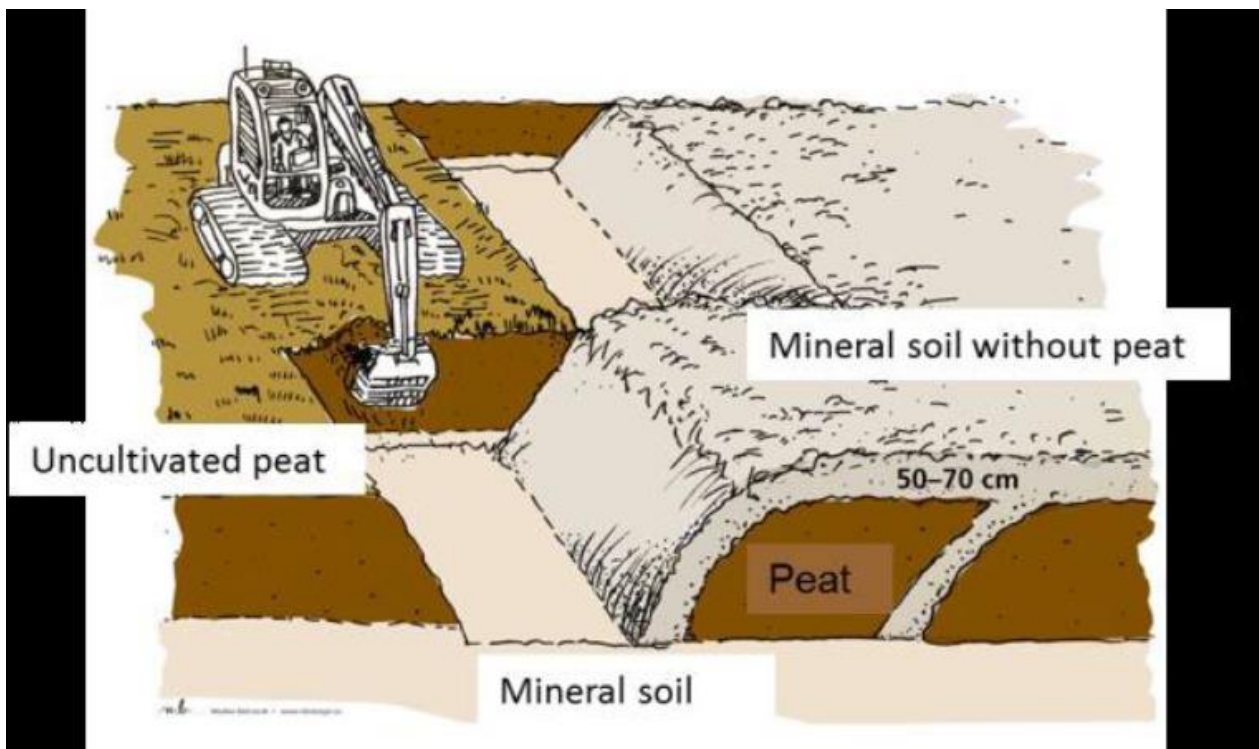
Civieltechnische maatregelen richten zich op het verminderen van de zuurstoftoevoer naar het veen door ofwel het veen te vergraven of door boven op het veen een afsluitende minerale laag aan te brengen.

3.3.1 Keren van gronden

In het verleden heeft men getracht om gronden met een storende veenlaag te verbeteren door profielbewerking. Een probleem van diepe grondbewerking is vaak dat de grond daarna nog nazakt en nog regelmatig geëgaliseerd moet worden. Dit geldt in versterkte mate wanneer de profielbewerking wordt uitgevoerd in gebieden met sterk wisselende opbouw. Dit geldt dus vooral voor de in dit project onderzochte, niet-klassieke veengronden. Dit bleek ook bij een veldbezoek aan een bedrijf in Tjalleberd dat in de jaren 80 van de vorige eeuw in het kader van de ruilverkaveling was omgezet ter verbetering van de landbouwkundige mogelijkheden. Pas na tien jaar van egalisaties na nazakking kon drainage worden aangelegd (De Groot, et al. 2021).

Verstand et al. (2020) stellen een aantal maatregelen voor om de emissie van CO₂ door veenoxidatie te beperken. Een van de conclusies is dat bij de dunnere veengronden en moerige gronden het onderwerken van veen tot onder de grondwaterspiegel een oplossing kan zijn als het veen voldoende diep wordt bedekt. 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, kunnen 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.

Verstand et al. (2020) baseren zich voor een deel op resultaten van buitenlandse studies. Voorlopige resultaten (tweejarige veldgegevens) uit Noorwegen (Figuur 17) (Hansen et al., 2016) lieten zien dat de broeikasgasemissies van het omgekeerde veenprofiel zijn verminderd in vergelijking met het gedraineerde veen. Alleen de N₂O- en CH₄-emissies werden daarbij gemeten. Verondersteld werd dat de veenafbraak en daarmee de CO₂-emissies na omkering van het profiel nihil zijn. De verschillen in N₂O- en CH₄-emissies bedroegen ongeveer 2-4 ton CO₂-eq/ha/jaar in 2015, voornamelijk veroorzaakt door lagere CH₄-emissies bij het omgekeerde profiel. Door Grønlund et al. (2006) werd in Noorwegen bij gedraineerd veengrasland een CO₂-emissie van 22 t/ha/jaar gemeten. Indien zoals verondersteld de veenafbraak en dus CO₂-emissie inderdaad geheel worden voorkomen, dan is de totale reductie ongeveer 24-26 ton CO₂-eq/ha/jaar.



Figuur 17 Het principe van het bedekken van veen met minerale bodem (Hansen et al., 2016).

De situatie in Noorwegen is klimatologisch wel duidelijk anders dan in Nederland. Het is de vraag of in het drogere Nederland een zanddeklaag van 50-70 cm dikte een voldoende dikke afsluitende laag zal opleveren om volledige afbraak van het onderliggende veen te voorkomen. Dit maakt het lastig om deze cijfers te gebruiken. Cijfers van een studie uit Engeland zijn qua klimaat beter bruikbaar (Richardson et al., 1991). Echter hier betreft het veelal vermenging i.p.v. omzetting. Per jaar zou er 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.

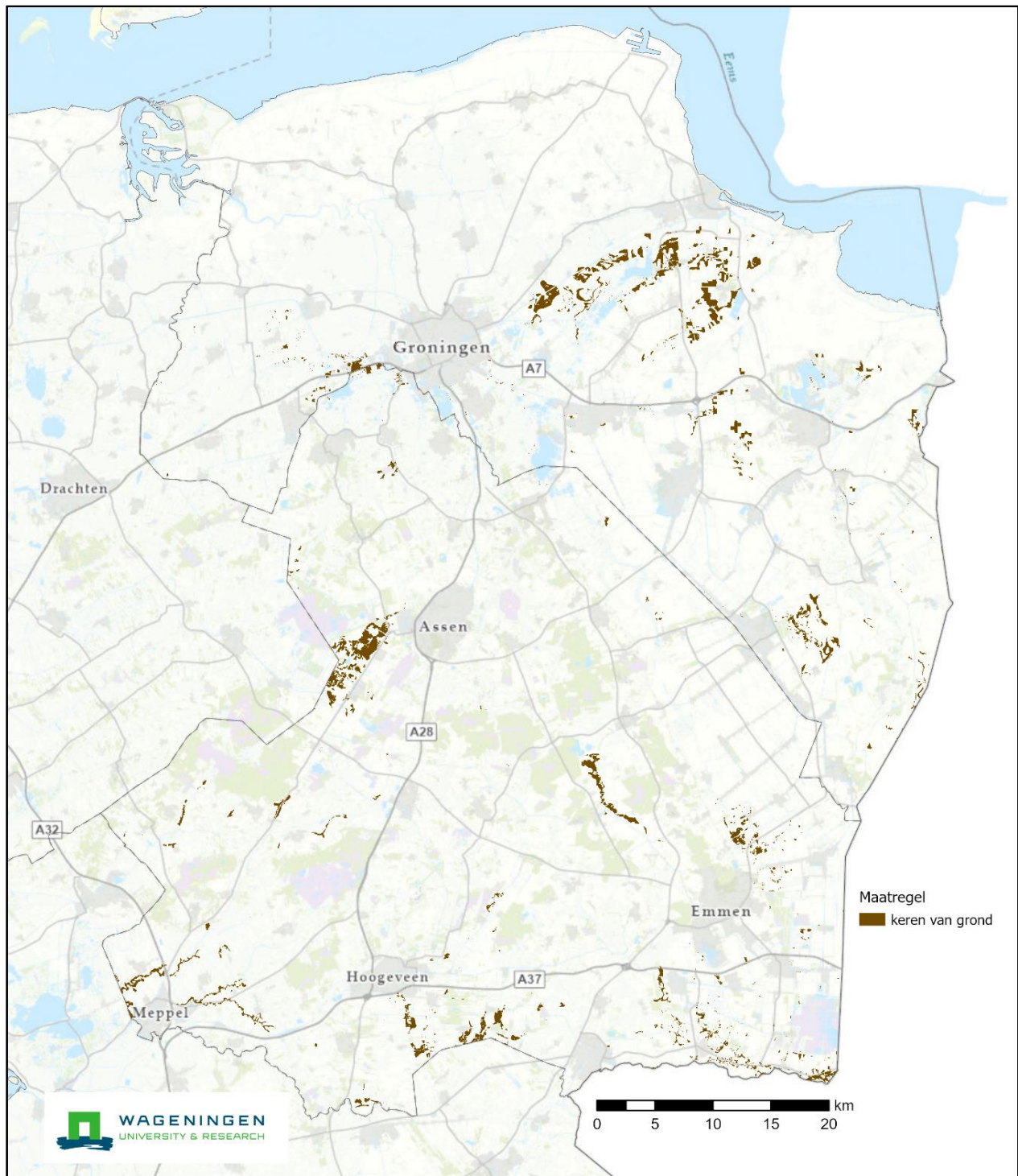
In Friesland is in 2020 onderzoek gedaan naar keren van het veenprofiel, waarbij zand uit de ondergrond naar boven werd gehaald en veen en klei naar beneden werden verplaatst (De Groot et al., 2021). Doel van de boeren was om in eerste instantie de landbouwkundige mogelijkheden te verbeteren. Bijkomend voordeel zou ook zijn dat door het veen dieper in het profiel te brengen en liefst beneden het diepste grondwaterniveau, het veen niet verder zou oxideren. De landbouwkundige waarde is duidelijk toegenomen, vooral als er ook nog gedraineerd zou worden. De chemische bodemvruchtbaarheid en het risico op uitspoeling van voedingsstoffen zijn wel toegenomen.

Bij het keren van het veenprofiel was er nog 59% van de oorspronkelijke hoeveelheid organische stof in de eerste meter aanwezig. Daarmee is er nog 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 van plm. 30% opleveren.

Bij andere bodemtypen ligt dit anders. Bij versleten veengronden en veengronden met een zandig dek als in de Veenkoloniën, waar een afdekkende kleilaag ontbreekt, zal de veenoxidatie wat hoger zijn. Kering zal dan een relatief gunstiger effect hebben. Dit hangt ook samen met de mogelijkheden om het veen gescheiden te houden en diep genoeg in het profiel te kunnen brengen. 30-50% CO₂-reductie lijkt op basis van de studie in Friesland wel mogelijk.

De potentie voor het keren van gronden wordt bepaald door gronden met een veendikte > 40 cm, omdat naar verwachting het effect dan groot genoeg is ten opzichte van de inspanning. Gronden met een GLG

(veel) dieper dan 120 cm zijn minder van belang, omdat dan de complete veenlaag erg diep in het profiel moet worden verplaatst om beneden grondwaterniveau te zitten. Er is ook geschikt zand nodig voor het keren van grond. In de Veenkoloniën komt veel zand in de ondergrond voor, maar dat geldt bijvoorbeeld niet voor veel gronden in de kustveenvlakte. Het zand moet ook niet te fijn zijn. Er is nog geen rekening gehouden met het voorkomen van zand. In het veenkoloniale gebied zal dit eerder het geval zijn dan in de kustveenvlakte. Voor gronden waarbij de veendikte groter dan 120 cm is, wordt de diepte die moet worden omgezet, te groot. Te natte gronden (GLG <80 cm) zijn ook minder geschikt voor deze fysische ingreep. En de ingreep is uiteraard uitsluitend bedoeld voor cultuurland. In Figuur 18 zijn de potentieel geschikte gronden voor het keren van het veenprofiel weergegeven. Het gaat om in totaal ruim 6000 ha geschikte grond (o.a. ruim 3000 ha agrarisch grasland en 2900 ha bouwland). Daarbij is nog niet gekeken naar de geschikte zandondergrond. In de Veenkoloniën zal dat vaker voorkomen dan in de kustveenvlakte.



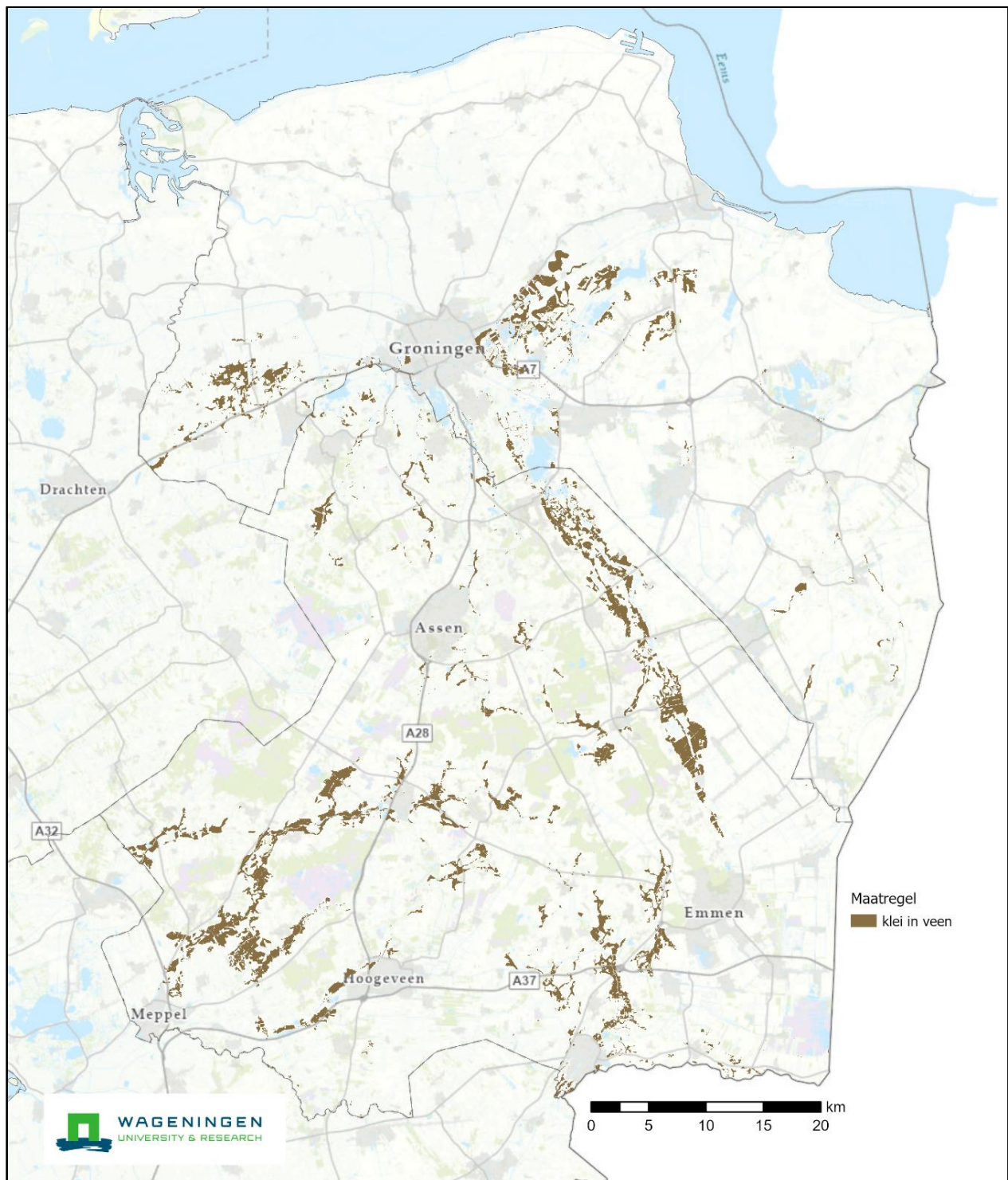
Figuur 18 Kaart met gebieden die potentieel geschikt zijn voor het keren van het veenprofiel.

3.3.2 Klei in veen

Opbrengen van kleibagger kan een andere methode zijn om veenoxidatie af te remmen. Hoe het werkt als er een relatief dunne laag kleibagger opgebracht wordt, is nog niet goed bekend. Wel is bekend dat klei zich bindt aan organische stof en zo kleihumuscomplexen vormt die de afbraak beperkt. De kleibagger zal op natuurlijke wijze (bv. op grasland of op bouwland met machines doorgemengd worden. De samenstelling van de bagger is van belang. Het doel zal vermoedelijk zijn om een fijn poriënstelsel te laten ontstaan die de diffusie van bodemgassen afremt en/of de organische stof min of meer inkapselt. Hoeveel klei daarvoor nodig is, is nog onbekend. In labexperimenten zijn CO₂-reducties van 15 tot 60% gemeten (afhankelijk van het kleitype) (Van Agtmaal et al., 2019).

Vermenging van de aanwezige organische stof met de kleibagger is dus belangrijk. In een studie in de Krimpenerwaard zijn beperkte effecten gevonden op de veenoxidatie. Dit hing o.a. samen met de kleisoort (Achtmaal et al., 2019). De situatie in Krimpenerwaard is niet zomaar vergelijkbaar met de veengebieden in Groningen en Drenthe. In de Veenkoloniën is de situatie bijvoorbeeld heel anders met een vaak zandiger samenstelling van de bovengrond. De kosten van het aanvoeren van kleibagger kunnen sterk wisselen. Toevallige overschotten door afgraving in het kader van infrastructurele werken kunnen de prijs beperken. De opbrengtechniek is ook nog niet geheel uitgekristalliseerd. In Krimpenerwaard spreekt met ook over steekvaste kleibagger die met een mestverspreider onder relatief droge omstandigheden op het land wordt gebracht. Bij proefboerderij Zegveld wordt klei ingespoeld in het veen ('klei-in-veen').

In Figuur 19 hebben we de mogelijkheden op kaart weergegeven voor het toevoegen van klei in de bovengrond. Voor het toevoegen van klei gaan we bij voorkeur uit van moerig materiaal, ondiep in het profiel (<25 cm), en een grondwaterprofiel GLG < 120 cm i.v.m. uitdrogen. Er komt ruim 17.000 ha in aanmerking voor klei bijmengen.



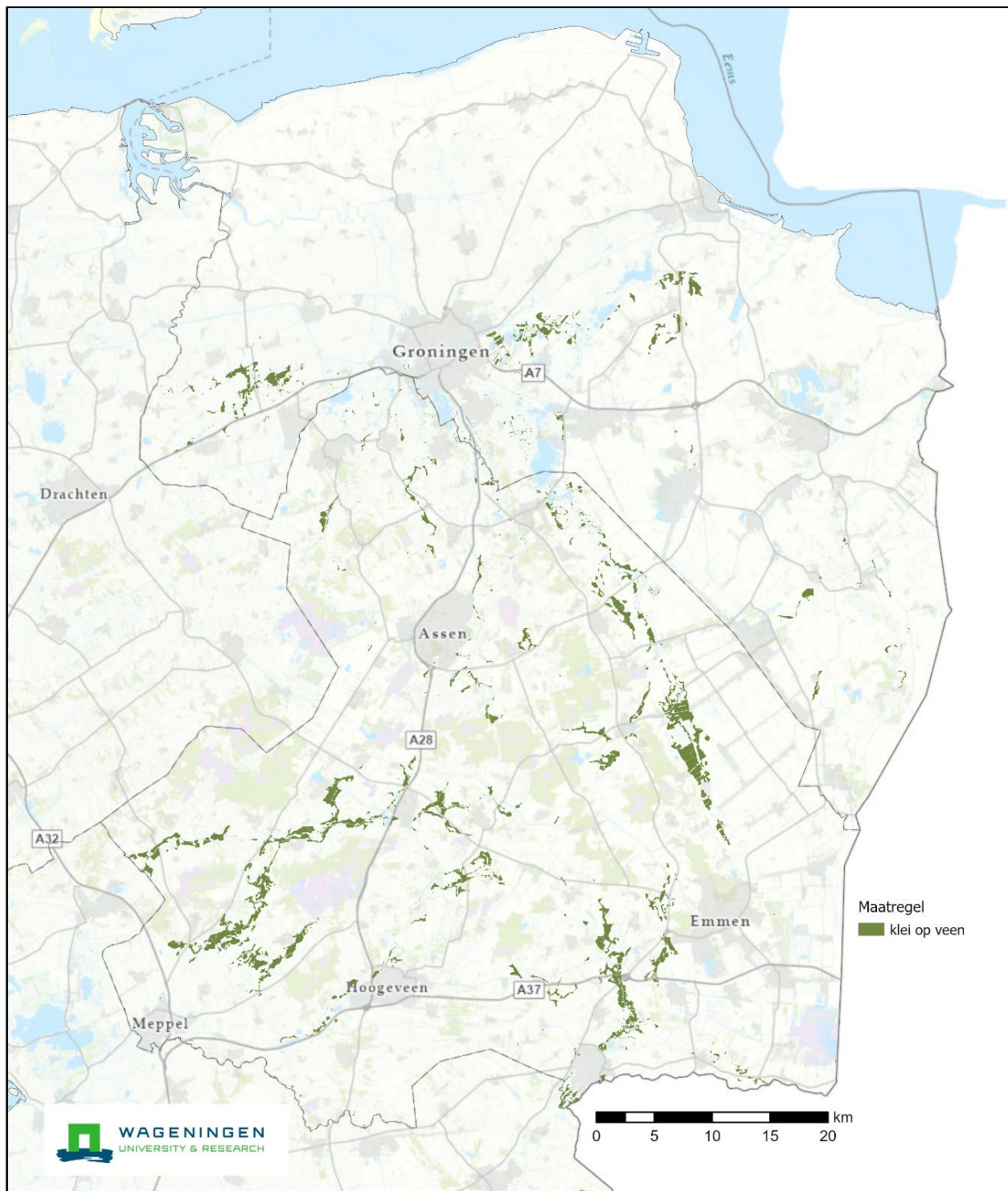
Figuur 19 Kaart met gebieden die potentieel geschikt zijn voor de maatregel klei in veen.

3.3.3 Klei op veen

Het aanbrengen van een zo dik mogelijk mineraal dek is een mogelijkheid om CO₂ te reduceren. Dit dek is meestal klei, maar mag ook zand zijn. Wel moet hierbij de grondwaterstand met net zoveel cm als de aangebrachte deklaag worden verhoogd. Dit betekent dat de huidige drooglegging in stand blijft, maar dat het veen dieper in het profiel komt te liggen. Van een luchtdichte afsluiting waardoor geen zuurstof bij het veen kan komen, is in het algemeen geen sprake. Bij uitdrogen krimpen en scheuren minerale dekken die lutum en organische stof bevatten. Alleen van dichte, fijne lemige zandgronden met een laag OS-gehalte en dichte lichte zavel kun je een zekere afdichting verwachten. Dit betekent dat de effectiviteit van het alleen aanbrengen van een mineraal dek, zonder grondwaterstandverhoging, mogelijk beperkt is.

Bij aanbrengen van bagger en zeker kleibagger moet er rekening worden gehouden dat de deklaag nog veel rijpt en veel dunner wordt. Ook 'gerijpte' bagger blijkt in de praktijk nog veel te rijpen en kan halveren in dikte. Bij bagger altijd oppassen voor vervuiling, vooral als deze bestaat uit zware metalen.

Om de potentie van deze maatregel te bepalen, zijn we uitgegaan van het aanbrengen van een kleilaag (of ander materiaal) van 30 cm. De klei moet niet te veel te veel gaan scheuren en zal een goed hydrofysisch contact met het onderliggende profiel moeten hebben. Daarom gaan we uit van een grondwaterprofiel met een GLG <120 cm. Bij diepere grondwaterstanden wordt te sterke uitdroging verwacht, waardoor scheuren tot in het veen reiken en de veenoxidatie niet of nauwelijks vermindert. Het veen moet binnen 25 cm beginnen en is minimaal 30 cm dik. In Figuur 20 zijn de geschikte plekken om klei op te brengen aangegeven. Het gaat in potentie om bijna 10.000 ha. Het gaat hierbij om agrarisch land (dit is inclusief agrarisch grasland, bouwland, fruitteelt en glastuinbouw).



Figuur 20 Kaart met gebieden die potentieel geschikt zijn voor de maatregel klei op veen.

3.4 Teelten en grondbewerking

Om op niet-klassieke veengronden de veenoxidatie tegen te gaan, is gekeken naar de inzet van andere gewassen, dus op het gebied van teelt, maar er kan ook gekeken worden wat de effecten van grondbewerking zijn op het proces van veenoxidatie. Er is in dit onderzoek niet gekeken naar technieken om meer koolstof in de bodem vast te leggen.

3.4.1 Teelten

In de gebieden met niet-klassieke veengronden in de regio Veenkoloniën en Oldambt wordt het meest geteeld conform het veenkoloniale bouwplan dat bestaat uit: aardappelen, suikerbieten, aardappelen en graan met daarna een groenbemester (Figuur 10). In vergelijking met andere veengebieden als het noordelijke Weidegebied is het grondgebruik anders verdeeld. In verhouding wordt er in de Veenkoloniën en Oldambt ca. 6,5 keer zoveel grond ingezet voor akkerbouwmatig gebruik als in het noordelijke Weidegebied (CBS, Landbouwtelling, 2020) (Tabel 6).

Tabel 6 Areaal van gewassen uit Veenkoloniale bouwplan in verschillende veengebieden (CBS, 2020).

Gebied	Aardappelen	Suikerbieten	Graan	Totaal (aardappel – suikerbieten – graan)	Grasland
Veenkoloniën en Oldambt	4045 ha	1991 ha	3257 ha	9293 ha	5126 ha
Noordelijke Weidegebied	771 ha	166 ha	511 ha	1448 ha	24.954 ha

Nieuwe teelten als zaaiui komen steeds vaker in het bouwplan voor, een groei van ca. 1650 ha in 2015 naar ca. 2400 ha in 2020 (CBS, Landbouwtelling, 2020) voor de regio Veenkoloniën en Oldambt. Zaaiui is, evenals aardappelen en suikerbieten, een rooigewas. De hoog salderende gewassen, aardappelen, suikerbieten en uien, zijn gewassen die veel van de grond vragen (voeding, water etc.). De teelt van de rooigewassen heeft ook effecten op het aantal bewerkingen in de grond en daardoor op de bodemstructuur (Smit & Jager, 2018).

Tegenover rooigewassen staat granen, een lager salderend gewas. Laag salderende gewassen zijn vaak 'maai­gewassen'. Het is noodzakelijk deze gewassen te telen om de bodem gezond te houden; dit is de reden dat deze gewassen ook wel 'rustgewassen' worden genoemd (Smit & Jager, 2018). Onder rustgewassen vallen granen, grasland, handelsgewassen, peulvruchten, groenbemestingsgewassen en groenvoeder­gewassen (exclusief snijmais).

Het rapport van Silvis & Voskuilen (2019) laat zien dat het percentage rustgewassen in Nederland is afgenomen de laatste jaren. In specifiek de Veenkoloniën en Oldambt is het aandeel rustgewassen in het bouwplan gedaald tot 38% in 2018. Dit komt niet overeen met de beschrijving van het veenkoloniale bouwplan hierboven. Dit valt te verklaren door het feit dat de gebieden Veenkoloniën en Oldambt samen zijn genomen in de beoordeling (Silvis & Voskuilen, 2019). Oldambt is van oudsher het graangebied van het noorden en zal hierdoor sterk positief bijdragen aan het percentage rustgewas. Minder rustgewassen betekent meer ruimte voor rooigewassen in het bouwplan.

De inzet van (meerjarige) maaigewassen leidt tot minder grondbewerkingen. Dit geldt zeker voor gewassen zoals luzerne of grasland. Minder grondbewerkingen betekent minder zuurstof in de grond. Vooral van het omzetten van akkerbouw, in gebieden met ondiep veen, naar grasland wordt een forse reductie (40-60%, Verstand et al. 2020)) verwacht. Deze reductie wordt alleen bereikt als hierbij de grondwaterstand sterk wordt verhoogd.

De teelt van (meerjarige) maaigewassen zal niet alleen de veenoxidatie van de restanten veen tegengaan, maar ook de kwaliteit van de bodem verbeteren. Echter is het wel belangrijk om te bedenken dat het bij voorkeur niet-diep wortelende gewassen moeten zijn. Diep wortelende gewassen kunnen ertoe leiden dat de bodem dieper uitdroogt en zuurstof dieper in de bodem doordringt.

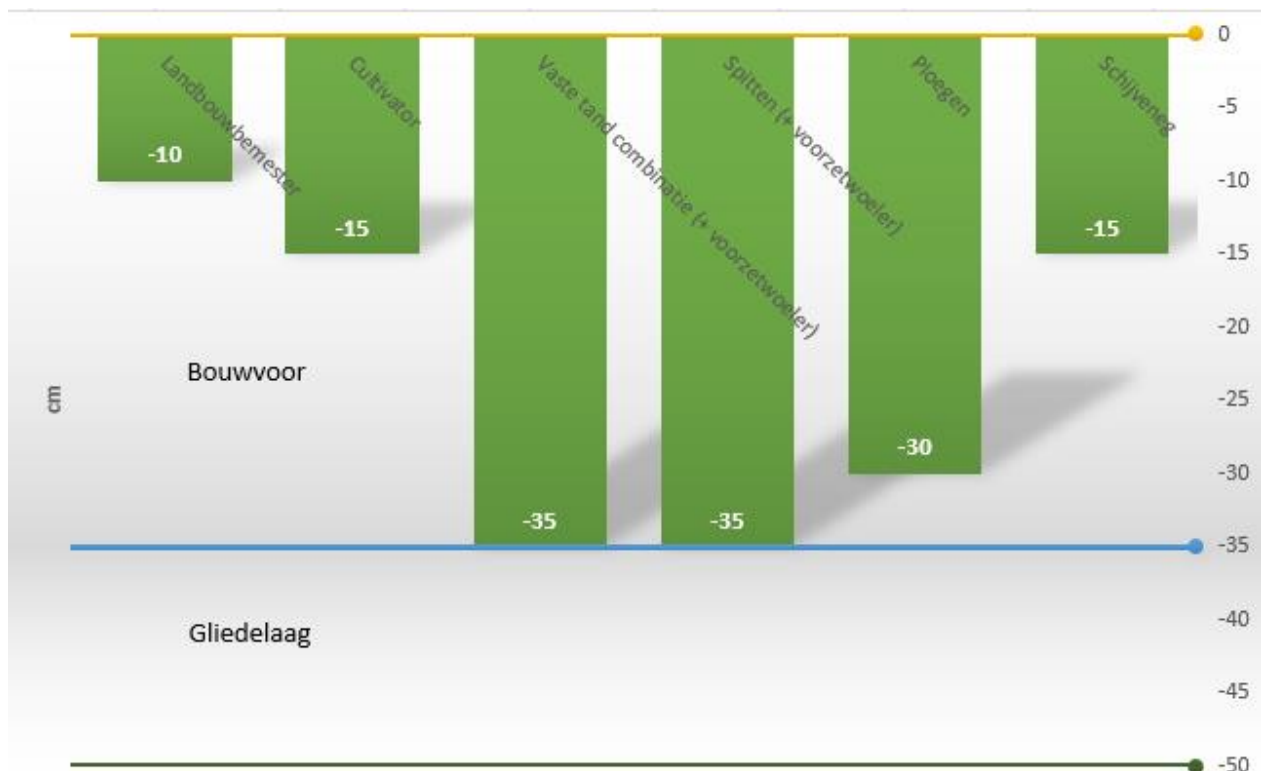
3.4.2 Grondbewerking

Een andere manier om verdere veenoxidatie te voorkomen, is het verminderen van de hoeveelheid en diepte van de grondbewerkingen. In het verleden zijn in de Veenkoloniën veel grondverbeteringswerken uitgevoerd. Het gaat hierbij om diepe grondbewerkingen, zoals diepploegen, mengwoelen of diepspitten. De bewerkingen waren nodig, omdat op de overgang van de veenlaag naar de minerale ondergrond een leem- of gliedelaag aanwezig was. Deze lagen zijn vaak niet doorlaatbaar, waardoor water stagneert en het niet bewortelbaar is voor het gewas. Daarnaast is gepoogd egalisaties op het perceel uit te voeren om variatie in gewasgroei en

afrijping op te heffen. Bij deze ingreep tot op ca. 80 cm diepte zijn de bodemlagen met elkaar vermengd (Vries & Lesschen, 2015). Bovengenoemde technieken hebben destijds tot grondverbeteringen geleid en worden nu veelal niet meer uitgevoerd omdat er te veel neveneffecten aanwezig zijn.

Voor de teelt van de meeste gewassen wordt gebruikgemaakt van drijfmest. In de Veenkoloniën wordt dit uitgevoerd in het voorjaar door een bouwlandbemester. Hiermee wordt de grond bewerkt tot een diepte van ca. 10 cm. Regelmatig wordt hierna een egaliserende bewerking uitgevoerd, dit is opnieuw oppervlakkig (10-15 cm). Dit wordt gedaan om de mest goed door te werken. Deze bewerking wordt veelal uitgevoerd met een cultivator. De hoofdgrondbewerking die volgt, wordt uitgevoerd op bouwvoordiepte (30-35 cm) met een vaste tandcombinatie of spitmachine, al dan niet gecombineerd met een voorzetwoeler. Op deze manier wordt de grond wel losgemaakt, maar niet volledig gekeerd. Er wordt in de Veenkoloniën weinig tot geen gebruikgemaakt van een kerende grondbewerking als ploegen. Een ploeg zal op tot op vergelijkbare diepte (ca. 30 cm) de grond losmaken en keren. Bij gronden waar meer ondiep veen aanwezig is in de bodem wordt de grondbewerkingsdiepte aangepast tot een minder diepe bewerking. Telers willen geen veen naar de oppervlakte halen, omdat dit met rooien van de aardappelen tot afkeur van de partij kan leiden.

Na de teelt van een aantal gewassen, vooral na een graangewas, worden groenbemesters gezaaid. De laatste jaren wordt er ook steeds vaker gekozen voor de inzaai van een groenbemester na gewassen als zaaiui ten behoeve van bodemstructuurverbetering. Voor de inzaai van de groenbemester zal een grondbewerking worden uitgevoerd. Dit wordt gedaan om de grond te egaliseren en om bijvoorbeeld ontkiemde verlieszaden onder te werken. Dit is opnieuw een ondiepe bewerking op een diepte van 10- 15 cm en kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd met een schijveneg. Een andere optie is het gebruik van een vleugenschaar cultivator. Welke machines worden ingezet, is afhankelijk van de beschikbaarheid. Voor het opheffen van storende lagen in de bodem kan een diepere grondbewerking worden uitgevoerd; veelal gebeurt dit in de stoppel van het graangewas of plaats specifiek. Er zal dan wel worden gekozen voor een diepere bewerking, maar minder intensief. Figuur 21 laat een overzicht zien van de grondbewerkingsdiepten.



Figuur 21 Grondbewerkingsdiepte verschillende machines.

Concluderend wordt er op twee tijdstippen van het jaar een grondbewerking uitgevoerd. Kijkend naar de bewerkingsdiepte is enkel de hoofdgrondbewerking van belang in relatie tot veenoxidatie. Deze diepere

bewerking zorgt voor meer zuurstof in de bodem waardoor het proces van veenoxidatie wordt versneld. Het alternatief, een ondiepere grondbewerking, zal nooit leiden tot het stilzetten van veenoxidatie, maar zal wel het proces vertragen, omdat er minder zuurstof beschikbaar is dieper in de bodem. Vanuit dit oogpunt zou een minder diepe grondbewerking enig voordeel opleveren in de snelheid van de veenoxidatie. Hoe groot dit voordeel is, is tot op heden niet onderzocht.

Bij de keuze voor enkel ondiepe grondbewerking moet worden afgewogen wat de andere gevolgen van de ondiepere bewerking zijn, zoals verdichting en verminderde gewasgroei. Er wordt veelal gekozen voor diepere hoofdgrondbewerking om verdichting in de bodem op te heffen.

Voor het opheffen van verdichting is een diepere hoofdgrondbewerking noodzakelijk. Bij gebruik van een vaste tandcombinatie heeft het type tand invloed op de hoeveelheid zuurstof die in de bodem wordt gebracht. Bij een gebogen tand wordt de grond meer gemengd en komt er naar verwachting meer zuurstof in de grond in vergelijking met het gebruik van een rechte tand die de grond meer doorsnijdt. De grond wordt dan minder gemengd, waardoor er minder zuurstof in de bodem komt. Maar alle vormen van diepere grondbewerkingen zorgen voor zuurstof in de bodem, en dus voor veenoxidatie. Hoe groot het effect is van het type tand op het vrijkomen van de vastgelegde CO₂, is niet onderzocht. Experts verwachten dat het type machine weinig verschil maakt in het vrijkomen van vastgelegd CO₂.

In het gesprek met leveranciers voor landbouwmachines en een aantal telers uit de regio, is een beeld verkregen welke machines veel worden verkocht en of er innovaties zijn op het gebied van veenoxidatie bij de ontwikkeling van machines. In gesprek met Evers Agro B.V. en McConnell komt naar voren dat er geen innovaties plaatsvinden in de ontwikkeling van machines speciaal gericht op het reduceren van veenoxidatie (De Boer et al., 2018).

De laatste jaren wordt er meer gekozen voor het gebruik van een rechte tand, op deze manier wordt wel de bodemverdichting opgeheven, maar de bodem wordt niet gekeerd en het bodemprofiel wordt behouden. In vergelijking met de inzet van een gebogen tand, zou dit een positief effect kunnen hebben op het proces van veenoxidatie. Goede kennis over de veendiepte van het perceel kan worden gebruikt om op basis van deze hoogte een variabele grondbewerkingsdiepte te kiezen.

Bodemverdichting is een voorbeeld waarop machinekeuze wordt bepaald. Veelal heeft een dergelijke redenatie en machinekeuze een direct financieel gevolg. Andere belangen spelen een grotere rol in de machine keuze. Veenoxidatie is iets wat 'ver van het bed' van telers staat. Mogelijk wordt de inzet van machines in de toekomst anders, mocht er bijvoorbeeld een beloning voor telers tegenover staan om het proces van veenoxidatie tegen te gaan.

3.5 Maatregelen voor beekdalen

Veengronden in beekdalen staan vrijwel nooit op zichzelf, maar zijn een integraal onderdeel van het stroomgebied van het totale beeksysteem. Ingrenen in de bovenloop van de beek kunnen de hydrologie in de benedenloop van het beekdal beïnvloeden en ook ingrenen in de benedenloop van de beek hebben dikwijls stroomopwaarts een effect. De hydrologie van een veenbodem op een bepaalde plek in het beekdal staat onder invloed van de neerslag die daar ter plekke valt, het afvoerregiem van de beek en daarvan afgeleid het beekpeil, kwel en wegzijging, het lokale drainagestelsel van greppels en sloten en de bodemopbouw. Veel beekdalen met een veenvulling bestaan uit een diepe dalinsnijding met een dik pakket veen in het centrum van het dal met op de dalflanken, de randzone van het dal veel dunnere veenlagen (Figuur 6). Het veen in de randzone van het dal kan zowel vlak liggen als op een helling. De maatregelen hangen daarom samen met de positie in het beekdal.

Daarnaast spelen ook de functie en het bodemgebruik een rol. Een deel van de veengronden in beekdalen heeft de functie natuur (NNN en/of N2000). Van deze gronden kan een deel daadwerkelijk geclassificeerd worden als natuur, maar ook een deel is nog niet als zodanig in beheer of ingericht.

Een ander deel van de veengronden in beekdalen is in landbouwkundig gebruik. Dit geldt zowel voor de beekdalen met dikke veengronden als de dunnere veengronden op de flanken van het dal. Niet alle

maatregelen kunnen overal worden uitgevoerd en de impact van maatregelen op de hydrologische situatie kan er ook voor zorgen dat bijvoorbeeld intensief agrarisch landgebruik in het centrale deel van het beekdal niet meer mogelijk is.

3.5.1 Maatregelen Beekdalen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende clusters van maatregelen voor verschillende locaties in het beekstelsel bij verschillend landgebruik/functie. Voor de dikke veengronden in het centrale deel van het dal hebben de maatregelen vooral betrekking op de hoofdloop van de beek. Op de dalvlakte en de dalhelling hebben de maatregelen vooral betrekking op het verlagen van de (versnelde) afvoer van grondwater (kwel) via sloten, greppels en drainage. Het verschil tussen de maatregelen in natuurgebieden en landbouwgebieden heeft vooral te maken met de kwaliteit van het oppervlaktewater. Het beekwater is (nog altijd) te rijk aan nutriënten (N en P) voor de na te streven natuurdoelen. Uit onderzoek in regelmatig overstroomde beekdalen komt afzetting van fosforrijk beekslib naar voren als belangrijkste oorzaak voor de relatief hoge P-gehalten in beekdaloverstromingsvlaktes (Runhaar & Jansen, 2004; Sival et al., 2010). Inundatie met beekwater wordt om die redenen in natuurgebieden zo veel mogelijk vermeden. Alleen in situaties met een zeer hoge en permanente kwelflux kan er na de uitvoering van vernattingsmaatregelen nauwelijks nutriënt houdend beekwater in de bodem infiltreren. Voor landbouwgebieden is dit niet van belang en kan inundatie met beekwater en de eventuele aanvoer van slib juist als een maatregel ter bescherming van het veen worden gezien.

Maatregelen voor vernatting in de beek in natuurterreinen

Deze maatregelen zijn erop gericht de drainagebasis van het beekstelsel te verhogen waarbij rekening wordt gehouden met kwetsbare natuurwaarden in het beekdal.

- Het verhogen van de drainagebasis van de beek beoogt een verhoging van de grondwaterstand in het centrale deel van het beekdal ter weerszijden van de beek, daar waar het veenpakket relatief dik is (Figuur 6).
- Verondiepen van de beekbedding tot enkele decimeters onder het maaiveld van de beekdalvlakte door het suppleren in de beek van systeemeigen materiaal (meestal zand; Figuur 22). Het suppletiemateriaal kan op verschillende manieren worden aangebracht: rechtstreeks vanaf de oever de beek in, verpompen van een slurrie vanuit een of meerdere opstellingen langs de beek of door het inbrengen van sediment in de bovenloop en het via natuurlijk sedimenttransport door de beek zelf laten verplaatsen. In veel gevallen is de draagkracht van de veenbodem te laag om het materiaal rechtstreeks van de oever in de beek aan te brengen.
- Verhogen van de hydraulische ruwheid van de bedding door de inbreng van hout(pakketten) en takken(bossen), waardoor de bedding opslibt en er een verhoging van het beekpeil optreedt.
- Stopzetten of verlagen van de onderhoudsintensiteit van de beek waardoor door vegetatieontwikkeling in de bedding de hydraulische weerstand toeneemt, de afvoer vertraagt en het beekpeil verhoogt. Laagdynamische delen van het beekdal met een sterke kwelflux kunnen tot een doorstroommoeras ontwikkelen.
- Inundatie van delen van het beekdal door toename van de hydraulische weerstand in de geul door bijvoorbeeld beverdammen.



Figuur 22 Beddingverhoging door zandsuppletie in het Anlooër Diepje.

Maatregelen voor vernatting in de beek in landbouwgebieden

- Herprofileren van het doorstroomprofiel van genormaliseerde en overgedimensioneerde beekbeddingen door niet alleen de bedding te verondiepen, maar deze ook te versmallen. In sommige gevallen is het herstellen van het (kleinere) historische beekprofiel een betere optie. Hermeanderen in enkele beekdalen wordt afgeraden, omdat dit leidt tot een toename van de drainage in het beekdal.
- Verlagen onderhoudsintensiteit waardoor door vegetatieontwikkeling in de bedding de hydraulische weerstand toeneemt, de afvoer vertraagt en het beekpeil verhoogt.
- Actief bevorderen van de inundatie van het beekdal door de aanleg van een vloeiwedensysteem. Door een regelmatige aanvoer en sedimentatie van lutumhoudend slib over de veenbodem kan zich in de toplaag een kleihumuscomplex vormen (zie ook Figuur 19). Langdurige inundatie is niet aan te bevelen, omdat daardoor de emissie van CH_4 wordt gestimuleerd.

Maatregelen voor vernatting in het centrale deel van het beekdal in natuurterreinen

Deze maatregelen zijn erop gericht een snelle afvoer van kwelwater uit het dal te vertragen en de drainagebasis in het beekdal te verhogen zonder daarbij natuurwaarden van het beekdal aan te tasten.

- Het afsluiten aan de beekzijde of volledig dempen van lokale sloten en greppels in het beekdal (Figuur 23).
- Het staken van onderhoud aan de greppels waardoor deze dichtgroeien en verlanden.
- Verminderen van de drainerende werking van (diepe) sloten met een doorvoerfunctie van oppervlaktewater vanaf de beekdalflank naar de beek, door te verondiepen, bekleden met leem, of vervanging door een buis. Eutroof oppervlaktewater (landbouw), dat hierdoor vanaf de dalrand naar de beek moet worden afgevoerd, tussen dammen leiden of via een buis naar de beek laten stromen. Dit voorkomt dat eutroof oppervlaktewater zich over het maaiveld in het vernatte beekdal verspreidt.



Figuur 23 IJzerrijke kwel aan maaiveld als gevolg van het dempen van greppels in de venige beekdalvlakte (Drentsche Aa, 2011).

Maatregelen voor vernatting in het centrale deel van het beekdal in landbouwgebieden

Deze maatregelen zijn erop gericht een snelle afvoer van kwelwater uit het dal te vertragen en de drainagebasis in dal beekdal te verhogen.

- Het afsluiten aan de beekzijde (ook alleen in de zomer), verondiepen of volledig dempen van lokale sloten en greppels en het verwijderen of dichten van buisdrainage in het beekdal.

Maatregelen voor vernatting in de randzone van het beekdal in natuurterreinen

Deze maatregelen zijn erop gericht de toestroom van grondwater naar het beekdal te vergroten zonder daarbij de natuurwaarden aan te tasten:

- Dempen of verondiepen van sloten, verwijderen of verondiepen van buisdrainage.
- Het tegengaan van instroom van oppervlakkig afstromend water uit aan het dal grenzende landbouwpercelen, met dammetjes en bufferzones.
- Verminderen en/of stoppen van grondwateronttrekking voor beregening in de directe omgeving van het dal.
- Verminderen, verplaatsen of stoppen van permanente grondwateronttrekkingen in de directe omgeving van het dal.
- Actief infiltreren van het neerslagoverschot in de ondergrond teneinde de grondwateraanvulling te vergroten. Deze maatregel is in de beekdallandschappen nog niet toegepast. De effecten op grondwaterkwaliteit zijn daarbij een belangrijk aandachtspunt.

Maatregelen voor vernatting in de randzone van het beekdal in landbouwgebieden

Deze maatregelen zijn erop gericht de toestroom van grondwater naar het beekdal te vergroten. Door de toepassing van deze maatregelen in landbouwgebieden kunnen ook de natuurwaarden in aangrenzende natuurterreinen meeprofitieren.

- Dempen of verondiepen van sloten, verwijderen of verondiepen van buisdrainage.
- Verminderen en/of stoppen van grondwateronttrekking voor beregening in de directe omgeving van het dal.

- Verminderen, verplaatsen of stoppen van permanente grondwateronttrekkingen in de directe omgeving van het dal.
- De aanleg van opvangbekkens voor aangevoerd nutriëntenrijk oppervlaktewater met als doel 1) het bufferen van piekafvoeren, 2) het bezinken van nutriëntenrijk slib, en 3) het bevorderen van het klei-humuscomplex in veengronden met een agrarisch landgebruik.
- Actief infiltreren van het neerslagoverschot in de ondergrond teneinde de grondwateraanvulling te vergroten. Deze maatregel is in de beekdallandschappen nog niet toegepast. De effecten op grondwaterkwaliteit zijn daarbij een belangrijk aandachtspunt.

Maatregelen voor vernatting op stroomgebiedsschaal

Op het niveau van het stroomgebied zijn maatregelen te nemen die doorwerken in de hydrologie van het totale gebied.

- Verminderen van diepe ontwatering in de inzijsgebieden voor verhoging van stijghoogten en daarmee een sterkere kwelflux in beekdalen.
- Verminderen en stoppen van grondwateronttrekking voor beregening.
- Verminderen, verplaatsen of stoppen van permanente grondwateronttrekkingen.
- Verlagen van piekafvoeren op de beek door verminderen van ontwatering en/of bevorderen van waterberging in de haarvaten van het beeksysteem. Hiermee wordt ook voorkomen dat beektrajecten in perioden van extreme droogte langdurig droogvallen waardoor ook het freatische grondwater langs de beek langer op peil blijft. Tevens wordt door het afvlakken van de piekafvoeren voorkomen dat nutriëntenrijk beekwater in vernalte beekdaltrajecten ongecontroleerd waardevolle natuur inundeert/vermest.

In Tabel 7 staat de oppervlakteverdeling van gebieden in beekdalen (afhankelijk van GLG en voorkomen van veen) met de mogelijkheden om met hydrologische maatregelen (GLG met 20cm verhogen) veen te conserveren (zie voor nadere uitleg van de methodiek paragraaf 3.2.4). Veengronden met enige potentie (beperkt tot ruim) om met hydrologische maatregelen veen te vernatten, beslaan samen ruim 5.500 ha. Dit zijn gronden met veen op de juiste diepte en een GLG binnen 120 cm -mv. Als de GLG te diep is, is het lastig om het grondwaterniveau te verhogen. Het is ook van belang dat er voldoende veen in de buurt van het diepste grondwaterniveau zit, zodat er bij stijging van het grondwaterniveau meer veen permanent onder water komt. Ook moet het veen niet te diep liggen. Het hangt sterk af van de beschikbaarheid van water dat leidt tot een stijging van het laagste grondwaterniveau, via bv. de aanvoer van de beek of kwel en de mate van peilbeheersing, óf deze hydrologische maatregel kan worden gerealiseerd.

Tabel 7 Oppervlakteverdeling van de gebieden in beekdalen naar GLG en veendikte (van gronden met veen) met de mogelijkheden om met een verhoging van de GLG met 20 cm, veen te conserveren.

Mogelijkheden	Oppervlakte (ha)	Veendikte			Eindtotaal
	GLG	25-40cm	40-80cm	80-120cm	
ruim		9	957	646	1612
	0-50cm	9	26	26	35
	50-80cm		48	233	281
	80-120cm		909	386	1295
beperkt		36		3895	3932
	50-80cm	36			37
	80-120cm			3895	3895
weinig		6121	695	1030	7846
	0-50cm	5	2	4	11
	50-80cm	122			122
	80-120cm	3062			3062
	120-180cm	2819	662	938	4439
	>180cm	112	31	68	211
	Eindtotaal	6167	1652	5571	13389

3.5.2 Effectiviteit beekdalmaatregelen

De effectiviteit van vernattingsmaatregelen in beekdalen is uitgebreid onderzocht in het Gastersche Diep, een van de beekdalen van het Drentsche Aa-systeem (Aggenbach et al., 2021). Al vanaf de jaren negentig van de vorige eeuw is men hier gestopt met het opschonen van de detailontwatering in het beekdal. In de periode 2004-2008 werden vervolgens de ontwateringssloten gedempt. Om het beekpeil te verhogen, zijn in de beekbedding in 1997 lage drempels (voordes) geplaatst en in 2008 over relatief korte beektrajecten boomstronken en takkenbossen aangebracht (Figuur 24). Met uitzondering van enkele sloten voor de afvoer van drainagewater van de Hondsrug naar de beek zijn vrijwel alle andere sloten hier gedempt. Vanaf eind 1990 tot 2019 is de waterstand in de bovenste veenlaag in de sterkst vernatte delen geleidelijk gestegen met maximaal 28 cm. Deze stijging trad al op voordat de lokale ontwatering was gedempt en wordt vooral toegeschreven aan het stoppen van het slootonderhoud. De stijging van de waterstand leidt ook tot een langzame stijging van het maaiveld door het opzwellen van het veen. In sterk vernatte delen bedroeg de berekende gemiddelde maaiveldstijging 0,5 tot 1,5 cm per jaar gedurende de periode 1997-2016. De oorzaak van de maaiveldstijging wordt toegeschreven aan gasvorming in de bodemtoplaag. In ieder geval in de eerste jaren zal zwel van het uitgedroogde veen ook een belangrijk aandeel in de maaiveldstijging hebben.

Actieve veenvorming wordt niet aannemelijk geacht, omdat dit proces in het algemeen veel langzamer verloopt. Uit het onderzoek bleek dat de beekpeilverhogende maatregelen (voordes en houtpakketten) maar in geringe mate hebben bijgedragen aan de vernatting van het beekdal, omdat het peilverhogende effect van enkele decimeters in vergelijking met het verschil tussen beekpeil en dalvlakte van ca. 1,0-1,5 m te gering was. Verhoging van de beekbedding door middel van zandsuppletie zou in dit geval waarschijnlijk meer effect hebben gehad op de waterstand. Hiermee wordt nu geëxperimenteerd in drie pilots in de Drentsche Aa: het Anlooër Diepje, Zeegserloopje en het Taarlosche Diep. De monitoringsresultaten van de zandsuppletie op de grondwaterstand zijn nog niet bekend.

De conclusie is dat met dempen van de lokale ontwateringssloten beekdalen met een sterke kwelflux in belangrijke mate kunnen vernatten en dat waterstanden tot aan of boven het maaiveld kunnen worden bereikt. In beekdalen met lagere kwelfluxen, en zeker in beekdalen die tegenwoordig netto infiltrerend zijn geworden, zijn lokale maatregelen alleen niet afdoende om hoge en stabiele waterstanden te herstellen. Hiervoor zijn ook maatregelen op de schaal van het stroomgebied nodig.

De bovengenoemd vernatting is noodzakelijk om de in de veenbodem opgeslagen koolstof zoveel mogelijk vast te houden. Uit onderzoek van Günther et al. (2020) is vast komen te staan dat vernatting van beekdalen leidt tot een flinke reductie van de uitstoot van CO₂. Recente berekeningen hebben ook aangetoond dat de CO₂-winst niet teniet wordt gedaan door een toename van de uitstoot van methaangas (CH₄). Wel zal er voor moeten worden gezorgd dat in een transitieperiode van landbouw naar natuur de te verwachten boost aan broeikasgassen beperkt blijft (Couwenberg et al., 2008).



Figuur 24 Het inbrengen van houtpakketten in het Gastersche Diep om het beekpeil te verhogen, heeft op de langere termijn weinig effect op vernatting.

3.6 Preventieve maatregelen

De maatregelen in de voorgaande paragrafen zijn gericht op het actief reduceren van de veenoxidatie. Daarnaast zijn er ook maatregelen die moeten voorkomen dat de huidige veenoxidatie wordt versterkt:

Hydrologisch

- Het niet te ver uit laten zakken van de grondwaterstand (GLG) in droge perioden in de zomer. Dit betekent dat oppervlaktepeilen in het voorjaar en zomer voldoende hoog gehouden moeten worden.
- Het niet verder verlagen van het oppervlaktewaterpeil om de drooglegging te handhaven bij voortgaande bodemdaling (veroorzaakt door o.a. veenoxidatie) (zie passief peilbeheer, paragraaf 3.2.1). Dit betekent dat de drooglegging in de loop der jaren minder wordt, waardoor bepaalde teelten natschade kunnen krijgen of dat gronden minder goed bewerkt kunnen worden.

Grondbewerking en teelten

- Het tegengaan van intensieve vormen van bodembewerking zoals ploegen, mengen van de veengrond met het klei- of zanddek, spitsfreen. Maatregelen om veengronden machinaal om te werken en te bedekken met zand of klei uit de ondergrond zijn niet effectief als een aanzienlijk deel van het veen door de bovengrond gemengd wordt.
- Het tegengaan van de teelt van (diep wortelende) akkerbouwgewassen en mais in veengebieden; door de beluchting van de bodem door de wortelgangen zal het veen mineraliseren neemt de CO₂-emissie toe.
- Het tegengaan van de omzetting van grasland naar akkerland.

Beekdalen

- Het graven van 'afvoerslenken' en plaggen van nutriëntrijke beekdalgronden is niet zonder risico. Het kan een averechts effect hebben op de vernatting wegens de drainerende werking. Door het plaggen van veengronden om beekdalgraslanden te vernatten en te verschralen, wordt na plaggen een zeer vruchtbare, veelal sterk organische laag blootgesteld aan de lucht. Indien de weersomstandigheden of de lokale hydrologie niet gunstig zijn, kan vervolgens een sterke mineralisatie van het veen en CO₂-emissie optreden. Bij onoordeelkundige vernatting dreigen grote emissies van CH₄ en N₂O. De organische stofrijke plaggen vertegenwoordigen ook een enorme hoeveelheid CO₂ en/of CH₄ en bij opslag of verwerking elders moet worden voorkomen dat deze broeikasgassen vrijkomen.
- De aanleg of onderhoud van greppels om neerslaglenzen tegen te gaan, heeft een averechts effect (werkt verzurend en verdrogend).
- Afgraven van het klei- of zanddek voor natuurontwikkeling of waterberging. Veenlagen die bedekt lagen onder een afdekkend pakket komen daardoor aan maaiveld te liggen en worden aan de lucht blootgesteld. In droge perioden kan dit leiden tot een toename van de CO₂-emissie.

4 Beoordelen maatregelen

In de voorgaande hoofdstukken zijn de diverse maatregelen beschreven. De methoden verschillen sterk met betrekking tot de toepasbaarheid voor de diverse veentypes, de uitvoerbaarheid, de stand van de techniek en de kosten die ermee gemoeid zijn. Een deel van de kenmerken is kwantitatief ingevuld op basis van beschikbare data uit pilots; andere zijn meer kwalitatief beoordeeld op basis van het oordeel van experts.

4.1 Toetsen individuele maatregelen

De individuele maatregelen zijn getoetst op diverse kenmerken (Tabel 8), zoals:

- Effectiviteit om CO₂ te reduceren. De effectiviteit kan bepaald worden aan de hand van pilots waarbij de reductie is gemeten (beperkt) of is berekend met modellen. Bij gebrek aan informatie over de reductie, kan meer indirect de effectiviteit worden beoordeeld op o.a. de mate waarin de GLG kan worden beïnvloed, de reductie van de maaiveldaling (gemeten of berekend) of de beperking van de mate waarin er zuurstof bij het veen kan komen. De effectiviteit wordt uitgedrukt in potentiële CO₂-reductie (%). Het gaat hierbij om de reductie door het beperken van de veenoxidatie en niet die van andere maatregelen om koolstof vast te leggen.
- Kosten. De maatregelen liggen op diverse schalen; zo zijn er die liggen op perceelniveau, terwijl andere meer op peilvakniveau liggen. Dit betekent ook dat de kosten bij verschillende partijen (agrariër, natuurbeheerder, waterschap) kunnen komen te liggen. Om de kosten goed te kunnen beoordelen, zouden eigenlijk de totale kosten over een periode moeten worden bepaald (aanleg, onderhoud en beheer). Vanwege de complexiteit wordt hier gekozen om een inschatting te doen van de directe investeringskosten. Aanvullende maatschappelijke kosten, bv. de aanvoer van gebiedsvreemd water, worden voor individuele maatregelen niet meegenomen. Naast kosten kunnen er inkomsten zijn in de vorm van CO₂-certificaten (Valuta voor veen, 2022). Deze baten zijn in dit onderzoek niet meegenomen.
- Stand van de techniek. De diverse maatregelen zitten allemaal in een verschillende fase van technische ontwikkeling. Sommige bestaan alleen op de tekentafel, terwijl andere al veelvuldig in de praktijk zijn getest. Een methode om de rijpheid van een methode te toetsen, zijn de zogenaamde TRL-schalen (Technology readiness levels) zoals vastgesteld door de EU-commissie. De schaal gaat van 1: "een eerste idee van de basisprincipes" tot 9 "uitgebreid getest in praktijk".
- Maatschappelijke en sociale acceptatie. De maatschappelijke en sociale acceptatie zal voor een belangrijk deel afhankelijk zijn van de neveneffecten die andere stakeholders ondervinden en waardoor opschaling kan worden belemmerd. Neveneffecten kunnen liggen op het ontstaan van schade door bv. een verhoogde grondwaterstand, maar ook op zaken als het aantasten van landschappelijke, cultuurtechnische en aardkundige waarden. De schaal gaat van hoge acceptatie (5) naar veel weerstand (1).
- Opschaalbaarheid. Is de maatregel ook technisch toepasbaar op een meer regionale schaal en met welk tempo kan de maatregel worden ingevoerd? Daarnaast kan ook bestaande wet- en regelgeving belemmerend werken in de opschaling. Opschaalbaarheid zegt niets over de mate waarin een techniek kan worden toegepast. De schaal gaat van hoge (5) naar zeer beperkte opschaalbaarheid (1).

Tabel 8 Vergelijking diverse methoden voor reductie van veenoxidatie.

Techniek/kenmerken	CO ₂ -reductie (%) ¹	Kosten (€/ha)	TRI	Acceptatie	Opschaling
Hydrologisch					
Dynamisch peilbeheer	5-10	hoog	8	2	3
Onderwaterdrainage	15-50	2.500-3.000 ²	7	3	1
Drukdrainage	15-50	6.000-7.500 ³	7	3	3
Civieltechnisch					
Keren van grond	30-50	7.000-12.000	6	2	3
Klei in veen	15-60	100-1.000	4	3	2
Klei op veen	10-50	hoog	5	2	2
Teelttechnisch					
Wijziging teelten	5-60 ⁴	laag	9	3	4
Minder diepe grondbewerking	5-10 ⁵	laag	9	3	5
Beekdalen					
Verondiepen beekbedding d.m.v. suppletie	?	hoog (12.5-263 €/m ³) ⁶	7	3	5
Inbreng van houtpakketten/voordes	?	laag (800 per stuk) ⁷	8	4	4
Herprofilering genormaliseerde beek	?	hoog (38.000-55.000) ⁸	9	4	4
Dempen sloten /greppels	?	matig	9	4	4
Afsluiten sloten/ greppels	?	laag	9	4	4
Verlagen onderhoudsintensiteit	?	laag	7	3	4

Een vergelijking tussen de diverse technieken is complex, mede doordat er een groot verschil zit in de mate waarin een technologie onder diverse omstandigheden is getest. In zijn algemeenheid kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er is een grote bandbreedte in de te verwachten CO₂-reductie van de technieken. De meeste technieken hebben de potentie om 10-50% reductie te bewerkstelligen, hoewel van sommige maatregelen de reductie onbekend is. Omdat in de praktijk de omstandigheden veel minder gunstig zijn (bv. minder vernatting, minder effectieve omwerking), kan de uitstoot in werkelijkheid aanzienlijk lager zijn.
- In zijn algemeenheid geldt dat er te weinig is gemeten aan CO₂-, N₂O- en CH₄-uitstoot en de invloed van maatregelen daarbij. In het kader van het project NOBV wordt tussen 2020-2024 gemeten aan CO₂-uitstoot uit klassieke veenweidegronden (www.nobveenweiden.nl/).
- De kosten van een techniek zijn soms bekend, omdat er al veel ervaring mee is opgedaan op perceelniveau (onderwaterdrainage). Van andere maatregelen is alleen een wat subjectieve beoordeling in laag/hoog gemaakt. Verder is het voor een goede beoordeling ook belangrijk de maatschappelijke kosten (bv. aanvoer gebiedsvreemd water of ander landgebruik) mee te nemen.
- De meeste technieken zijn al in het veld getest en daarmee zijn de belangrijkste technische knelpunten opgelost of herkend. Wel is het mogelijk dat als maatregelen worden opgeschaald naar hele gebieden, er nieuwe technische uitdagingen naar voren komen (bv. het grootschalig aanvoeren van gebiedsvreemd water of klei/bagger).
- Een belangrijk onderdeel van acceptatie wordt bepaald of een maatregel gaat leiden tot ander landgebruik. Een deel van de vernattingsmaatregelen en maatregelen om gronden te keren zal tot gevolg hebben dat de bestaande teelten minder opbrengen of dat andere teelt moet worden gekozen. Deze teelten moeten wel economisch levensvatbaar zijn.

¹ Gebaseerd op literatuur; waar literatuurverwijzing ontbreekt, is het gebaseerd op het oordeel van experts.

² NKB, 2020.

³ Hoving et al., 2020.

⁴ De reductie wordt voor een belangrijk deel bepaald door de hogere grondwaterstand die mogelijk is bij bepaalde gewassen.

⁵ Sterk afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van veen in de bouwvoor (0-35 cm -mv).

⁶ Opgave waterschap Hunze en Aa's en waterschap Vallei en Veluwe.

⁷ Opgave waterschap Vallei en Veluwe.

⁸ Van Hattum en Maas, 2013.

- De meeste maatregelen zijn nog maar beperkt opschaalbaar. Voor een deel wordt dit veroorzaakt dat er ook aanpassingen buiten het perceel moeten plaatsvinden en dat daarvan de gevolgen en de kosten onduidelijk zijn. Verder zijn er ook maatregelen die aanlopen tegen 'fysieke' beperkingen, zoals de beschikbaarheid van klei voor het aanbrengen van een kleidek.

4.2 Toepasbaarheid maatregelen en CO₂-reductiemogelijkheden

In de voorgaande hoofdstukken zijn diverse specifieke maatregelen beschreven en is aangegeven waar deze maatregelen mogelijk kunnen worden toegepast. Wanneer de diverse maatregelenkaarten worden gecombineerd, wordt duidelijk dat op ca. 50% van de niet-klassieke veengronden met een of meerdere maatregelen de CO₂-uitstoot kan worden verminderd (Figuur 25). De belangrijkste beperkingen van de toepasbaarheid zijn:

- In een gedeelte van het gebied is geen wateraanvoer mogelijk (Figuur 9) waardoor er niet effectief kan worden vernat;
- Het veen ligt te ondiep in het profiel waardoor vernatting niet mogelijk is;
- De veenlaag is te dun waardoor het keren en vernatten niet effectief is;
- In natuurgebieden zijn civieltechnische maatregelen vooralsnog uitgesloten.

Tabel 9 Toepasbaarheid van diverse maatregelen per grondsoort.

Maatregel	Aantal ha inzetbaar (onafhankelijk van grondsoort)	Veengronden (ha)	Veengronden met dun kleidek (25-40 cm) (ha)	Gronden met dik kleidek (60-80 cm) op veen (ha)	Moerige gronden (ha)	Versleten moerige gronden/ minerale gronden (ha)
Vernatten 40 cm	21.030	11.623	2.309	5.795	499	803
Keren van gronden	6.482	3.859	1.307	1.284	-	-
Klei in veen	17.038	9.129	-	-	7.488	421
Klei op veen	9.550	9.129	-	-		421
Totaal inzetbaar (ha)		33.740	3.616	7.079	7.987	1.645
Totaal (bodem-kaart) (ha)		33.335	2.640	10.926	62.520	4.527
% bereikbaar		101%	137%	65%	13%	36%

In Tabel 9 is aangegeven welke maatregelen op welk bodemtype kunnen worden toegepast. De diverse maatregelen zijn per bodemtype opgeteld ("Totaal Inzetbaar" ha.) en vergeleken met de oppervlakte waar een bepaald bodemtype voorkomt ("Totaal Bodemkaart" ha.) Door deze getallen op elkaar te delen, wordt berekend hoeveel van een bepaald bodemtype met de diverse maatregelen kan worden bereikt. Als het percentage lager is dan 100%, is het niet mogelijk de gehele oppervlakte van een bepaald bodemtype te beïnvloeden; bij een percentage hoger dan 100% zijn per bodemtype meerdere maatregelen mogelijk. Specifiek betekent dat voor de diverse bodemtypes (Figuur 14):

- De CO₂-uitstoot van alle veengronden is te verminderen door een van de maatregelen. Hierbij kan ca. 30% worden vernat en kunnen op het overige areaal civieltechnische maatregelen worden toegepast.
- Van de uitstoot van moerige gronden is slechts een deel (13%) te reduceren. De oorzaak hiervoor is dat de veenlagen van de moerige gronden vaak hoog in het profiel liggen en relatief dun zijn. Dit laatste is van belang, omdat we er bij het keren van de grond van uit zijn gegaan dat de veenlaag minimaal 40 cm dik moet zijn.

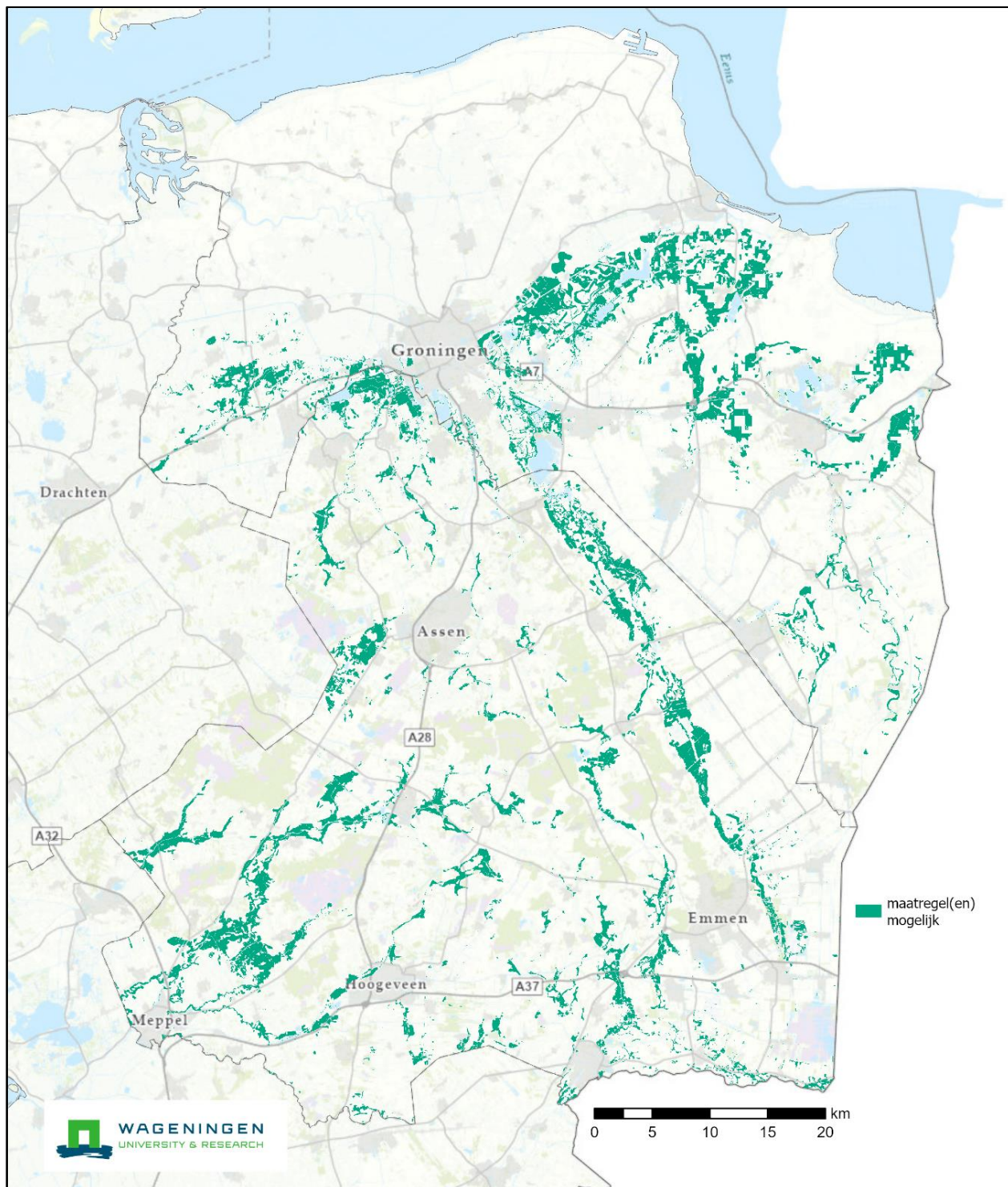
- De uitstoot van veengronden met een dun kleidek is vrijwel allemaal te reduceren, waarbij met name het vernatten de meeste toepassingsmogelijkheden kent. Dit geldt ook voor de gebieden met een dik kleidek, maar daar zijn de mogelijkheden beperkter.

Tabel 9 is gebruikt om een schatting te maken van CO₂-reductie. Met de diverse maatregelen kan er in theorie tussen de 0,3 en 0,4 Mton/jaar¹ CO₂ uitstoot worden gereduceerd (Tabel 10). De verdeling over Groningen en Drenthe is 50/50%. Hierbij is ervan uit gegaan dat de gemiddelde reductie van de diverse maatregelen 30% is (Tabel 8). De berekening laat zien dat het met name de veengronden zijn die bijdragen aan de reductie doordat ze in de uitgangssituatie een hoge uitstoot hebben en de uitstoot overal kan worden verminderd. Dit pleit er voor om bij het verder uitrollen van de (actieve) maatregelen de focus te hebben op de veengronden.

Tabel 10 CO₂-emissiereductie van diverse bodemtypes als gevolg van diverse maatregelen.

Bodemtype	Dikte veenlaag (cm)	CO ₂ -emissie (ton/ha/jaar)	CO ₂ -emissie reductie(ton/ha/jaar) na maatregelen.	Areaal inzetbaar (ha)	Geschatte emissiereductie na maatregelen MCO ₂ /jaar
Veengronden	80	20-30	7-10	33.335	0,233-0,333
Veengronden met dun kleidek (25-40 cm)	80	10-15	4-5	2.640	0,011-0,013
Gronden met dik kleidek (60-100 cm) op veen	80	4-6	1-2	7.079	0,008-0,016
Moerige gronden	20-40	10-20	4-7	7.987	0,031-0,056
Overige gronden met veen/ Versleten moerige gronden/ minerale gronden	< 20	0-10	0-4	1.645	0-0,006
Totaal				52.157	0,283-0,424

¹ Er zijn geen landelijk maximale reductiewaarden bekend; wel; is er een beleidsmatige doelstelling om de uitstoot met 1.0 Mton/jaar te reduceren.



Figuur 25 Niet-klassieke veengebieden waar een of meerdere maatregelen mogelijk zijn om CO₂- uitstoot te reduceren.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

5.1.1 Voorkomen en kenmerken van de niet-klassieke veengronden

De beekdalen, delen van het Oldambt en Duurswold en de flanken van Hondsrug zijn de gebieden waar relatief de dikste veenlagen worden aangetroffen

In dit onderzoek is gekeken naar de niet-klassieke veengronden in Groningen en Drenthe. De niet-klassieke veengronden beslaan ongeveer 110.000 ha en worden voor 36% gevonden in de Veenkoloniën, voor 28% in de beekdalen en de rest in de kustvlaktes en hoogveengebieden. De dikte van de veenlagen is beperkt; 90% van het gebied heeft een veendikte minder dan 80 cm en daarvan is de helft dunner dan 25 cm. De dikste veenlagen liggen in de beekdalen. De begindiepte van het veen is relatief ondiep; in 90% van de bodems is dit binnen de eerste 30 cm -mv. De diepste grondwaterstand treedt meestal op aan het eind van de zomer en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) is in 90% van het gebied dieper dan 80 cm -mv. Dit betekent dat een groot deel van het veen zich in de zomerperiode boven de grondwaterspiegel bevindt.

Uitzonderingen hierop zijn de dikkere veenlagen in enkele beekdalen, delen van het Oldambt en Duurswold, de flanken van de Hondsrug en de hoogveengebieden. De meeste niet-klassieke veengronden zijn in gebruik als akkerbouw en natuur; uitzondering hierbij zijn de beekdalen die gedeeltelijk in gebruik zijn als grasland.

CO₂-emissie van de niet-klassieke veengronden is sterk afhankelijk van de dikte van de veenlaag, de diepte van de grondwaterstand en de fase waarin het afbraakproces zich bevindt

De CO₂-emissie van veengronden is afhankelijk van type veen, de veendikte, aanwezigheid van een kleidek en de grondwaterstand in de zomer. Op basis van diverse onderzoeken, die veelal zijn gedaan in klassieke veenweidegebieden, wordt de CO₂-emissie van veengronden geschat op 20-30 ton/ha/jaar. Voor moerige gronden en veengronden met een dun kleidek ligt de uitstoot ca. 50% lager. Naarmate de moerige gronden verder oxideren, verdwijnt het veen of wordt het omgezet in minder sterk emitterend veen (veraard veen).

De CO₂-emissie van de niet-klassieke veengronden wordt geschat tussen de 1,3 en 2,3 Mton/jaar

Op basis van de CO₂-emissies per bodemtype is berekend dat de huidige CO₂-uitstoot van de niet-klassieke veenweidegronden in Groningen en Drenthe in theorie tussen de 1,3 en 2,3 Mton/jaar ligt. De veengronden en moerige gronden dragen hier gelijkwaardig aan bij. Globaal ligt 40% van de niet-klassieke veengronden in Groningen en 60% in Drenthe.

5.1.2 Maatregelen

Vernatting van het veen met name effectief bij lage grondwaterstanden

De hydrologische maatregelen bestaan uit een combinatie van gebiedsgerichte maatregelen, zoals het verhogen van oppervlaktepeil in de zomer (dynamisch peilbeheer), en perceelgerichte maatregelen. Op het perceel is, vanwege de veelal diepe slootpeilen, de onderwaterdrainage minder geschikt en zal drukdrainage moeten worden toegepast.

Uit een eerste inventarisatie blijkt dat door het verhogen van de GLG (Gemiddelde Laagste Grondwaterstand) tussen de 20 en 40 cm, onafhankelijk van de te gebruiken methode, ca. 21.000 ha met veen in de ondergrond kan worden vernat. De helft van dit gebied ligt in beekdalen. De CO₂-reductie is afhankelijk van de huidige grondwaterstand en de aangebrachte verhoging. Voor een GLG tussen de 50-80 cm -mv ligt de reductie bij 20 tot 40 cm verhoging tussen de 30 en 50%, voor diepere GLG (80 -120 m-mv) ligt de reductie aanzienlijk lager, namelijk op 15-30%.

Keren van veenlagen effectieve reductiemethode, maar is bodemtechnisch ingrijpend

Het onderwerken van het veen (omzanden, keren van het profiel) is een 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. Uitgaande van een minimaal onder te werken veenlaag van 40 cm kan ca. 6.000 ha worden gekeerd. De CO₂-emissiereductie ligt tussen de 30 en 50%. Het belangrijkste aandachtspunt is de sterke verstoring van de bodemstructuur en de mogelijk nadelige invloed op de productiviteit.

Klei in veen veelbelovend, maar nog weinig praktijkervaring

Het opbrengen van een dunne laag klei of kleibagger heeft in laboratoriumexperimenten CO₂-reducties van 15 tot 60% laten zien. De klei bindt zich aan organische stof en vormt zo kleihumuscomplexen die de afbraak beperken. Op dit moment zijn er diverse veldexperimenten gaande om te onderzoeken of en in welke mate deze techniek daadwerkelijk langjarig voor een reductie kan zorgen. De techniek kan met name worden ingezet voor gebieden (ca. 17.000 ha) waar ondiep (< 25 cm -mv) veen in het profiel voorkomt. In tegenstelling tot het keren van veenlagen en het aanbrengen van een dik mineraal dek, is deze techniek minder ingrijpend.

Effectiviteit kleidek op veen sterk afhankelijk van uitdroging in de zomer

De mate waarin een kleidek van ca. 30 cm bijdraagt aan de vermindering van de CO₂-uitstoot wordt met name bepaald door in hoeverre het kleidek in de zomer krimpscheuren gaat vertonen. Door de krimpscheuren kan het zuurstof alsnog het onderliggende veen bereiken. Bij een dun dek van zand of een lichte zavel zullen geen krimpscheuren optreden, echter zuurstof diffundeert wel gemakkelijker door zand dan door (natte) klei. Ca. 10.000 ha zou in aanmerking komen voor deze techniek.

Minder diepe grondbewerking leidt tot minder CO₂-emissie

Het grondgebruik in de veengebieden is voor een groot gedeelte gericht op akkerbouw. Reductie van veenoxidatie kan worden bewerkstelligd door minder grondbewerkingen uit te voeren of minder diep wortelende gewassen te telen, want dergelijke activiteiten zorgen voor meer zuurstof in de bodem.

Beekdalen vragen om specifieke maatregelen

In de beekdalen kan er onderscheid gemaakt worden tussen maatregelen in de beekloop zelf en in het naastliggende dal. Verhogen van het grondwaterpeil in vrij afstromende beekdalen door middel van het verhogen van de drainagebasis, de bedding van de beekloop en/of het verkleinen van het doorstroomprofiel, zijn maatregelen die op (deel)stroomgebied moeten worden toegepast om het gewenste effect te hebben. Een groter effect op een verhoging van de grondwaterstand in het beekdal kan bereikt worden door het afsluiten, dempen of dicht laten groeien van sloten en greppels in het beekdal die neerslag en kwelwater afvoeren naar de beek. Het terugbrengen van de kweldruk aan maaiveld is een van de effectiefste middelen om de veenoxidatie in beekdalen tot stilstand te brengen. Belangrijk is om het beekdal als een samenhangend systeem te beschouwen en niet alleen te focussen op de delen met een dik veenpakket. In natuurterreinen is inundatie van het beekdal ongewenst in verband met de nutriënten in het oppervlaktewater. De te verwachten CO₂-reductie van de individuele beekmaatregelen is niet bekend.

5.1.3 Toepasbaarheid en te verwachten CO₂-reductie

Van 50% van de niet-klassieke veengronden kan de emissie worden gereduceerd

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de hier beschreven maatregelen op ca. 50% van de niet-klassieke veenweidegronden kan worden toegepast. Met name bij de veengronden liggen de grootste mogelijkheden. De CO₂-uitstoot van de moerige gronden is, doordat die veelal een dunne veenlaag hebben en ver boven de grondwaterspiegel liggen, maar zeer beperkt te reduceren met de hier beschreven maatregelen.

Maatregelen kunnen in theorie tussen de 0,3 en 0,4 Mton CO₂-uitstoot per jaar reduceren

De hier beschreven maatregelen kunnen in theorie de CO₂-uitstoot met 0,3 en 0,4 Mton per jaar reduceren. Dit is een reductie van ca. 20% ten opzichte van de geschatte huidige uitstoot. Dit is een globale indicatie en

wordt sterk bepaald door de schattingen van de huidige uitstoot en de effectiviteit van de maatregelen. De verdeling over Groningen en Drenthe is 50/50%.

De maatregelen kunnen sterk ingrijpen op het hydrologische systeem en/of op het landbouwkundig gebruik. Daarnaast vereisen de maatregelen dat er meer water en/of mineraal materiaal moet worden aangevoerd. Nader onderzoek moet duidelijk maken wat de consequenties (technisch, sociaaleconomisch) zijn wanneer de hier beschreven maatregelen worden opgeschaald naar grotere gebieden.

5.2 Aanbevelingen

Focus op de veengronden

In dit onderzoek is gekeken of en hoe effectief de diverse maatregelen zijn om de CO₂-emissie te reduceren. Hieruit blijkt dat de grootste reductie te bereiken is bij de veengronden (zonder kleidek). Deze gronden zijn voor een deel (30%) te conserveren door de grondwaterstand sterk te verhogen, maar een belangrijk deel moet ook komen van civieltechnische maatregelen. Voor de vernattingsmaatregel is het aan te bevelen eerst de focus te leggen op de gebieden met een relatief ondiepe grondwaterstand, omdat daar de grootste reductie valt te verwachten.

Aandacht voor verminderde grondbewerking en mogelijke diepploegen van moerige gronden

De moerige gronden zijn beperkt bereikbaar met de hier beschreven maatregelen en gehanteerde criteria. Omdat deze gronden een belangrijk aandeel hebben in de CO₂-uitstoot van de niet-klassieke gronden, is het aan te bevelen om de uitstoot daar te beperken door het verminderen van het aantal en diepte van de grondbewerkingen en van de teelt van diep wortelende gewassen.

Ook is het aan te bevelen om nog eens te kijken naar de mogelijkheid om dunne veenlagen te diepploegen. In het verleden zijn veel dunne veenlagen vanwege profielverbetering gediepploegd. Daarbij werd bewust het veen niet ondergeploegd, maar de lagen schuin weggezet onder een hoek van 45-60 graden. Op deze wijze zijn honderden zo niet duizenden hectaren moerige gronden en dunne veengronden 'verbeterd' in Nederland en Duitsland. Omdat deze werkwijze juist meer veenoxidatie kan opleveren dan het reduceert, is deze techniek in deze studie niet meegenomen.

Preventie is belangrijk om verdere CO₂-uitstoot te voorkomen

Er is meer aandacht nodig voor preventieve maatregelen. Dit zijn generieke maatregelen zoals passieve peilstijging, het minder verlagen van oppervlaktewaterpeilen in het voorjaar en de zomer, het minder diep bewerken van gronden, het tegengaan van (diep)ploegen of spitten of het niet meer telen van diep wortelende gewassen. Voor beekdalen zou er nadruk moeten liggen op het beperken van het graven van 'afvoerslenken', het beperken van het plaggen van nutriëntrijke beekdalgronden en het beperken van het afgraven van het klei- of zanddek voor natuurontwikkeling of waterberging.

Aandacht voor een gebiedsgerichte aanpak

In dit onderzoek is een vrij rigide onderscheid gemaakt tussen klassieke en niet-klassieke veengronden. In de praktijk zijn de percelen van de klassieke en niet-klassieke veengronden veelal sterk met elkaar verweven. Ook kan het voorkomen dat een perceel het ene jaar tot de klassieke veengronden behoort (grasland) en het andere jaar tot de niet-klassieke veengronden (akkerbouw). Het advies is om bij de verdere aanpak, met name in de gebieden rond de stad Groningen, het onderscheid deels los te laten en te kijken wat voor een specifiek gebied de effectiefste maatregelen zijn.

5.3 Nader onderzoek

Het in het rapport beschreven literatuuronderzoek heeft het inzicht vergroot in de mogelijkheden van de diverse maatregelen om de CO₂-emissie van de niet-klassieke veengronden te verminderen. Voordat de diverse maatregelen worden opgeschaald, hebben wij de volgende aanbevelingen voor nader onderzoek:

- Voorkomen veen. De dikte en diepteligging van het veen is door veenoxidatie en door grondbewerking aan sterke verandering onderhevig. Het is aan te raden kaarten te maken van de veendikte en veendiepteligging (begin- en einddiepte) op basis van de recentste bronnen, zoals de Bodemkaart 2018, het veenonderzoek van Hunze en Aa (2019-2021) en het lopende onderzoek van Noorderzijlvest. Ook zouden de andere waterschappen een vergelijkbaar onderzoek moeten uitvoeren. Het is belangrijk al deze data samen te voegen en met behulp van geostatistische methoden te analyseren. Specifiek moet daarbij ook aandacht zijn voor de relatie met de recentste inschatting van de grondwaterspiegel. Ten slotte is het belangrijk – vanwege mogelijke verschillen in CO₂-uitstoot – de verschillende veentypen te karteren.
- CO₂-reductie van diverse maatregelen. De CO₂-uitstoot en effectiviteit om dit via diverse maatregelen te verminderen, wordt onderzocht in de diverse langlopende programma's zoals NOBV (Nationaal Onderzoekprogramma Broeikasgassen Veenweiden), Regiodeal Groene Hart en LOSS (Living on Soft Soils), Klei op veen. Dat onderzoek richt zich veelal op de klassieke veengronden met dikke veenlagen (> 1 m). Het is belangrijk om te weten of de resultaten uit die onderzoeken kunnen worden geëxtrapoleerd naar de niet-klassieke veengronden. Mogelijk komt hieruit naar voren dat het wenselijk is specifieke meetsites in te richten voor de niet-klassieke veengronden.
- Waterhuishouding vernatting veen. Om het veen in grotere gebieden te vernatten, is het wenselijk met name de GLG sterk te verhogen (> 40 cm). Nader onderzoek moet duidelijk maken hoe de GLG op een effectieve manier kan worden verhoogd (hoe werken onderwaterdrains bij diepe grondwaterpeilen?) en wat voor gevolgen dit heeft voor de aanvoer van gebiedsvreemd water.
- Inrichten pilots. Veel aandacht voor het reduceren van de veenoxidatie gaat uit naar het vernatten van het veen. Het is belangrijk om ook aandacht te hebben voor andere technieken om de veenoxidatie tegen te gaan, zoals het keren van het veen en het opbrengen van een mineraal dek. Om de effectiviteit hiervan te bepalen, is het belangrijk hier een aantal pilots voor in te richten waarbij langjarig (> 5 jaar) de CO₂-uitstoot gemeten kan worden. Mogelijk kan aansluiting worden gezocht bij andere lopende onderzoeksprogramma's zoals NOBV, Regiodeal, LOSS etc.
- Verdienmodellen. Veel van de maatregelen om CO₂ te reduceren, kunnen leiden tot een ander of aangepast landgebruik. Of dit landgebruik past binnen het huidige bedrijfseconomisch systeem of dat daar andere verdienenmodellen (zoals Valuta voor veen) voor nodig zijn, moet worden onderzocht voor diverse landbouwkundige situaties.

Literatuur

- Agtmaal, M. van, J.G.C. Deru, F. Lenssinck. 2019. Klei voor behoud van veen: Verkenning mogelijkheden van koolstofvastlegging en preventie bodemdaling met klei uit de kringloop. Rapport 2019-010 LbD. Louis Bolk Instituut, Bunnik. 29 p.
- Aggenbach, C.J.S., Loon A., I. Ferrario et al., 2021. Waterhuishouding van herstellende beekdalvenen. Ontwikkeling, bepalende factoren en mogelijkheden voor herstel. Driebergen. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren (VBNE). Rapport OBN-244- BE.
- Akker, van den J.J.H, 2021. Ontleend aan presentatie "50 jaar bodemdaling en het gaat maar door" tijdens afscheidssymposium Jan van den Akker 1 oktober 2021 Wageningen.
<https://www.wur.nl/nl/nieuws/Symposium-Bodemdaling-1-oktober-2021.htm>.
- Akker, Jan van den; Hendriks, Rob; Delft, Bas van, 2017. De organische veenbasis: afbraakprocessen in relatie tot hydrologie. Driebergen, VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren – 102.
- Arets, E.J.M.M., J.W.H van der Kolk, G.M. Hengeveld, J.P. Lesschen, H. Kramer, P.J. Kuikman & M.J. Schelhaas (2021). Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2021. Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment (WOT Natuur & Milieu), Wageningen. WOT-technical report 201.
- Boer, de H., Deur, J. Eekeren, van N., 2018. Sward lifting in compacted grassland: effects on soil, structure, grass rooting and productivity. ScienceDirect.
- Booij, J., van Essen, E., 2015. Beslisboon opheffen bodemverdichting veenkoloniën. Praktijknetwerken Kwantificeren Bodemverdichting en Opheffen Bodemverdichting.
- Couwenberg, J., Augustin, J., Michaelis, D. and Joosten, H., 2008. Emission reductions from rewetting of peatlands: Towards a field guide for the assessment of greenhouse gas emissions from Central European peatlands. Report Greifswald University, Germany.
- Groot, W. J. M. de, Groot, W. J. M. de, Brouwer, F., Kiestra, E., Kooistra, K., Brouwer, F., Kiestra, E., & Kooistra, K. (2021). Effecten van keren veenprofiel voor landbouw, CO₂-emissie en omgeving: een veld- en literatuurstudie, rapport 3103, Wageningen Environmental Research.
- Günther, A., A. Barthelmes, V. Huth et al., 2020. Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. Nature Communications 11(1): 1-5.
- Erkens, G., 2021 Quickscan omvang Nederlands veenweidegebied, concept memo. Deltares.
- Grønland, Arne, Sveistrup, Tore E., Søvik, Anne K., Rasse, Daniel P. and Kløve, Bjørn, 2006. Degradation of cultivated peat soils in northern norway based on field scale CO₂, N₂O and CH₄ emission measurements, Archives of Agronomy and Soil Science, 52:2, 149 – 159.
- 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.
- Hazeu, G.W., Vittek, M., Schuiling, R., Bulens, J.D., Storm, M.H., Roerink, G.J. en Meijninger, W.M.L., 2020. LGN2018: een nieuwe weergave van het grondgebruik in Nederland. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3010. 88 blz.; 22 fig.; 7 tab.; 8 ref.
- HDSR, 2011. Proef dynamisch peilbeheer. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Houten. Rapport DM 337361.
- Hoving, I.E, G. Holshof, R.F.A. Hendriks, 2020. Effecten waterbeheersmaatregelen op veenweidebedrijven in Noord-Holland. Technische en economische consequenties en effecten op bodemdaling en broeikasgasemissie. Wageningen Livestock Research, Rapport 1274.
- Hoving I.E., J.W. van Riel, H.T.L. Massop, R.F.A. Hendriks, J.J.H. van den Akker en K. van Houwelingen, 2021. Precisiewatermanagement met pompgestuurde onderwaterdrains op veenweidegrond. Rapportage onderzoeksperiode 2016-2020. Wageningen Livestock Research, Rapport 1293.
- Hunink, J., F. Schasfoort, J. Powels en M. Mens, 2021. Het effect van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in veenweidegebieden op knelpunten in de zoetwatervoorziening. rapport 11205271. Deltares.
- Hunze en Aa, 2021. Digitale informatie veenvoorkomens (informatie via R. Leeraar).

- Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker, 2009. Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872. 54 blz.
- KIWA Nederland bv (2021) Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor buisdrainage en veenweideinfiltratie: BRL1411 buisdrainage en veenweideinfiltratie (www.komo.nl).
- Koomen, A.J.M. & Maas, G.J. (2004) Geomorfologische kaart Nederland (GKN); achtergronddocument bij het landsdekkende digitale bestand, Vol. No. 1039. Wageningen: Alterra.
- Maas, G.J., Van der Meij, W.M., Van Delft, S.P.J. & Heidema, N. (2021) Toelichting bij de legenda Geomorfologische kaart van Nederland 1:50 000. <https://legendageomorfologie.wur.nl/>.
- MIPWA, 2020. Grondwatermodel drie noordelijke provincies, versie 4.0, <https://www.mipwa.nl>.
- Makaske, Bart, Gilbert Maas, Ab Grootjans, Erik Meijles, Henk Everts en Nico de Vries, 2015. Veen verschijnt en verdwijnt- Grondwaterstromen en veenvorming. In: Landschapsbiografie van de Drentsche Aa / Spek, Theo, Elerie, Hans, Bakker, Jan. P., Noordhoff, Ineke, Assen: Koninklijke Van Gorcum, - p. 57 – 81.
- Massop, H, en C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015. Alterra rapport 2700. Wageningen.
- Nationaal kennisprogramma Bodemdaling, NKB 2020, Factsheet onderwater- en drukdrainage, Veelgestelde vragen over waterinfiltratiesystemen voor het vernatten van veenweiden Versie 2/3/2020.
- NOBV, 2021. Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden (NOBV) - Data-analyse 2020-2021 Van den Akker, J.J.H.; H.T.L. Massop en R.P.J.J. Rietra, 2018. Potentiële emissiereductie broeikasgassen Fries veenweidegebied; Waterhuishoudkundige en bodembeheermaatregelen om broeikasgasemissies te beperken. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2905.
- Van der Meij, W.M. & Maas, G.J. (2020) Kwaliteitsdocument van de Geomorfologische kaart van Nederland, Vol. No. 195. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. <https://doi.org/10.18174/538255>.
- Van de Plassche, O., 1982. Sea-level change and water-level movements in the Netherlands during the Holocene. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 36, pp. 1-93.
- Van Hattum, T., & Maas, G. J. (2013). Van Recht naar Krom: onderzoek naar de doeltreffendheid en doelmatigheid van het beleid voor de (her)inrichting van watersystemen bij waterschap Regge en Dinkel. (Alterra-rapport; No. 2432). Alterra. <https://edepot.wur.nl/259243>.
- 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.
- Rozemeijer, J., H. Boomsma, A. Veldhuizen, J. Pouwels, J. Van den Akker en T. Kroon, 2019. Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag. 11202752-002. Deltares.
- Rozemeijer, J., S. Ball en B. van der Grift, 2017. Regelbare drainage in het venige Hunzedal winst voor akkerbouw en natuur. rapport 2017-6 STOWA.
- Silvis, H., Voskuilen, M. 2019. Akkerbouwbedrijven: schaalvergroting en intensivering. Wageningen University & Research.
- Smit, B., Jager, J., 2018. Schets van de akkerbouw in Nederland: structuur-, landschaps- en milieukeurmerken die een relatie hebben tot biodiversiteit. Wageningen Economic Research. Den Haag.
- Speet, F., & W. Honkoop, Haalbaarheid van maatregelen in het veenweidegebied, Stowa/NOBV, 3 december 2020 - as2-internal, Bedrijfstechnische haalbaarheid van maatregelen in het veenweidegebied, STOWA/NOVB.
- STOWA, 2020. Deltafact Onderwaterdrainage.
- Valuta voor veen, 2022. www.valutavoorveen.nl.
- Verstand, D., van der Voort, M., Vijn, M. 2020. Uitwerkingen boerderijvarianten op economie en broeikasgasemissies: klimaatbestendige akkerbouw op veengronden. Rapport WPR-854. Wageningen Research.
- Vries, F., J.P. Lesschen, J.J.H. van den Akker et al. 2009. Bodemgerelateerde emissie van broeikasgassen in Drenthe. Alterra 1859. Wageningen.
- Vries, F., J.P. Lesschen. 2015. De conditie van gronden met dunne veenlagen (concept), WENR Wageningen.
- 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.
- Waterschap Hunze en Aa, 2015. Beheerprogramma 2016-2021. Veendam.
- Weterhof, R., 2018. Factsheet natte teelten. Nationaal kennisprogramma bodemdaling. Opgesteld door de deelepeditie Natte Teelten.


Wijk, van A.L.M., Feddes, R.A., Wesseling, J.G., Buitendijk, J., 1988. Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen: een evaluatie over 30 jaren van de opbrengst van aardappelen en zomergraan op acht bodemprofielen bij vijftien combinaties van ontwateringsdiepte en -intensiteit. Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding. Rapport 31. Wageningen.

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3204
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3204
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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.

