KlimaatAdaptieve Drainage

Landelijke geschiktheid van conventionele, samengestelde peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage

Februari 2013

Auteurs
P.J.T. van Bakel (De Bakelse Stroom)
G.A.P.H. van den Eertwegh
H. Massop (WUR-Alterra)
J. Brandsma

Opdrachtgever

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

SBIR-project

Partners

de bakelse stroom

ALTERRA WAGENINGEN UR

Van Iersel

KUIPERS ELECTRONIC ENGINEERING B.V. TMX Telemanitoring

stowa

FutureWater Rapport 118

FutureWater
Costerweg 1V
6702 AA Wageningen
The Netherlands

+31 (0)317 460050

info@futurewater.nl

www.futurewater.nl

Ten Geleide

Het SBIR-project Klimaatadaptieve Drainage zal een product opleveren waarbij toenemende piekafvoeren en watertekorten als gevolg van klimaatverandering gereduceerd zullen worden. Hiertoe zullen regionale waterbeheerders een op afstand bestuurbaar drainage systeem gebruiken en zodoende tijdens zware regenval het drainageniveau kunnen verhogen, waardoor water wordt opgevangen in de bodem en minder snel naar het oppervlaktewater stroomt. Klimaatadaptieve Drainage gaat ervan uit dat waterbeheerders afspraken maken met agrariërs dat in uitzonderlijke gevallen van zware neerslag water tijdelijk wordt vastgehouden in de bodem. Waterschappen kunnen hierdoor veel geld uitsparen doordat de toename in benodigde gemaalcapaciteit en/of bergingsgebieden om klimaateffecten op te vangen, kosteneffectiever door Klimaatadaptieve Drainage kan worden bereikt. Als er geen wateroverlast dreigt, kunnen agrariërs hun Klimaatadaptieve Drainage systeem gebruiken om water te conserveren voor droge tijden. Het haalbaarheidsonderzoek (fase 1) heeft aangetoond dat er onder waterschappen grote belangstelling bestaat voor dit concept, en dat het systeem technisch, bestuurlijk, en financieel haalbaar is, en daarnaast commercieel aantrekkelijk is voor het consortium.

Het Onderzoeks- en Ontwikkelingstraject (fase 2) is noodzakelijk om zowel de technische aspecten van de regelputten en de rekenmodules als de juridisch-bestuurlijke onderdelen te onderzoeken. Dit wordt bereikt door Klimaatadaptieve Drainage daadwerkelijk voor een aantal pilots te bouwen en tegelijkertijd het juridisch-organisatorisch onderzoek te starten. De rekenmodules zijn momenteel nog gebaseerd op een representatief gebied. Deze zullen tijdens het Onderzoeks- en Ontwikkelingstraject geoptimaliseerd moeten worden naar de lokale omstandigheden (bodem, waterhuishouding en klimaat). Tevens zal onderzocht worden welke juridische verhouding tussen de waterbeheerder en agrariër het meest gewenst is.

Dit document behoort bij fase 2 Werkpakket 3 ‘Landelijke geschiktheid’, waarbinnen wordt gekeken naar de potentiële toepasbaarheid klimaatadaptieve drainage binnen Nederland. Het maken van geschiktheidskaarten is nooit af. Gegeven tijd en budget is er voor gekozen de nadruk te leggen op de onderbouwing en de reproduceerbaarheid. De opleverde kaarten worden dan ook aangeduid als Geschiktheidskaarten versie 1.0.

Samenvatting

We hebben de geschiktheid van KAD als middel tegen wateroverlast en voor waterconservering ingeschat voor heel Nederland. Uitgangspunten hierbij waren dat er beleidsmatig behoefte moet zijn aan KAD om wateroverlast te bestrijden, dat bodem en hydrologie toepassing van KAD mogelijk maken en dat er behoefte is aan KAD vanuit de landbouw. Het landbouwareaal in Nederland beslaat ongeveer 1.900.000 ha. Op basis van onze analyse heeft 60 à 65% hiervan behoefte aan drainage, geredeneerd vanuit de eisen die gewassen aan de lokale waterhuishouding stellen. Ruim de helft, i.c. 55 à 60% van dit areaal, is geschikt voor de toepassing van KAD. Als we de behoefte aan en de geschiktheid voor KAD combineren, springen een aantal regio's en gebieden in Nederland eruit, te weten:

- de IJsselmeerpolders;
- Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden;
- de kustgebieden in Friesland en Groningen;
- delen van het rivierengebied;
- beekdalen in de zandgebieden;
- diepe droogmakerijen in West-Nederland.

Het potentieel areaal ofwel zoekgebied voor KAD beslaat ongeveer 500.000 ha. Dit areaal is aan de ruime kant. Natuurlijk zullen de attenderingskaarten en eventueel andere, aanvullende factoren en criteria de geschiktheid voor KAD negatief kunnen beïnvloeden, en daarmee het areaal verkleinen. Wegzijging naar het regionale grondwater is een van die factoren. Als de aanvullende factoren 75% reductie van areaal oplevert, resteert nog steeds een groot gebied waarvoor KAD een geschikte maatregel is.

De feitelijke toepassing van KlimaatAdaptieve Drainage in de praktijk zal altijd gepaard moeten gaan met een locatieonderzoek voor een geschikt ontwerp en beheerstrategie. Daarnaast spelen juridische apecten en kosten en baten een rol van betekenis. Deze studie heeft aangetoond dat in diverse gebieden van Nederland KlimaatAdaptieve Drainage een waardevol middel is dat de bodem actief in het waterbeheer kan betrekken.

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**9**
1.1	Aanleiding	9
1.2	Probleem- en doelstelling	9
1.3	Woordgebruik, definities en begrippen	10
1.4	Drainage en wateraanvoer in Nederland anno nu	12
2	**Methodiek**	**17**
2.1	Inleiding	17
2.2	Uitwerking drainagebehoefte landbouw	17
2.3	Geschiktheid van bodem en hydrologie voor drainage	19
2.4	Combinatie van behoefte en geschiktheid	27
3	**Implementatie en resultaten**	**29**
3.1	Drainagebehoefte	29
3.2	Drainagegeschiktheid	30
3.3	Combinatie van behoefte en geschiktheid	30
3.4	KAD als middel tegen regionale wateroverlast	31
3.5	Verfijning en verbetering op regionale schaal	33
4	**Conclusies en aanbevelingen**	**37**
5	**Referenties**	**39**
6	**Bijlagen**	**41**

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen “Werkpakket 3” van het innovatie project “KlimaatAdaptieve Drainage” wordt onderzoek uitgevoerd naar de landelijke geschiktheid van drainagesystemen in Nederland. Daarbij wordt in deze rapportage een onderverdeling gemaakt in conventionele drainage, peilgestuurde drainage en klimaatadaptieve drainage.

Daarnaast wordt in deze rapportage een onderverdeling gemaakt tussen drainagebehoefte en drainagegeschiktheid. De reden is het uitgangspunt dat genoemde vormen van drainage niet worden aangelegd op percelen waar er geen behoefte is aan drainage.

1.2 Probleem- en doelstelling

Op dit moment bestaat er geen landsdekkende kaart die aangeven welke drainagebehoeftige percelen geschikt zijn voor peilgestuurde en klimaatadaptieve drainage terwijl door grote behoefte aan is. Doel van het werkpakket 3 is het produceren van een eerste versie van deze kaarten en het ontwerpen van een protocol waarmee voortschrijdend inzicht of aanvullende wensen kan worden verwerkt in een nieuwe set kaarten.

Meer specifiek is het doel, kaarten te produceren die inzicht geven in:

- Welke percelen zijn drainagebehoeftig vanuit landbouwkundig gebruik op basis van fysieke standplaatsfactoren?
- Waar kan samengestelde, peilgestuurde drainage en KAD worden toegepast?
- Als samengestelde, anticiperende, peilgestuurde drainage kan worden toegepast: waar kan dit systeem worden gebruikt voor effectieve piekafvoerreductie?

Aanvullende vragen kunnen zijn:

- Als samengestelde, al dan niet anticiperende, peilgestuurde drainage kan worden toegepast: waar kan dit systeem worden gebruikt voor sub-irrigatie?
- Als samengestelde, al dan niet anticiperende, peilgestuurde drainage kan worden toegepast: waar kan dit systeem effectief worden gebruikt ten behoeve van de nutriëntenbelasting van het open water? (KRW-oppervlaktewaterlichamen)

Het in kaart brengen van deze twee aspecten behoort niet tot het kader van het project en onderhavige werkpakket 3. Het zijn wel activiteiten die de ruimtelijke analyse met als thema ‘KAD geschikt voor ... (vul in)’ compleet maken. Ze brengen echter ook extra informatievragen met zich mee. In Van den Eertwegh et al. (2012) wordt voor de provincie Zeeland een globale doorkijk gegeven voor de thema’s waterkwaliteit en droogtegevoeligheid.

1.3 Woordgebruik, definities en begrippen

Drainage met behulp van drainagebuizen wordt in het landelijk gebied van Nederland toegepast om de grondwaterstand en bodemvochttoestand voor meestal landbouwpercelen te optimaliseren. Met ondergrondse drainagebuizen kunnen percelen worden ontwaterd, waardoor betere condities voor gewas en bewerkbaarheid ontstaan. Door buisdrainage wordt de gemiddelde grondwaterstand verlaagd en is de opbolling van de grondwaterstand tussen twee drainagemiddelen kleiner. In Fig. 1.1 worden schematisch voorbeelden gegeven van dwarsdoorsnedes van een perceel en van de grondwaterstand tijdens afvoer-gebeurtenissen voor een:

- Ongedraineerd perceel;
- Conventioneel gedraineerd perceel (CD), waarbij afzonderlijke drainbuizen boven water uitmonden in een sloot;
- Peilgestuurd gedraineerd (PD), waarbij afzonderlijke drainbuizen boven water uitmonden in een sloot, waarvan het waterpeil kan worden gevarieerd.

Bij peilgestuurde drainage kan de grondwaterstand worden verhoogd door de drainagebasis nar boven toe bij te stellen i.c. het peil in de watergang te verhogen. De uitmonding van de drainbuizen komt dan onder water te liggen.

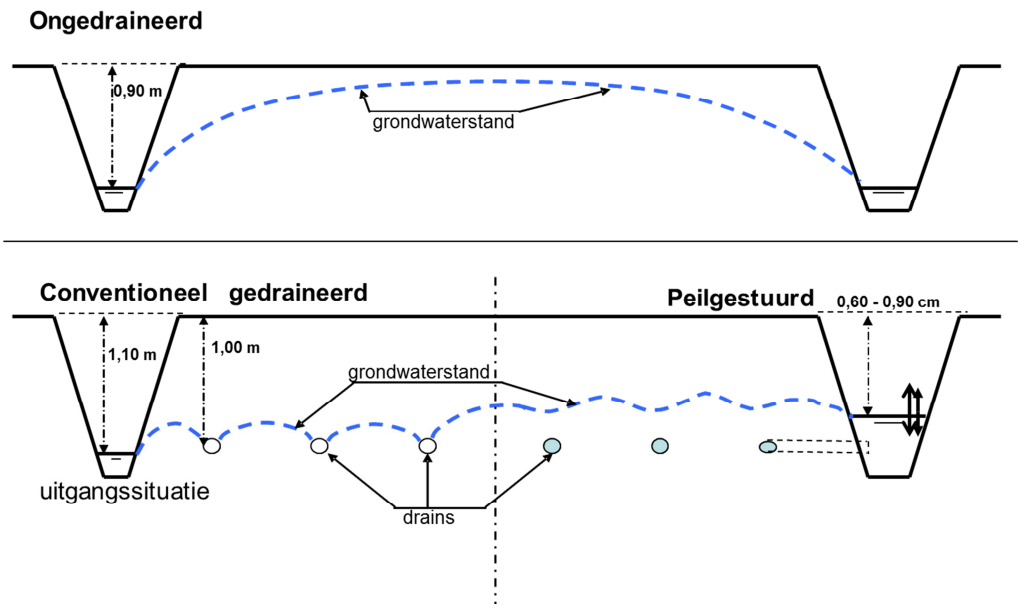


Fig. 1.1 Dwarsdoorsnedes van een perceel: ongedraineerd (boven), conventioneel (CD; onder links) en peilgestuurd (PD) gedraineerd (onder rechts).

Een volgende variant van een drainagesysteem ontstaat wanneer de afzonderlijke drainagebuizen onderling worden verbonden door ze aan te sluiten op een verzameldrain. Zo ontstaat een samengestelde drainage, die al dan niet peilgestuurd is (Fig. 1.2). De verzameldrain mondt uit in een put, die op zijn beurt afwatert op de sloot.

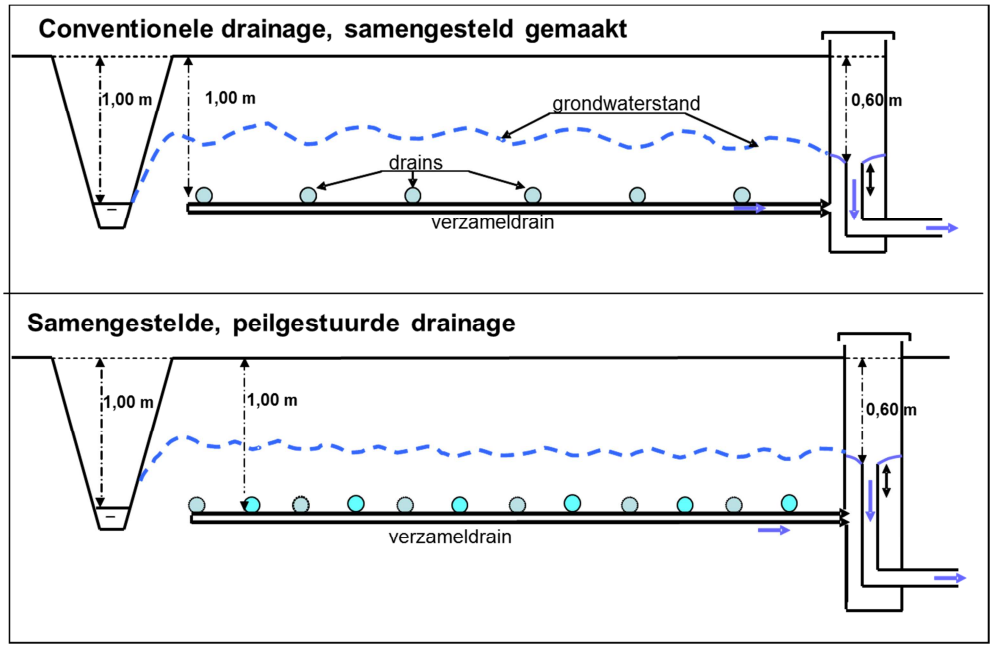


Fig. 1.2 Samengesteld peilgestuurd drainagesysteem, dwarsdoorsnede over een perceel. Bij het drainagesysteem in het onderste deel van de figuur is de drainafstand verkleind.

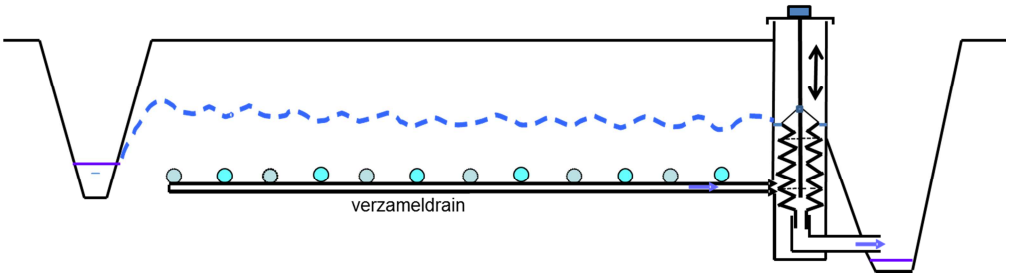


Fig. 1.3 KlimaatAdaptieve Drainage, dwarsdoorsnede over een perceel.

KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) onderscheidt zich van conventionele drainage (CD) op de volgende onderdelen:

- Het is een samengesteld drainagesysteem;
- Regeling van de drainagebasis vindt plaats in de put, daarmee wordt de werking van de drainage beheerd; deze regeling is traploos en de regelaar kan op afstand bediend worden;
- Beheer: zowel waterschap als agrariër kunnen het systeem bedienen;
- Data van het systeem qua toestand (grondwaterstand, waterstand in de put, hoogte van de drainagebasis) en beheer (wie doet wanneer wat) worden via telemetrie centraal

opgeslagen en zijn op te vragen en in te zien door diegenen die daartoe rechten hebben.

KlimaatAdaptieve Drainage (KAD) is erop gericht om water vast te houden in de bodem van een perceel, om overtollig water van het perceel te draineren en af te voeren, onder de randvoorwaarde van doelstellingen inzake het vasthouden van water in de bodem. De bodem wordt daardoor operationeel ingezet t.b.v. het waterbeheer.

In deze rapportage bedienen we ons van begrippen uit het Cultuurtechnisch Vademecum (2000) en de Hydrologische Woordenlijst (NHV, 2004).

1.4 Drainage en wateraanvoer in Nederland anno nu

De behoefte aan drainage vanuit de landbouw komt voort uit het feit dat voorheen in de Nederlandse delta nogal wat gronden te nat waren om succesvol landbouwgewassen op te telen. Drainage van landbouwgrond kan geschieden via greppels, drainagebuizen, beken en sloten of een combinatie van deze middelen. Door drainage droogt en warmt de bodem in het voorjaar sneller en beter op. Drainagebuizen hebben als voordeel dat ze ondergronds liggen en verspreid over het perceel, waardoor de grondwaterstanden relatief vlakker worden in vergelijking met drainage via open water. Daarnaast zijn drainagebuizen niet nadelig of hinderlijk voor grondbewerking en andere werkzaamheden qua management van het perceel.

Op de zogenaamde C.O.L.N.-kaarten (Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland) is te zien hoe de grondwaterstanden in de 50-er jaren zijn geweest, voordat er sprake was van een grootschalige introductie van drainage-maatregelen. Fig. 1.4 geeft een gereconstrueerde kaart hiervan weer (Jansen et al., 2003). De Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 geeft grondwatertrappen weer, die toentertijd al deels effecten in zich hadden van drainage-activiteiten.

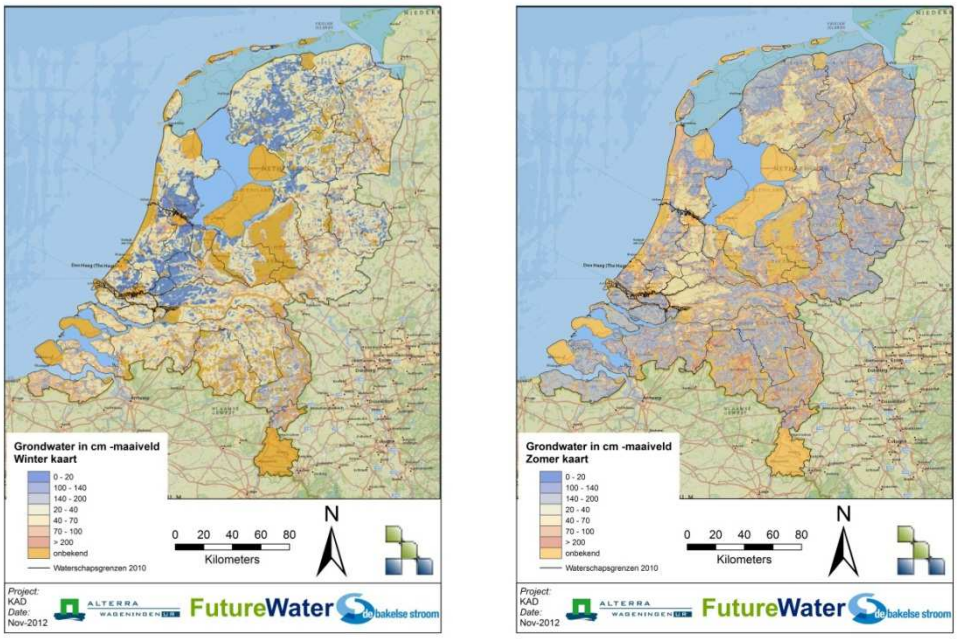


Fig. 1.4 Gereconstrueerde grondwaterstanden winter (links) en zomer (rechts) C.O.L.N. Bron: Jansen et al., 2003.

Het CBS heeft in 2010 een aantal kaarten gepubliceerd over de aanwezigheid van drainage in Nederland op gemeente-niveau (De Rooij, 2010). Via een inventarisatie van de Dienst Regelingen zijn kaarten gemaakt zoals in Fig. 1.5 (links). Te zien is dat vooral de IJsselmeerpolders, diepe droogmakerijen in Holland, het noorden van de provincies Groningen en Friesland en de provincie Zeeland een hoog percentage aan drainage kennen. Als we op basis van de C.O.L.N. kaarten een indruk genereren van de behoefte aan drainage, zouden in ieder geval die gebieden er duidelijk uit moeten springen.

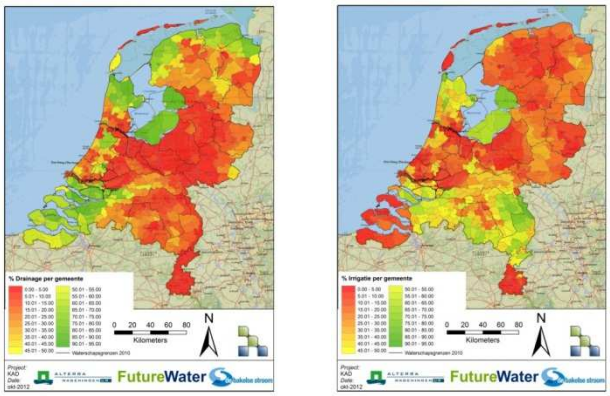


Fig. 1.5 Percentage drainage aanwezig per gemeente (links) en Percentage mogelijkheden tot beregening per gemeente (rechts). Bron: De Rooij, 2010.

Naast het afvoeren van het neerslagoverschot is het voor de landbouw en de natte natuur in Nederland relevant om te weten in welke gebieden er in droge tijden sprake kan zijn van wateraanvoer. Fig. 1.5 (rechts) geeft een ruimtelijke inpressie van de mogelijkheid om tot beregening over te gaan (De Rooij, 2010). De beschikbaarheid van en toegankelijkheid tot zoet grondwater en de aanvoer van water via het oppervlaktewater zijn hiervoor belangrijke randvoorwaarden.

Drainage van landbouwgronden heeft, naast andere ingrepen in de waterhuishouding van Nederland sinds de 50-er en 60-er jaren, geleid tot een daling van de grondwaterstanden op regionale schaal. Sinds medio jaren 80 is het beleidsthema verdroging op de agenda van Rijk, provincies en waterschappen terechtgekomen, een dossier dat nog steeds actueel in de belangstelling staat.

Intermezzo verdroging

Verdroging is het verschijnsel waarbij de waterspiegel in het grondwater daalt ten opzichte van het "natuurlijke" niveau of waarbij water met een andere kwaliteit uit andere gebieden (gebiedsvreemd water) lokaal grondwater vervangt. De 4e Nota Waterhuishouding (1998) geeft de volgende definitie voor verdroging:

> *Een gebied wordt als verdroogd aangemerkt als aan dat gebied een natuurfunctie is toegekend en de grondwaterstand in het gebied onvoldoende hoog is dan wel de kwel (water dat omhoog komt) onvoldoende sterk om bescherming van de karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waarden, waarop functietoekenning is gebaseerd, in dat gebied te garanderen. Een gebied met een natuurfunctie wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand water van onvoldoende kwaliteit moet worden aangevoerd.*

De in Nederland aanwezige natte natuur kan last hebben van verdroging, zoals ook recent bleek in het kader van analyses voor de Programmatisch Aanpak Stikstof (PAS) in relatie tot atmosferische N-depositie (o.a. Commissie MER, 2012). In Fig. 1.6 staan de Natura-2000 en TOP-gebieden aangegeven, natuurgebieden met status, die onderdeel uitmaken van de EHS (bron: Staatsbosbeheer, 2012). Drainage-praktijken in de buurt van deze gebieden worden door de waterbeheerders veelal gereguleerd, o.a. door vergunningen en de definitie van attentiegebieden rondom (natte) natuur. Kuijper et al. (2012) rapporteerden over aanwezigheid van drainage in de buurt van natuur, i.c. op 20% van landbouwgrond is drainage aanwezig. Daarnaast bekeken ze effecten van peilgestuurde drainage op de waterhuishouding van nabijgelegen natuur. Zij komen tot de conclusie dat de aanleg en het beheer van deze drainagesystemen niet altijd goed is voor natuur. De ontwatering via het open water moet volgens hen mede in beschouwing genomen worden in termen van bodemhoogte en (stuw)peilbeheer. Vanuit KAD geredeneerd zal er, om natuurdoelen in de nabije omgeving te kunnen dienen, goed gekeken worden naar het ontwerp van het systeem aan de ene kant, en het beheer i.c. de sturing en bediening aan de andere kant. Data over het beheer van KAD en de effecten ervan zullen altijd beschikbaar zijn voor evaluatie, met monitoring als vast onderdeel van de gehele KAD-opstelling.

De kaart met de Natura-2000 en TOP-gebieden hebben we uitgewerkt tot een kaart met een bufferzone rondom van 500 m vanaf deze gebieden (Fig. 1.7). Daarmee wordt een idee verkregen over de omvang van de eventuele attentiegebieden. Beter is het nog om gebiedsspecifieke hydrologische maten hiervoor te gebruiken, bijvoorbeeld een spreidingslengte. Zie bijlage voor kaart met zogenaamde attentiegebieden van waterschap Brabantse Delta, rondom Natte NatuurParels.

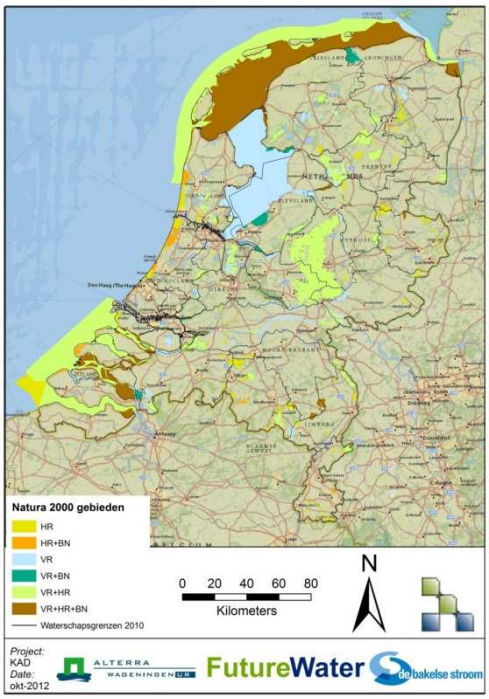


Fig. 1.6 Ligging van Natura-2000 en TOP-gebieden in Nederland. Bron SBB (2012).

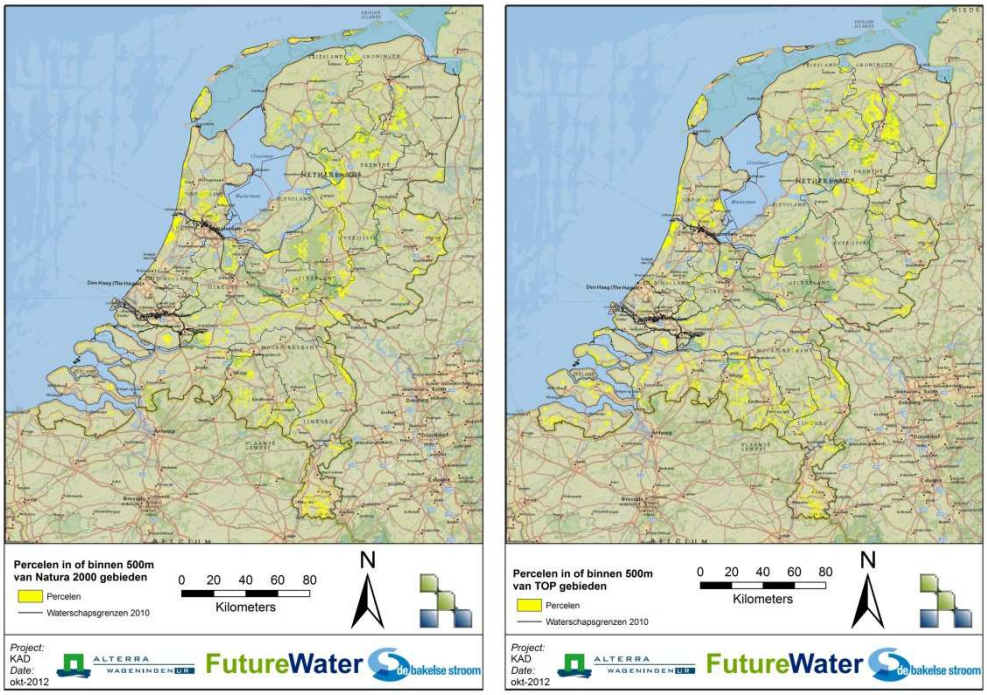


Fig. 1.7 Landbouw en natuur: 500 m bufferzone rondom N-2000 (links) en TOP-gebieden (rechts).

2 Methodiek

2.1 Inleiding

Uit de drie KAD-praktijkproeven en op andere testlocaties te Ospel, Hupsel en andere plekken in Nederland zijn een aantal mogelijke voordelen van samengestelde peilgestuurde drainage (PD) naar voren gekomen. Belangrijk zijn het reduceren van piekafvoeren (KAD), het langer vasthouden van water en eventueel snellere afbraak van stoffen die het oppervlaktewater belasten, waaronder nitraat (PD+KAD). Deze voordelen treden op onder bepaalde bodemkundige en hydrologische condities. De geschiktheidskaarten brengen in beeld waar de condities gunstig zijn voor drie typen drainagesystemen, conventionele (CD), samengestelde peilgestuurde (PD) en KAD.

De overall drainage-geschiktheid is als volgt bepaald:

1) eerst is in beeld gebracht welke landbouwgronden drainage-behoeftig zijn;
2) vervolgens is beoordeeld of de lokale bodem en hydrologie een type drainage geschikt maken om toe te passen;
3) de combinatie van stap 1 en 2 bepaalt welke locaties geschikt zijn welk type drainagesysteem.

Naast het feit dat drainage nodig is vanuit de landbouw kan er ook gekeken worden naar een beleidsmatige behoefte vanuit het waterbeheer. Drainage kan dienen als middel ter ondersteuning van dossiers als anti-verdroging, het halen van KRW-doelen voor het open water en het integraal oplossen van vraagstukken op (deel)stroomgebiedsniveau.

In dit hoofdstuk wordt de werkwijze stap voor stap toegelicht.

2.2 Uitwerking drainagebehoefte landbouw

De landbouwkundige behoefte aan CD, PD of KAD is voor heel Nederland bepaald door een combinatie van bodemtype, grondwatertrap (Gt) en gewas. Als bron voor de bodemtypes is de standaard StiBoKa Bodemkaart voor Nederland schaal 1:50.000 gebruikt. Hierbij zijn de bodems samengevoegd tot de hoofdtypen zand-, klei- en veengrond.

Als basis voor de geteelde gewassen en het landbouwareaal is de Basisregistratie Percelen (BRP) gebruikt. Alle gewassen op de BRP-kaart van 2010 (Dienst Regelingen, Ministerie van EL&I, 2011) zijn gegroepeerd volgens:

- Grasland
- Akkerbouw
- Vollegrondstuinbouw en fruitteelt

Beide laatste groepen zijn ‘bouwland’. Alle andere, niet landbouwkundig gebruikte gebieden in Nederland, zoals stedelijk gebied en natuurgebieden, vallen buiten de BRP-kaart.

Tabel 2.1 Drainagebehoefte vanuit de landbouw, met selectie op basis van grondwatertrappen, grondsoort en landgebruik.

Grondwatertrap	Zand			Klei			Löss			Veen		
	Gras	Akkerbouw	Vollegronds-tuinbouw/ fruitteelt	Gras	Akkerbouw	Vollegronds-tuinbouw/ fruitteelt	Gras	Akkerbouw	Vollegronds-tuinbouw/ fruitteelt	Gras	Akkerbouw	Vollegronds-tuinbouw/ fruitteelt
II												
*III en III**												
IV												
*V en V**												
VI												
*VII en VII**												

In eerste instantie zijn de Gt-kaarten gebruikt van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Echter, deze Gt’s zijn op het moment van karteren destijds reeds beïnvloed door aanwezige drainage. Deze invloed werkt beperkend op de bepaling van de behoefte aan drainage.

Als alternatieve basis voor de grondwatertrap is de kaart gebruikt die Alterra in 2003 heeft gereconstrueerd op basis van het zogenaamde COLN archief (Alterra rapport 614, 2003). COLN staat voor Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland. Oude COLN kaarten uit de periode 1952-1955 zijn gedigitaliseerd en verwerkt tot kaarten voor de zomer en voor de winter. De reden waarom we de COLN-kaarten hebben gebruikt is dat in de Bodemkaart 1:50.000 reeds gedraineerde percelen en gebieden feitelijk aanwezig zijn en daarmee de Gt beïnvloeden, die destijds is gekarteerd. Hiermee zou een deel van Nederland geen behoefte meer aan drainage hebben omdat deze drainage al aanwezig is. Op basis van de COLN-kaarten is een 7-tal grondwaterklassen onderscheiden voor winter en zomer (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 C.O.L.N.-kaarten 1952-1955, grondwaterklassen en –diepte (Alterra, 2003).

Grondwaterklasse	Grondwaterstand [cm-mv]
0	Onbekend
1	0-20
2	20-40
3	40-70
4	70-100
5	100-140
6	140-200
7	>200

Voor die gebieden waar geen COLN-informatie bekend is zijn de gegevens aangevuld en gecorrigeerd m.b.v. de Bodemkaart 1:50.000. We hanteerden de volgende grenzen voor de behoefte aan drainage voor zandgrond en veengrond:

- Grasland: klasse 1 en 2 (0-20 en 20-40 cm)
- Bouwland: klasse 1, 2 en 3 (0-20, 20-40 en 40-70 cm)
- Gt IV bij bouwland: ook drainagebehoefte

We nemen aan dat kleigrond overal in het land drainagebehoefte kent.

2.3 Geschiktheid van bodem en hydrologie voor drainage

De geschiktheidskaart voor CD, PD en KAD in Nederland is tot stand gekomen door te bepalen welke gebieden ongeschikt, en daarna de rest van het areaal in beschouwing te nemen als geschikt. Geschiktheid wordt bepaald door een combinatie van bodem en hydrologie. Als er geen fysische of chemische belemmeringen zijn op een perceel kan het geschikt zijn voor de aanleg van PD. Daarnaast kan het zijn dat er beleidsmatige redenen zijn om drainage niet toe te staan. Deze zaken hebben we niet meegenomen in de werkwijze.

Er zijn een aantal factoren benoemd met bijbehorende criteria (Tabel 2). De factoren die we hebben onderscheiden zijn:

- Doorlatendheid van de bodem op de diepte van de drainbuizen;
- Aanwezigheid van keileem in het ondiepe bodemprofiel;
- Aanwezigheid van ijzer in het bodemprofiel of in kwelwater;
- Hydrologische situatie ter plekke: kwel vanuit of wegzijging naar regionale grondwatersysteem;
- Drooglegging van het perceel i.c. de ontwateringsbasis in de directe buurt van het perceel.

We hebben drie drainagesystemen onderscheiden:
- Conventionele Drainage, waarbij de drains, tot een waterstand behorend bij halve maatgevende afvoer, boven water uitmonden (CD);
- Samengestelde peilgestuurde drainage (PD);
- KlimaatAdaptieve Drainage (KAD).

Zowel PD als KAD zijn voorbeelden van regelbare drainage (RD).

Aspecten als potentieel zure bodems (katteklei), maaiveldhelling en geschiktheid voor sub-irrigatie hebben we niet meegenomen in deze versie van de analyse. We hebben in de praktijk in de zomer van 2012 wel de eerste proeven gedaan met sub-irrigatie, i.c. te Haaksbergen en Marwijksoord.

Vanuit ruimtelijke ordening, waterbeheer of natuurbeheer kunnen terreinen of zones rond natuurgebieden zijn aangewezen waar geen drainage mag worden aangelegd. Meestal i.v.m. verdroging van natuurgebieden. Als er geen uitzondering wordt gemaakt voor peilgestuurde of klimaatadaptieve drainage geldt dat ook hiervoor.

Tabel 2.3 Overzicht van factoren en bijbehorende criteria die bepalen of de onderscheiden vormen van drainage daarbij niet mogelijk zijn. Rood=ongeschikt; oranje=attendering; groen=geschikt.

Factor	Criterium	Groen=geschikt Oranje=kan ongeschikt zijn Rood=ongeschikt		
		CD	PD	KAD
Doorlatendheid rond de drains is onvoldoende	Klei op draindiepte (ca. 1 m-mv)			
Drains mogen niet in de keileem liggen	Keileem <0,6 m diep			
Verstopping drains door ijzer	IJzer in profiel			
Te veel wegzijging waardoor peilsturing nauwelijks effectief	> 0,5 mm/d			
Drooglegging zodanig gering dat ontwateringsbasis te ondiep is	< 0,7 m (zand) < 0,9 m (klei)			

Natuurlijk zijn gehanteerde factoren en criteria onderhevig aan discussie en nuance. De ontstane lijst van factoren en criteria levert een eerste versie op van de ruimtelijke analyse van behoefte aan drainage en geschiktheid voor drainage.

NB en opmerkingen uit het veld

- stedelijk gebied, open water en natuur hebben we expliciet uit analyses gehouden;
- Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 is de basis voor de exercitie, incl. ‘Algemene begrippen en indeling’ (1987);
- keileem ondiep aanwezig (<0,6 m–m.v.): dan is CD soms een optie volgens waterbeheerders, zo blijkt uit hun praktijk;
- ijzer in ondergrond en onder water aanleggen van PD of KAD: er moet water aanwezig zijn om de drains permanent onder water te kunnen houden; daarnaast systemen technisch aanpassen om doorspuiten mogelijk te maken;
- drooglegging gering (<0,7 m): waterbeheerders geven aan dat in praktijk nogal eens gedraineerd wordt, eventueel onderbemalen.

Doorlatendheid op draindiepte beperkt

In Tabel 2 geven we aan dat indien er klei op draindiepte voorkomt, PD en KAD niet geschikt zijn. Reden hiervoor is dat de drainage bij PD en KAD dieper ligt dan conventionele drainage en

vaak onder water ligt. Hierdoor is de klei rondom de drains meestal niet goed doorlatend, hetgeen de werking ervan in de weg staat. De bron voor deze informatie is de Bodemkaart 1:50.000 (Stiboka, 1987). In de praktijk in Zeeland blijkt dit alleszins mee te vallen (mondelinge mededeling André van de Straat).

Fig. 2.1 Doorlatendheid op draindiepte beperkt: klei aanwezig. Bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000.

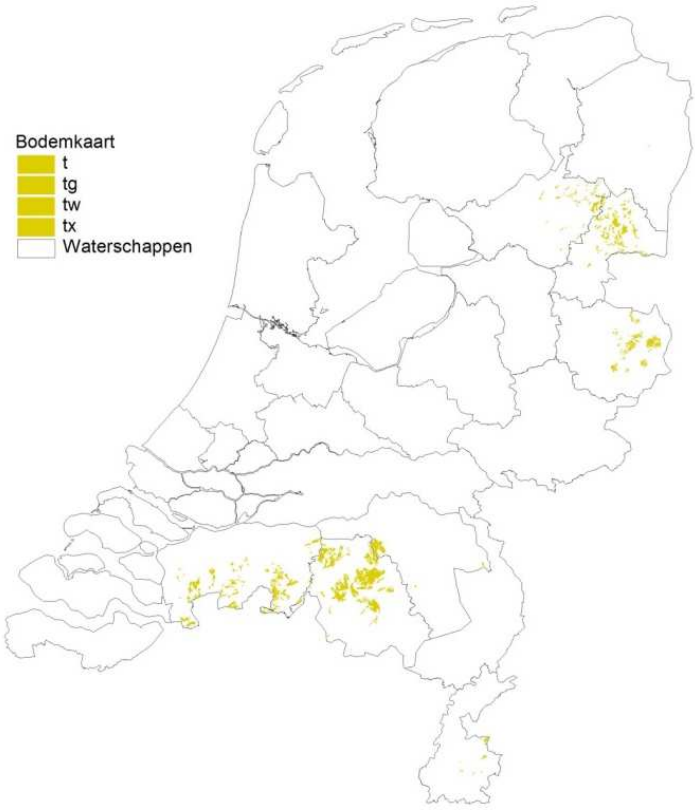


Fig. 2.2 Gerijpte oude klei, anders dan keileem of potklei beginnend tussen 40 en 120 cm en ten minste 0,2 m dik. Bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000.

Keileem aanwezig in bodemprofiel

Als tweede factor wordt keileem genoemd. Drainagebuizen mogen niet in de keileem liggen, want dan werken ze slecht. Ze kunnen wel op of boven keileem liggen. Als de keileem ondiep voorkomt, komen de drains ondiep te liggen en worden ze wellicht beschadigd. Dit levert natuurlijk problemen op. Daarnaast is het zo dat als de keileem op minder dan 0,6 m-mv ligt, het gehele drainagesysteem te ondiep komt te liggen. De werking is dan te beperkt geworden. De bron van informatie was de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 en de de aanduiding KX of X. Echter, deze kaart geeft geen informatie over de exacte diepteligging van de keileem. Aldus is besloten keileem niet als factor expliciet mee te nemen, maar de aanduiding ‘keileem binnen 1,2 m-mv’ als attenderting toe te voegen.

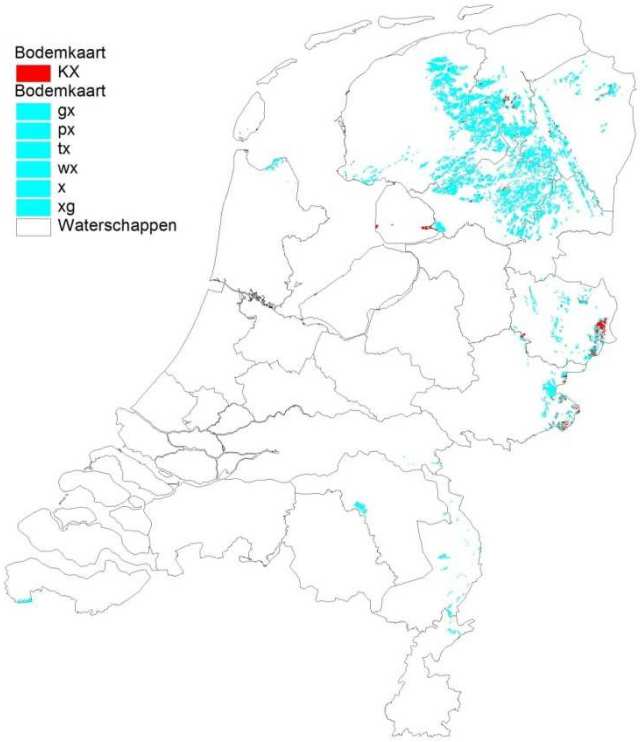


Fig. 2.3 Keileem of potklei in ondergrond tussen m.v. en 1,2 m.v. Bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000.

IJzer in bodemprofiel

De volgende factor in de geschiktheidsbepaling is ‘ijzer in bodemprofiel’. IJzer kan zorgen voor verstopte drainagebuizen en het meer moeten plegen van onderhoud i.c. schoonspuiten van het systeem. We hebben de aanduiding gekoppeld aan de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Verstopping van drains is vooral aan de orde indien de drainagebuizen niet vrijwel permanent onder water liggen. PD en KAD liggen veelal wel onder water, waarbij de kans groot is dat ijzer minder neerslaat en eenmaal neergeslagen ijzer (deels) in oplossing gaat. Daarom hebben we ervoor gekozen bij de landelijke-schaal kaarten de aanduiding ‘ijzer in profiel’ niet mee te nemen als factor, maar als attendering. Natuurlijk kan er bij het ontwerp, de inrichting en het beheer van KAD rekening gehouden worden met onderhoud via het doorspuiten van de drainbuizen.

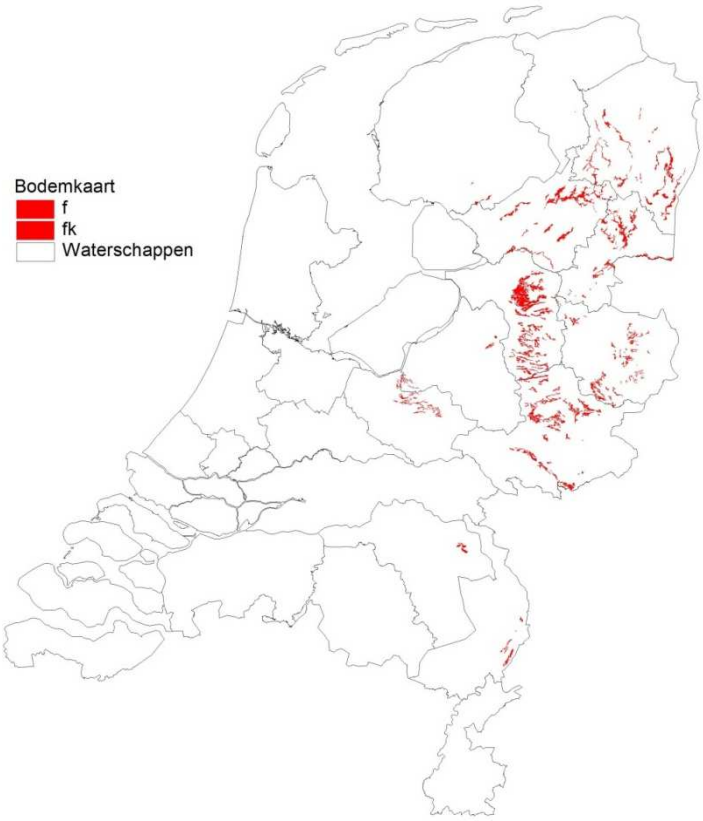


Fig. 2.4 IJzer in bodemprofiel. Voorvoegsel f staat voor Plaatselijk ijzerrijk, binnen 50 cm beginnend en tenminste 0,1 m dik. Bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000.

Wegzijging naar grondwater
Het volgende aspect is een factor van hydrologische betekenis. Het betreft kwel en wegzijging naar en van de deklaag naar een watervoerend pakket. Indien er sprake is van wegzijging is er aan de ene kant weinig behoefte aan drainage want de Gt zal ‘droog’ zijn. Peilsturing heeft dan weinig effect, het grondwater zal letterlijk aan de onderkant van het perceel wegsijpelen. Daarmee volgt dus ongeschiktheid.

In de landelijke kaart voor Nederland hebben we de kwantitatieve informatie over kwel en wegzijging als onvoldoende nauwkeurig ervaren. Daarmee is deze factor als attendering meegenomen.

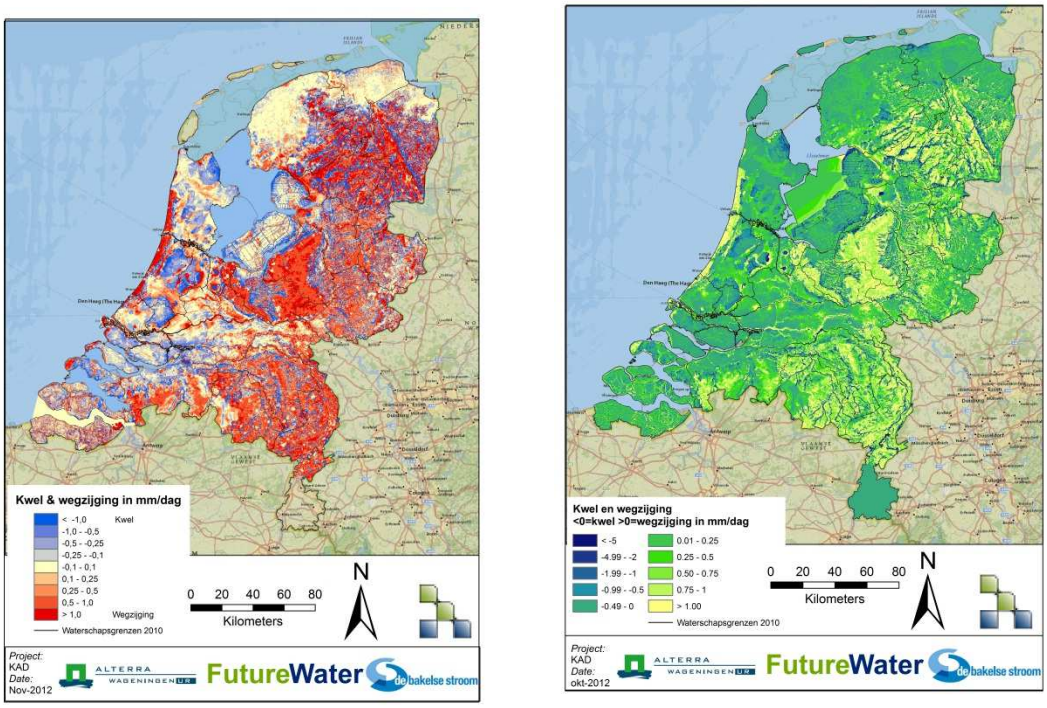


Fig. 2.5 Berekende kwel en wegzijging in Nederland. Links NHI v 2.2 (2011) en rechts informatie uit STONE-instrumentarium v 2.2 (2005).

Door de provincie Zeeland is kaartmateriaal beschikbaar gesteld, op basis waarvan zij het criterium wegzijging > 0,5 mm/d betrouwbaar vinden om mee te nemen in de ongeschiktheidsbepaling (Fig. 2.6). Daarmee zijn situaties met <0,5 mm/d wegzijging en met kwel geschikt voor PD en KAD.

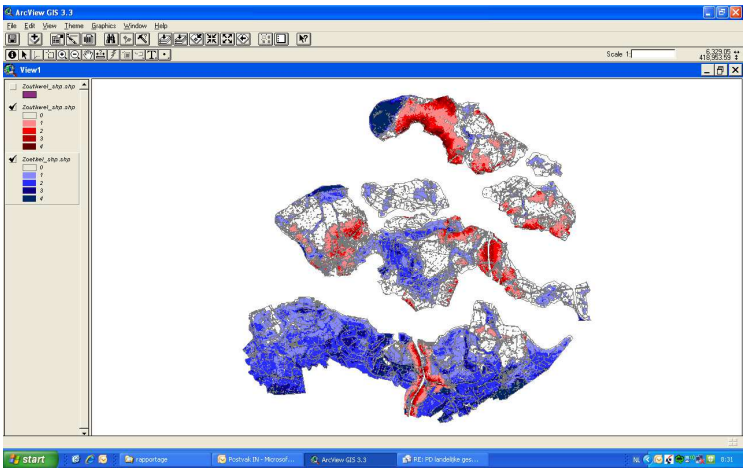


Fig. 2.6 Kwel en wegzijging in de provincie Zeeland (Bron: Provincie Zeeland, 2012).

Geringe drooglegging of ontwateringsbasis open water
De laatste factor in de analyse heeft betrekking op de ontwateringsbasis van eventuele PD- of KAD-percelen. In het geval van peilbeheerste gebieden is de drooglegging hiervoor een maat, gedefinieerd als het hoogteverschil tussen gemiddeld maaiveld en slootpeil in de wintersituatie. In vrij afwaterende gebieden hebben we dan te maken met het hoogteverschil tussen maaiveld en de bodem van een watergang, dan wel de onderkant van een duiker in de watergang ofwel het gehanteerde stuwpeil. Als in gevallen dit hoogteverschil te gering is, zal overgegaan moeten worden tot onderbemaling van een PD- of KAD-put. De ontwateringsbasis moet voldoende groot zijn om het PD-systeem effectief te laten functioneren. We hebben ingeschat dat deze per grondsoort verschillend is. We nemen voor zandgrond een criterium van minimaal 0,7 m en voor kleigrond van minimaal 0,9 m. Deze getallen zijn afgeleid van criteria uit het Cultuurtechnisch Vademecum (2000).

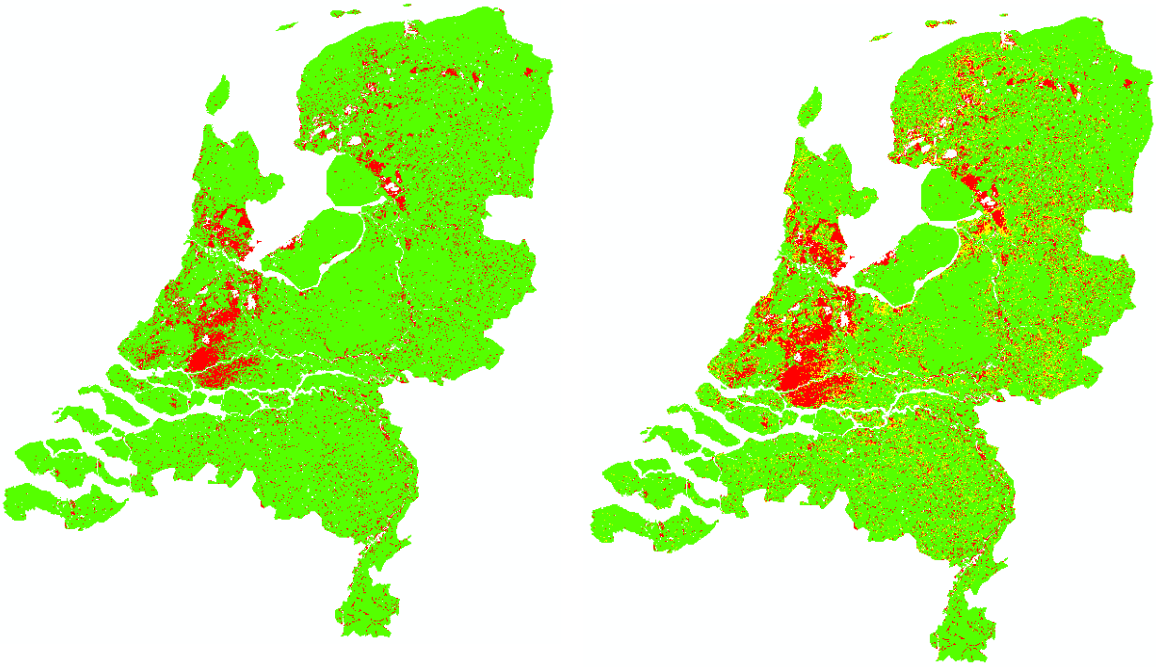


Fig. 2.7 Ontwateringsbasis open water en drooglegging.
Kaart rechts: rood = drooglegging <0,6 m | groen = drooglegging >0,6 m
Kaart links: rood = drooglegging <0,7 m | geel = drooglegging 0,7-0,9 m | groen = drooglegging >0,9 m

Op nationaal niveau is echter de ruimtelijke informatie over de ontwateringsbasis onvoldoende betrouwbaar gebleken om als factor met bijbehorend criterium te kunnen functioneren. Daardoor is ook hier ervoor gekozen om de factor als attendering mee te nemen, zonder daarbij een betrouwbare kaart (als voorbeeld Fig. 2.8) te hebben als toelichting.

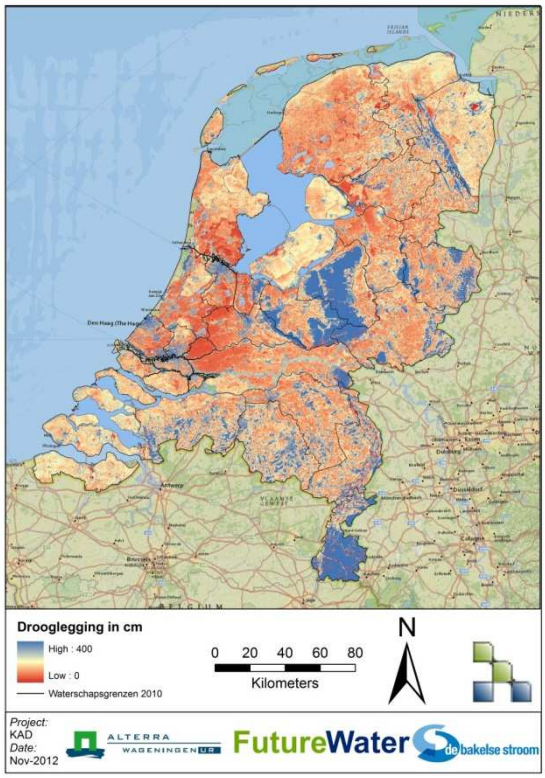


Fig. 2.8 Onwateringsbasis: drooglegging in peilbeheerst Nederland of bodemhoogte watergangen in vrij-afstromend Nederland. Bron: NHI v 2.2 (2011).

2.4 Combinatie van behoefte en geschiktheid

De combinatie van drainagebehoefte en bodem en hydrologie bepaalt welke gebieden geschikt zijn voor PD en KAD. In verband met mogelijke aanwezigheid van klei op draindiepte is op de kaart ook aangeven dat de kaart indicatief is en dat veldonderzoek altijd wenselijk is voorafgaand aan de aanleg van drainage. Dit is een generieke aanbeveling.

Tenslotte is het vermeldenswaardig dat niet alleen de behoefte aan en geschiktheid voor KAD ervoor zorgen dat de aanleg van KAD wordt gerealiseerd. Ook juridisch-bestuurlijke en financiële aspecten spelen een belangrijke rol. We hebben de juridisch-bestuurlijke aspecten (WP4) en de kosten-baten-analyse (WP5) apart gerapporteerd (Van den Eertwegh, 2012; Van den Eertwegh en Droogers, 2012).

3 Implementatie en resultaten

3.1 Drainagebehoefte

De drainagebehoefte vanuit de landbouw binnen Nederland is weergegeven in Fig. 3.1. Deze is tot stand gekomen op basis van de BRP-kaart en COLN-kaarten, aangevuld met Gt-informatie. Het areaal beslaat ongeveer 65% van het BRP-areaal.

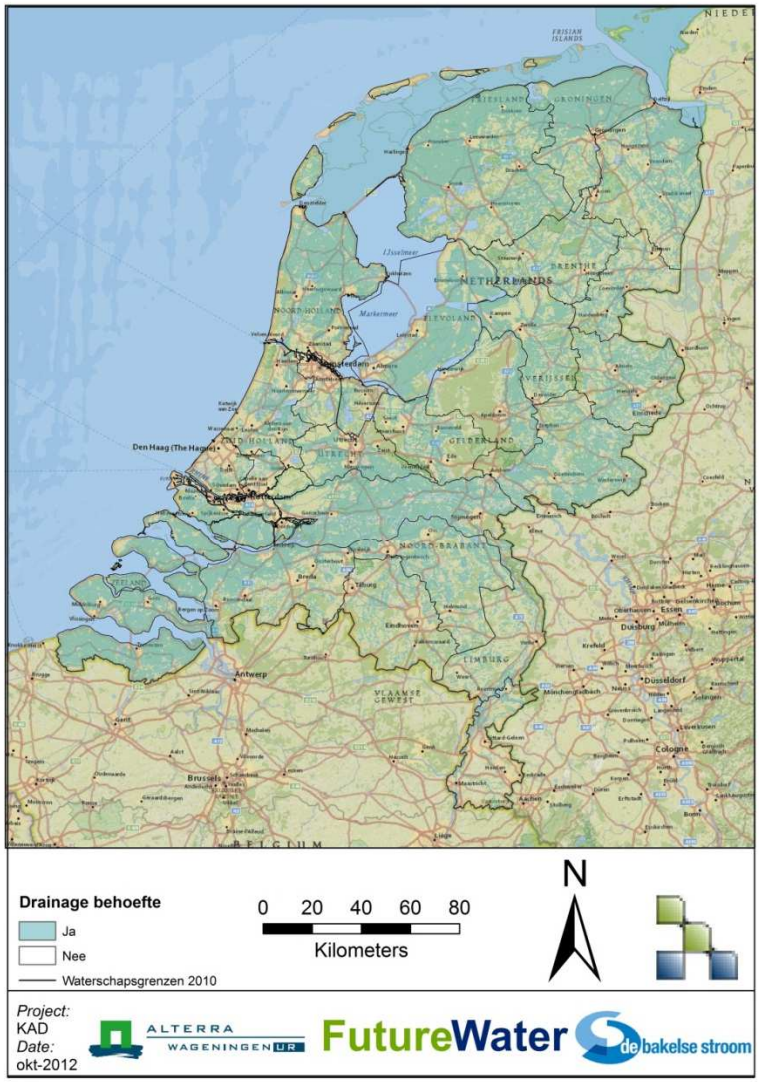


Fig. 3.1 Drainagebehoefte op basis van BRP-kaart en C.O.L.N. kaart.

3.2 Drainagegeschiktheid

Op basis van bodemkenmerken en hydrologie is de geschiktheid bepaald voor CD aan de ene kant en PD/KAD aan de andere kant (Fig. 3.2). Conform Tabel 2 zijn de kaarten verschillend voor die gebieden waar op draindiepte klei voorkomt (PD en KAD ongeschikt) en waar ijzer in het bodemprofiel tot 1,2 m-m.v. aanwezig is (CD ongeschikt).

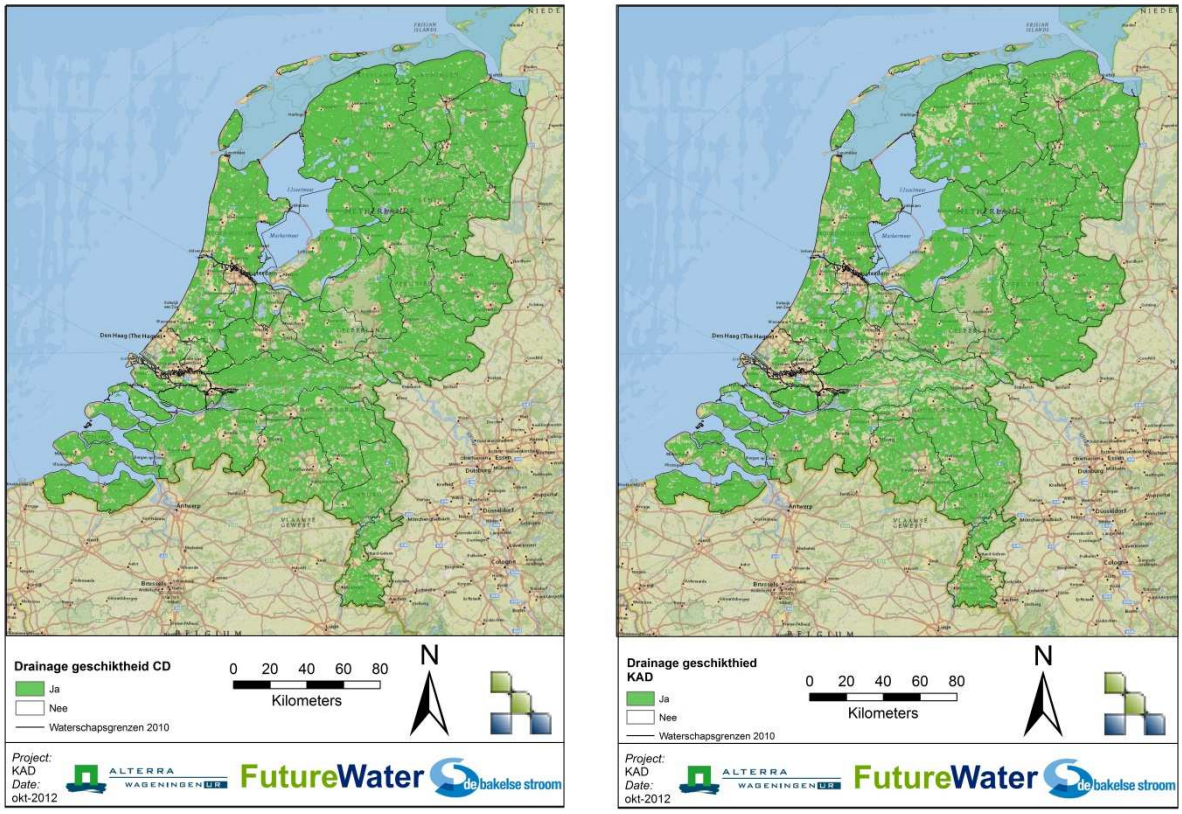


Fig. 3.2 Drainagegeschiktheid vanuit de landbouw: conventionele drainage CD (links) en samengestelde peilgestuurde PD en KAD (rechts).

3.3 Combinatie van behoefte en geschiktheid

Uitgangspunt van verdere analyses op basis van de kaarten voor Nederland is dat een locatie én landbouwkundig gezien behoefte heeft aan drainage én de bodem en hydrologie de locatie geschikt maken daarvoor. De combinatie van de kaarten levert aldus de basis voor verdere toepassing op, voor concrete plannen tot aanleg van KAD of voor beleidstoepassingen in de ruimtelijke zin. Fig. 3.3 laat de kaarten zien. Voor de PD/KAD kaart het areaal ongeveer 55% van het BRP-areaal. Opgemerkt moet worden dat als de attenderingsfactoren aanleiding geven tot ongeschiktheid, dit areaal kleiner wordt. Daarmee is het getoonde areaal een soort zoekgebied geworden.

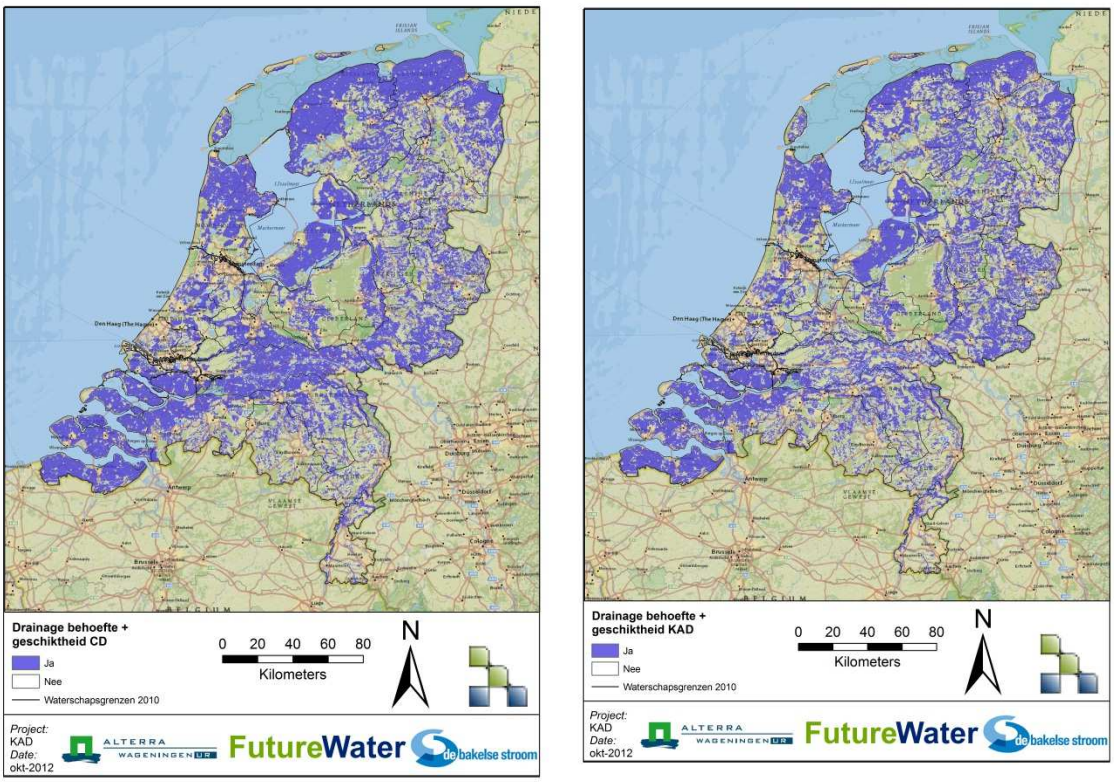


Fig. 3.3 Combinatie van drainagebehoefte en -geschiktheid conventionele drainage CD (links) en samengestelde peilgestuurde PD en KAD (rechts).

3.4 KAD als middel tegen regionale wateroverlast

Nu we weten waar KAD op de combinatiekaart van behoefte en geschiktheid voorkomt, kunnen we analyseren waar en op welk areaal KAD een bijdrage kan leveren aan bestrijding van regionale wateroverlast door water vast te houden in de bodem. Voordat we de analyse maken, richten we ons eerst op de gegevens die inzake wateroverlast tot onze beschikking stonden. Binnen het project is het niet gelukt om van alle waterschappen bestaande berekeningen en kaarten te verkrijgen, teneinde een landsdekkende kaart te maken met daarop de locaties met wateroverlast bij buien van diverse herhalingstijden. Daarnaast zijn de methodieken die de waterschappen hebben gehanteerd niet uniform. Daarmee zou een kaart voor heel Nederland een niet-eenduidig beeld schetsen. Beide zaken maken dat we eerder berekende arealen uit 2010 voor de Klimaatatlas (Immerzeel et al., 2010) hebben gebruikt voor de analyse.

Waterschap Regge en Dinkel heeft een kaart beschikbaar gesteld waarop te zien is waar de berekende wateroverlast optreedt ten gevolge van inundatie tijdens en na zware buien met T=100 jaar bij huidig klimaat. Als voorbeeld hebben we daarnaast voor het beheergebied van dat waterschap de Klimaatatlas-kaart uitgewerkt. Beide kaarten zijn te zien in Fig. 3.4.

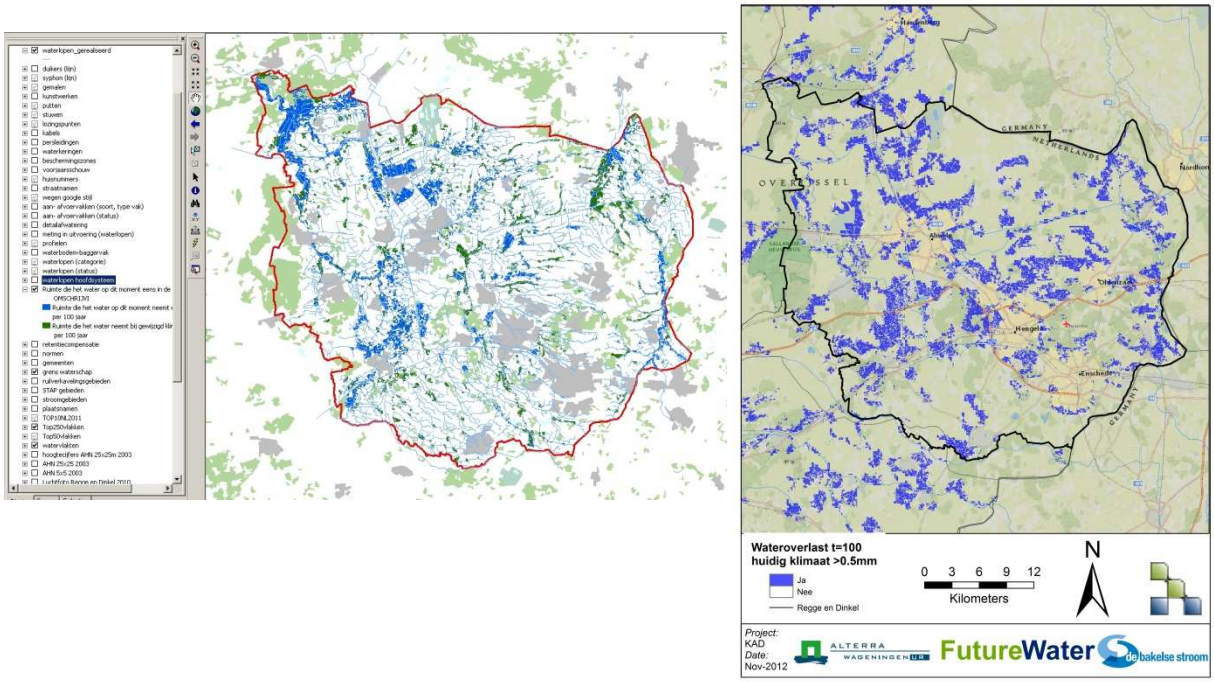


Fig. 3.4 Berekende wateroverlast in de ruimtelijke zin bij T=100 jaar onder huidig klimaat. Rechts de kaart van het waterschap Regge en Dinkel (huidig klimaat in blauw), links berekeningen in kader van de Klimaatatlas (Immerzeel et al., 2010).

Er zijn zowel overeenkomsten als verschillen te zien in de ruimte, overigens bij een iets groter berekend areaal bij de kaart uit de Klimaatatlas. Deze kwestie zal voor discussie blijven zorgen, ook in andere delen van Nederland. Daarnaast moet opgemerkt worden dat KAD bovenstrooms voor oplossingen kan zorgen voor benedenstroomse wateroverlast. Er zal ook in de ruimten die op de kaart te zien zijn nader gekeken moeten worden naar het netwerk van open water en hoe het water feitelijk stroomt in deelstroomgebieden en afwateringseenheden. Hoe het ook zij, er zal voor deze landsdekkende analyse behoefte blijven aan landelijk uniforme informatie. Het alternatief is dat de kaart voor heel Nederland wordt opgebouwd uit regionale kaartbladen, na een regionale verfijning en toepassing van de methodiek.

De huidige methodiek levert een kaart op die te zien is in Fig. 3.5. We hebben als presentatievorm ervoor gekozen dat daar waar wateroverlast is en KAD geschikt is, we dit gebied hebben aangemerkt als KAD geschikte middel tegen wateroverlast. Het areaal waarop KAD een geschikt middel is tegen wateroverlast is ongeveer 25% van het BRP-areaal, gelijk aan ongeveer 500.000 ha. Dit is een ruim areaal dat gezien moet worden als een zoekgebied. Ook hierbij moet namelijk opgemerkt worden dat dit areaal kleiner wordt naarmate de attenderingsfactoren KAD niet geschikt maken. Nadeel van de toepassing is dat het in de ruimte weliswaar het zoekgebied aangeeft, maar de exacte locatie van KAD kan anders zijn. Ook kunnen locaties waar nu wateroverlast berekend wordt geholpen worden door KAD

bovenstrooms daarvan aan te leggen. Het areaal schuift daarmee binnen de grenzen van een deelstroomgebied of afwateringseenheid.

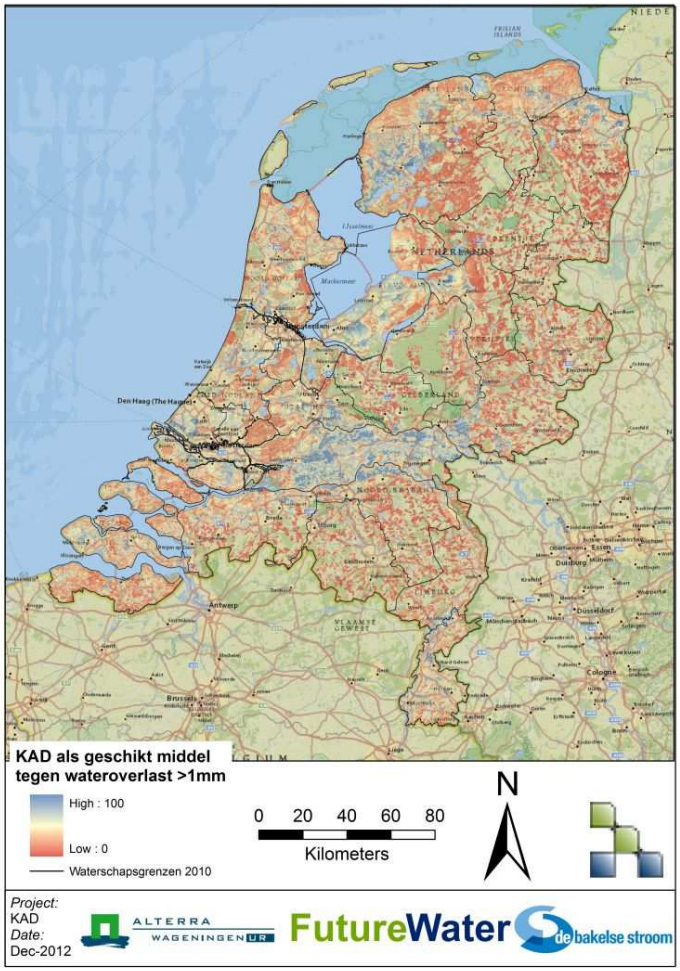


Fig. 3.5 KAD als middel tegen wateroverlast op nationale schaal.

3.5 Verfijning en verbetering op regionale schaal

In overleg met de deelnemende waterschappen, waaronder Hunze en Aa's, bleek de drainagebehoefte ruim ingeschat voor bijvoorbeeld het gebied de Veenkoloniën. Ook kan KAD aldaar wateroverlast opvangen om deze elders te voorkomen. Daarnaast zijn een aantal gebieden rondom het Zuidlaardermeer in de analyse niet naar voren gekomen als wateroverlast-gebied. Ook staan een aantal bemalen gebieden langs de kust als geschikt voor KAD op de kaart. Het waterschap kan daar op zee lozen, zonder benedenstroomse wateroverlast. Ook de waterschappen Regge en Dinkel en Brabantse Delta hebben aangegeven dat met name de informatie over de wateroverlast verbeterd kan worden.

Voor de provincie Zeeland hebben we een regionale verfijning kunnen uitvoeren (Van den Eertwegh et al., 2012). Een aantal kaarten is in deze rapportage opgenomen om te laten zien welke informatie het betreft.

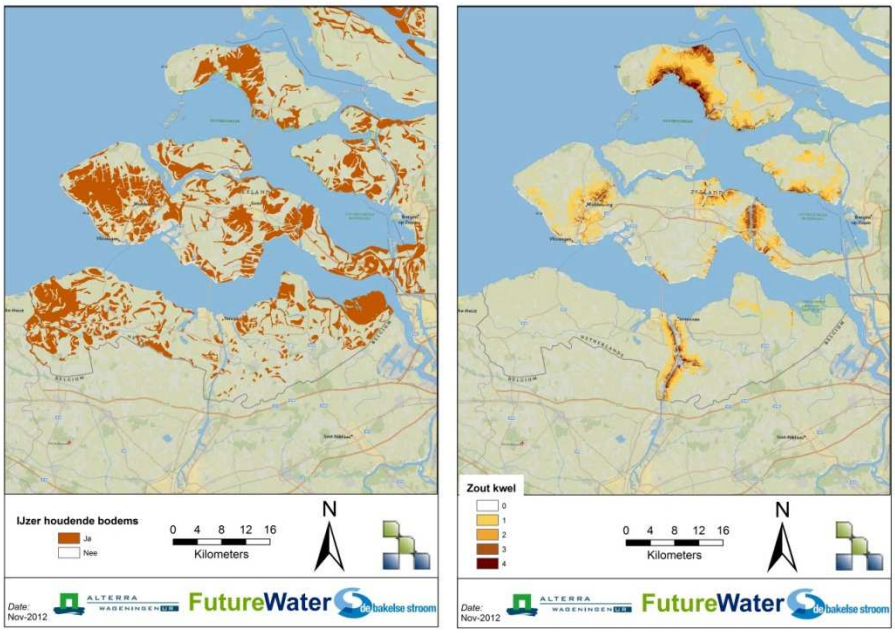


Fig. 3.6 IJzerhoudende bodems (links) en zoute kwel als mogelijke bron van ijzer (rechts). Bron: Provincie Zeeland (2012).

IJzerhoudende bodems en ijzer in kwelwater (Fig. 3.6) kunnen tot verstoppingen leiden van drainagebuizen. Toepassing van analyseresultaten in termen van waterkwaliteit zijn te zien aan de hand van Fig. 3.7 (links) inzake stikstof. Als toepassing van KAD een lagere N-concentratie in het drainagewater tot gevolg heeft, kan het op locaties waar KRW-oppervlaktewaterlichamen een teveel aan stikstof te zien geven een oplossing bieden. Ook droogtegevoeligheid is een thema dat via waterconservering met PD en KAD aangepakt kan worden (Fig. 3.7 rechts).

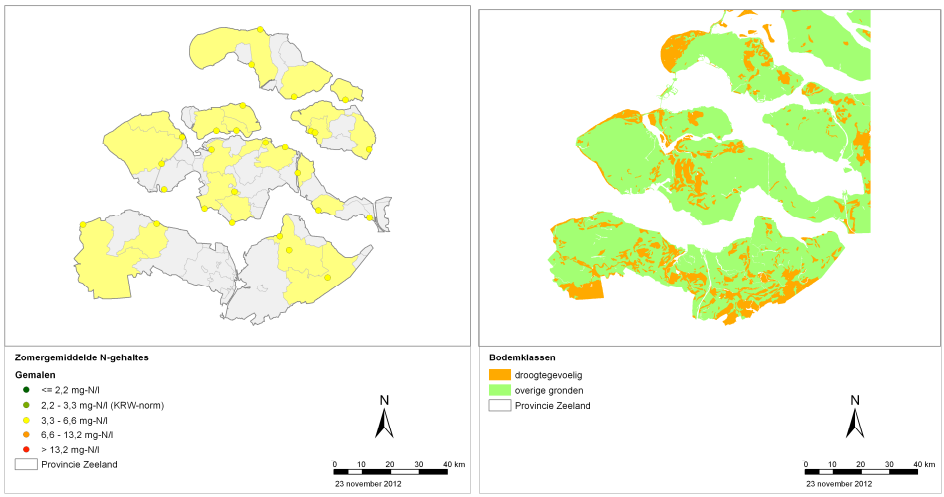


Fig. 3.7 Zomerconcentraties stikstof N [mg/L] in oppervlaktewater provincie Zeeland (links) en droogtegevoelige bodems in de provincie Zeeland (rechts) Bron: Provincie Zeeland (2012).

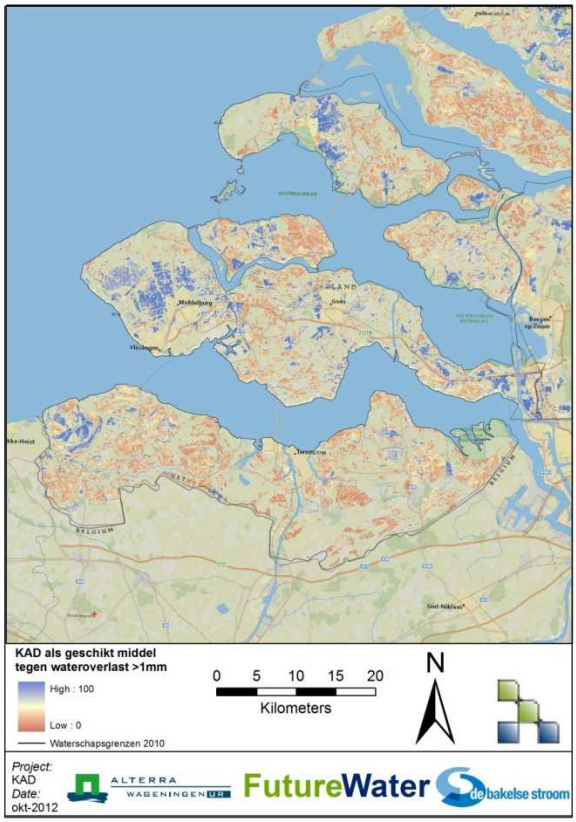


Fig. 3.8 KAD als middel tegen wateroverlast voor de provincie Zeeland.

Tenslotte volgt voor Zeeland de kaart waarop KAD als geschikt middel tegen wateroverlast te zien is (Fig. 3.8). Hierbij dient opgemerkt te worden dat er waarschijnlijk sprake is van een onderschatting van het feitelijke areaal dat geschikt is, vanwege de factor klei op draindiepte en het kunnen doorspuiten van het drainagesysteem tegen verstopping door ijzer.

4 Conclusies en aanbevelingen

We hebben de geschiktheid van KAD als middel tegen wateroverlast en voor waterconservering ingeschat voor heel Nederland. Uitgangspunten hierbij waren dat er beleidsmatig behoefte moet zijn aan KAD om wateroverlast te bestrijden, dat bodem en hydrologie toepassing van KAD mogelijk maken en dat er behoefte is aan KAD vanuit de landbouw. Het landbouwareaal in Nederland beslaat ongeveer 1.900.000 ha. Op basis van onze analyse heeft 60 à 65% hiervan behoefte aan drainage, geredeneerd vanuit de eisen die gewassen aan de lokale waterhuishouding stellen. Van oorsprong zijn bodems veelal te nat om succesvol gewassen te verbouwen. Met uitzondering van natuurgebieden, gebieden met diepe grondwaterstanden zoals de hogere zandgronden en andere gebieden met wegzijging is ontwatering nodig voor landbouwkundig gebruik van de grond. Naast de ontwatering via greppels en sloten is buisdrainage vaak een geschikt ontwateringsmiddel. Onderwaterdrainage in het veenweidegebied van Nederland neemt momenteel toe, als middel tegen bodemdaling door een betere beheersing van de grondwaterstand.

Of KAD een geschikt ontwateringsmiddel is hangt af van bodem en hydrologie ter plekke. We hebben een aantal factoren benoemd, met een deel als attendering, die de geschiktheid bepalen: klei aanwezig ter hoogte van de drainagebuizen, keileem in de ondiepe ondergrond, verstopping van drainage door ijzerneerslag,wegzijging naar regionale grondwater of een te geringe drooglegging. Ruim de helft, i.c. 55 à 60% van het landbouwareaal in Nederland dat behoefte heeft aan drainage, is geschikt voor de toepassing van KAD.

Als we behoefte aan en geschiktheid voor KAD combineren springen een aantal regio’s en gebieden in Nederland eruit, te weten de IJsselmeerpolders, Zuidhollandse en Zeeuwse eilanden, de kustgebieden in Friesland en Groningen, delen van het rivierengebied en de beekdalen in de zandgebieden. Ook in diepe droogmakerijen biedt KAD kansen voor oplossingen.

De beleidsmatige opgave voor wateroverlast is door waterbeheerders in Nederland structureel opgezet en bepaald in 2006 in het kader van het NBW. Hiervoor zijn ook scenario’s toegepast van het KNMI inzake klimaatverandering. In 2013 vindt een volgende ronde plaats, met up to date klimaatscenario’s KNMI-next. Waterbeheeders hanteren voor hun beheergebieden verschillende methodieken vergeleken met andere waterbeheerders. Ook de informatiebasis waarop de berekeningen wordt gebaseerd toont verscheidenheid binnen Nederland. In het kader van de Klimaatatlas zijn in 2010 landsdekkend uniforme berekeningen uitgevoerd ter bepaling van wateroverlast-kaarten. Wanneer we de T=100 kaarten uit die exercitie toepassen om te bepalen of KAD een oplossing kan bieden voor wateroverlast, dan ontstaan zoekgebieden waarbinnen nader onderzocht moet worden waar de exacte locaties voor KAD precies liggen. Voorbeelden van deze gebieden zijn het rivierengebied, delen van Zeeland, Flevoland, diepe droogmakerijen en beekdalen.

Het potentieel areaal ofwel zoekgebied voor KAD beslaat ongeveer 500.000 ha. Dit areaal is aan de ruime kant. Natuurlijk zullen de attenderingskaarten en eventueel andere, aanvullende factoren en criteria de geschiktheid voor KAD negatief kunnen beïnvloeden, en daarmee het

areaal verkleinen. Wegzijging naar het regionale grondwater is een van die factoren. Als de aanvullende factoren 75% reductie van areaal oplevert, resteert nog steeds een groot gebied waarvoor KAD een geschikte maatregel is.

De discussie rondom de gepresenteerde ruimtelijke analyses spitsen zich met name toe op de aanwezigheid en kwaliteit van de informatie die momenteel landsdekkend beschikbaar is. Daarnaast wijkt de landsdekkende kaart over de wateropgave voor wateroverlast af van de informatie die bij de afzonderlijke waterbeheerders aanwezig is.

Aanbevelingen voor de ruimtelijke analyse hier uitgevoerd zijn als volgt te omschrijven:

- Verbeteren van landelijke informatie qua inhoud en schaal. Hierdoor kunnen attenderingskaarten weer hun rol krijgen als factor in de geschiktheidsbepaling. Met name te noemen zijn drooglegging i.c. waterpeilen in laag-Nederland en hoogte van waterbodems en stuwen in hoog-Nederland en ruimtelijke informatie over kwel en wegzijging. NHI-berekeningen bleken tot nu toe onvoldoende nauwkeurig hiervoor;
- Verfijning van de landelijke methodiek en GIS-kaarten met behulp van regionale informatie en kennis;
- Verzamelen en beschikbaar maken van verbeterde gegevens over de regionale wateropgave door wateroverlast in de loop van 2013;
- Toepassing van KAD als middel ter verbetering van de waterkwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater (KWR-doelen); idem tegen verzilting door grotere regenwaterlenzen (Delta-zoetwatervoorziening).

De feitelijke toepassing van KlimaatAdaptieve Drainage in de praktijk zal altijd gepaard moeten gaan met een locatieonderzoek voor een geschikt ontwerp en beheerstrategie. Daarnaast spelen juridische apecten en kosten en baten een rol van betekenis. Deze studie heeft aangetoond dat in diverse gebieden van Nederland KlimaatAdaptieve Drainage een waardevol middel is dat de bodem actief in het waterbeheer kan betrekken.

5 Referenties

Commissie m.e.r., 2012. Programmatische Aanpak Stikstof. Advies van de Commissie m.e.r. Rapport 2540-168.

Cultuurtechnisch Vademecum, 2000. Handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied. Elsevier Bedrijfsinformatie.

Dienst Regelingen, 2011. Perceelsgegevens Basisregistratie Percelen 2010.

Eertwegh, G.A.P.H. van den, J. van Bakel, L. Stuyt, M. van der Schans, 2012. Drainagegeschiktheidskaarten en handvaten voor opschaling. Onderzoek naar peilgestuurde diepe drainage in Zeeland.

Immerzeel, W., H. Goosen, M. de Groot, P. Droogers, 2010. Klimaatatlas: ontwikkeling wateroverlastkaarten. H_2O/10-2010: 33-36.

Jansen, P.C., M. Knotters, D.J. Brus en J.B.F. van der Horst, 2003. Reconstructie van historische grondwaterstandskarakteristieken met grondwaterstanden gemeten in de periode 1952-1955. Alterra-rapport 614.

Kuijper, M., H.P. Broers, J.C. Rozemeijer, 2012. Effecten van peilgestuurde drainage op natuur. Deltares rapport project 1206925-000.

Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV), 2004. Hydrologische Woordenlijst.

Rooij, W. de, 2010. Gedraineerde landbouwgrond per gemeente en Percentage mogelijk te beregenen landbouwgrond per gemeente. Inventarisatie via Dienst Regelingen. CBS, 2010 (www.cbs.nl).

Staatsbosbeheer, 2012. Ligging N-2000 en TOP-gebieden in Nederland. Kaartmateriaal in GIS.

Stiboka, 1987. Algemene begrippen en indelingen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. 3e Herziene uitgave.

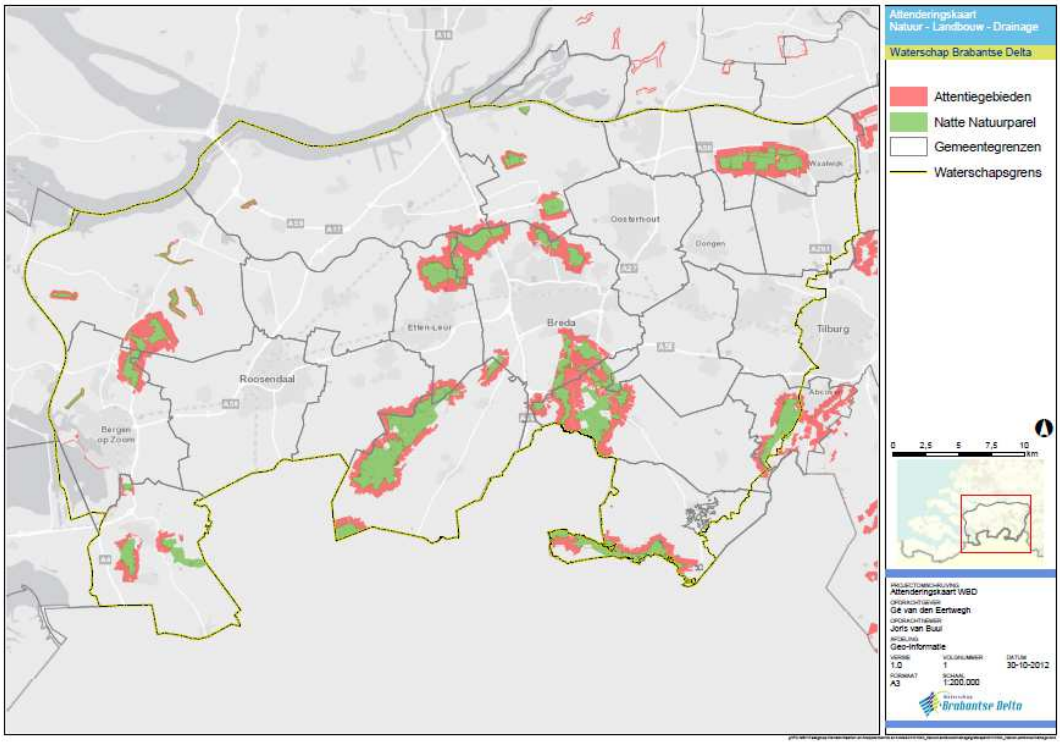
Stuyt, L.C.P.M. 2012. Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Bundeling van ervaringen, onderzoek en indrukken in binnen- en buitenland.

6 Bijlagen

Omschrijving WP3-activiteiten uit plan van aanpak fase 2 SBIR-KAD.

WP3	**Onderzoek landelijke geschiktheid**
Doel	Onderzoek naar landelijke geschiktheid van inzet Klimaatadaptieve Drainage
Toelichting	Uit de haalbaarheidsstudie was een eerste kwantitatieve inschatting gemaakt van de totale oppervlakte waarvoor Klimaatadaptieve Drainage geschikt zou zijn. In dit WP zal een kwantitatieve bepaling worden uitgevoerd gebaseerd op huidige wateroverlast, bovenstroomse gebieden, drooglegging, hoogte en grondgebruik. Resultaat van dit WP zal een geschiktheidskaart voor Nederland zijn voor toepassing van Klimaatadaptieve Drainage.
Activiteiten	3.1 Gegevens verzamelen 3.2 GIS analyses 3.3 Toetsen met waterbeheerders 3.4 Doorkijk naar buitenland
Periode	maand 12 – maand 18
Risico en oplossing	• Verschil in mening bij waterbeheerders over geschiktheid Klimaatadaptieve Drainage in hun beheergebied: Waterbeheerders worden intensief bij het project betrokken door workshops te organiseren en demonstraties in het veld bij te wonen. • Mogelijk is niet alle benodigde GIS data landsdekkend: Door middel van geostatistiek en analyses kunnen mogelijke “no-data” plekken opgevuld worden.

Kaart attentiegebieden Natte NatuurParels
Waterschap Brabantse Delta



KAD als geschikt middel tegen wateroverlast

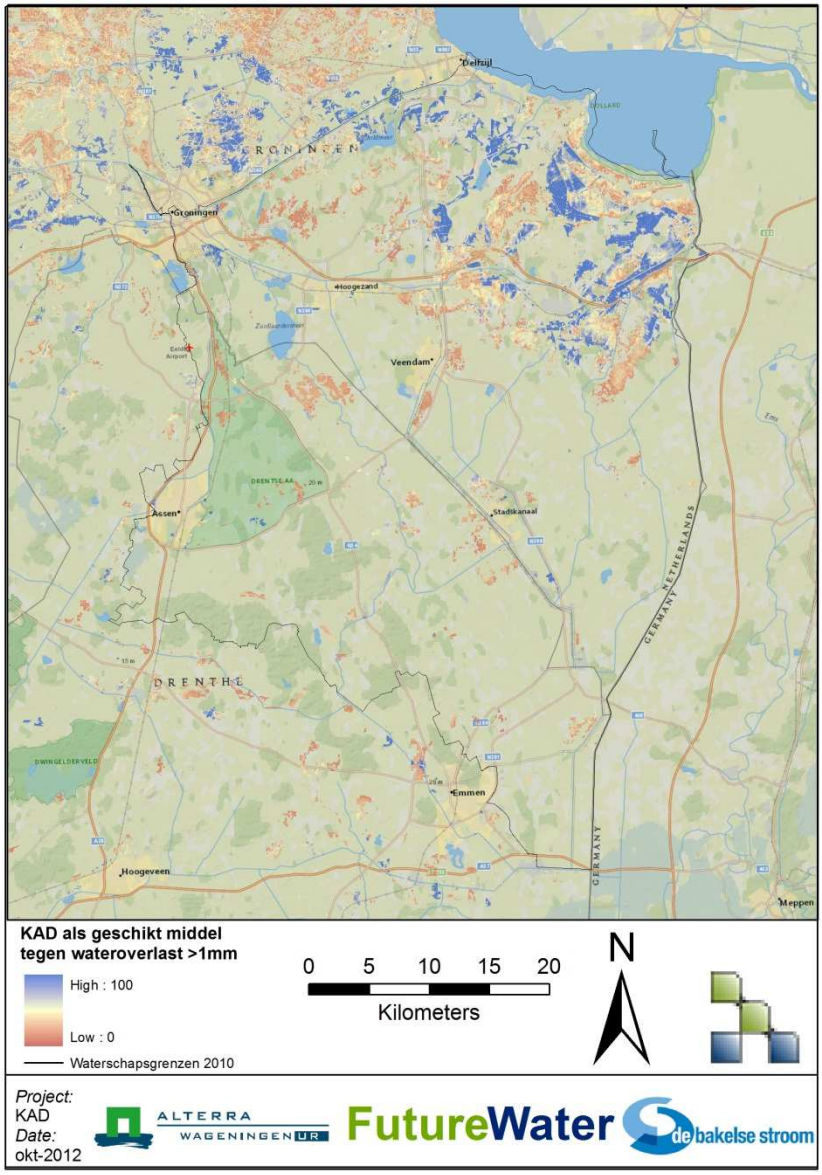


Fig. B.1 KAD als middel tegen wateroverlast voor het beheergebied van waterschap Hunze en Aa's.

KAD als geschikt middel tegen wateroverlast

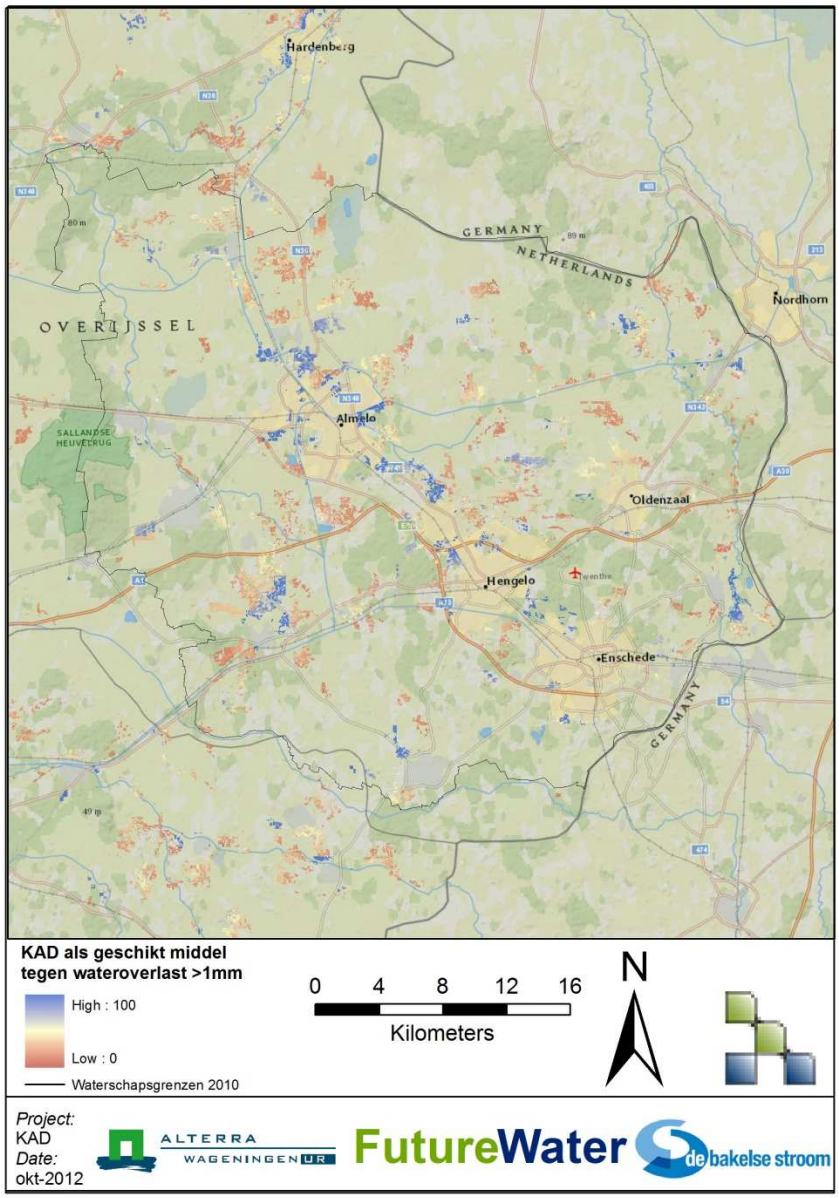


Fig. B.2 KAD als middel tegen wateroverlast voor het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel.

KAD als geschikt middel tegen wateroverlast

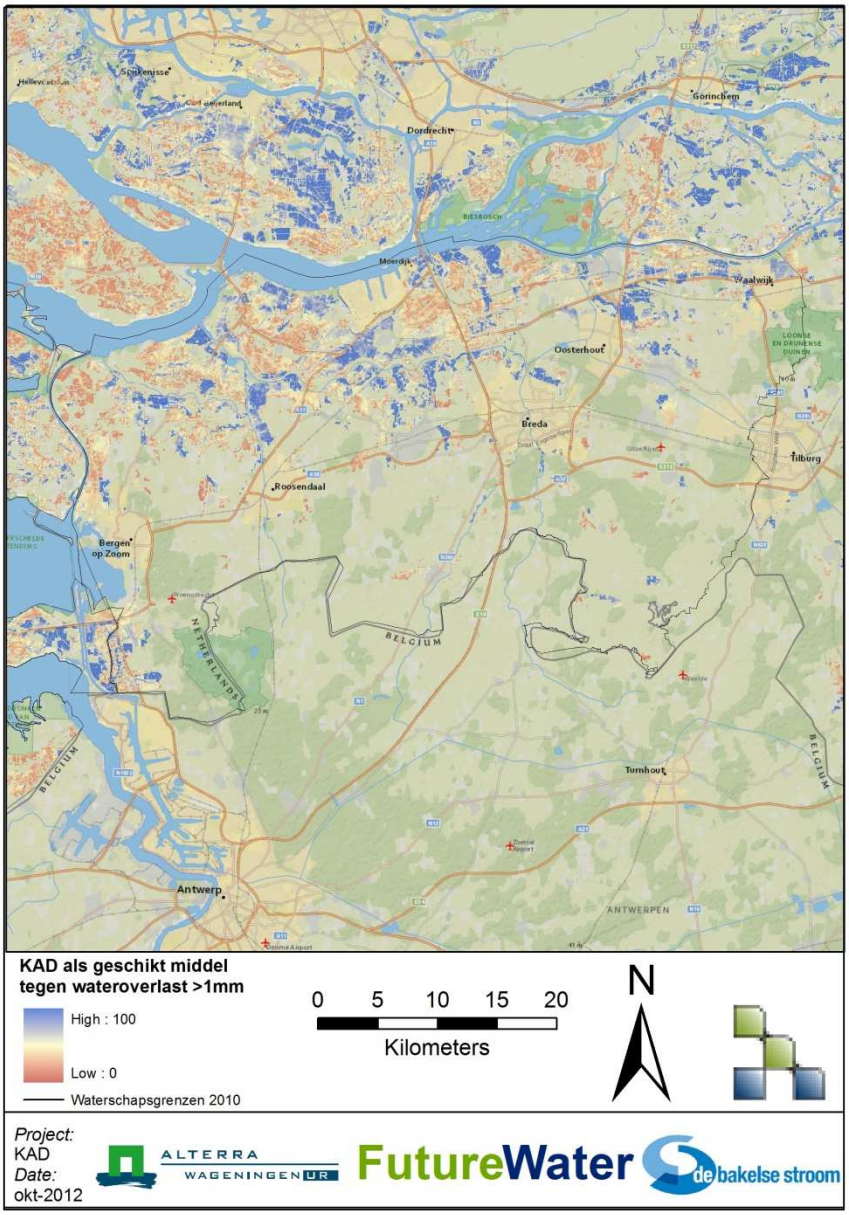


Fig. B.3 KAD als middel tegen wateroverlast voor het beheergebied van waterschap Brabantse Delta.