

Vitaliteit van landbouwbodems in Noord-Brabant

Beschikbare kennis en informatie op kaart

Auteur(s) : Ir. K. van Duijvendijk (NMI)
Dr. ir. D.W. Bussink (NMI)
Dr. ir. G.H. Ros (NMI)
Dr.ir. P Van Vliet (Eurofins Agro)
Dr. ing. R.L.M Schils (WER)



© 2019 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Inhoud

	pagina
Leeswijzer	2
1. Introductie	4
2. Materiaal & Methode	6
2.1 Kenmerken studiegebied	6
2.2 Bodemkaarten	7
2.3 Ecosysteemdiensten	8
2.4 Trendanalyse organische stof en fosfaat	9
2.5 Actualisering grondwatertrappenkaart	10
3. Basiskaarten bodem	12
3.1 Organische stofgehaltes	13
3.2 Zuurgraad	14
3.3 Grondwatertrappen	16
3.4 Zandgehalte	17
3.5 Kleigehalte	18
3.6 Siltgehalte	20
3.7 N-totaal	21
3.8 Fosfaattoestand	22
3.9 Klei-humus complex (CEC)	24
3.10 Fosfaatverzadiging	25
3.11 Zinkgehalte	26
3.12 Kopergehalte	28
3.13 S-totaal	29
3.14 Bodemkenmerken per ecosysteemdienst	30
4. Trendanalyse organische stof en fosfaat	31
4.1 Resultaten	31
4.2 Ruimtelijke verdeling	33
5. Ecosysteemdiensten	34
5.1 Nutriëntenretentie en -buffering	34
5.2 Bodemstructuur	38
5.3 Ziekte- en plaagwering	41
5.4 Adaptatie en flexibiliteit	43
5.5 Zelfreinigend en bufferend vermogen	46
5.6 Waterregulering	49
5.7 Klimaatfunctie	52
5.8 Bodembiodiversiteit	55
5.9 Totaalscore bodem-ecosysteemdiensten	57
6. Grenzen en figuren ecosysteemdiensten	59
6.1 Nutriëntenretentie- en levering	59
6.2 Bodemstructuur	62
6.3 Ziekte- en plaagwering	63
6.4 Adaptatie en flexibiliteit	64
6.5 Zelfreinigend en bufferend vermogen	65
6.6 Waterregulatie	67
6.7 Klimaatfunctie	69
7. Referenties	70

Leeswijzer

In dit rapport is via kaarten een ruimtelijk overzicht gegeven van de waardering van diverse bodemkenmerken gebaseerd op de grondanalyse data van agrarische bedrijven in de periode 2013- 2017.

In H1. is de aanleiding weergegeven en is benoemd welke parameters en ecosysteemdiensten van de landbouwbodems zijn meegenomen.

In H2 wordt toegelicht hoe de waardering van een ecosysteemdienst conceptueel tot stand is gekomen, welke bodemdata zijn gebruikt en hoe de trendanalyse met betrekking tot de ontwikkeling van de fosfaattoestand en het organische stofgehalte over de afgelopen 25 jaar is opgezet.

In H3 zijn de individuele bodemkenmerken en de waardering van het kenmerk in kaartvorm weergegeven. Bij elke bodemparameter is een korte toelichting gegeven inclusief een toelichting op de betekenis van de parameter.

In H4 zijn de resultaten van de trendanalyse weergegeven.

In H5 zijn de bodemparameters, zoals beschreven in H3, tezamen met enkele andere parameters gebruikt om diverse ecosysteemdienst kaarten te maken inclusief een overall-weging van de ecosysteemdiensten leidend tot de bodemvitaliteitskaart in H5.9. Voor elke ecosysteemdienst is er een formule opgesteld waarin bodem- en managementparameters zijn opgenomen.

De waardering van een individuele bodem- en management parameter in een bepaalde ecosysteemdienst is in H6 weergegeven.

Deze rapportage sluit aan en bouwt voort op een eerdere studie van Hanegraaf et al. (NMI-rapport 1371, 2013). De in dit rapport weergegeven kaarten zijn ook separaat in een digitaal format beschikbaar via <https://www.brabantinzicht.nl/>.

1. Introductie

Vitale bodems zijn van belang voor het leveren van een groot aantal ecosysteemdiensten die bijdragen aan zowel menselijke (o.a. productievermogen) als natuurlijke doelen (o.a. habitatfunctie en klimaatregulatie). Een vitale bodem is gedefinieerd als *‘een bodemsysteem met een gevarieerd bodemleven, een goede bodemstructuur en bergend vermogen voor stoffen en water, dat in staat is tot zelfregulatie’*. De provincie Noord-Brabant heeft zorgen over de kwaliteit en de gesteldheid van bodems in haar landelijk grondgebied. Daarom heeft de provincie in haar Provinciaal Milieu- en Waterplan (PMWP) benoemd dat de bodem in de provincie als onderdeel van de leefomgeving ‘op orde’ moet zijn. De ‘basis-op-orde’ gedachte komt voort uit de wens dat alle aspecten van de omgeving van een dusdanige kwaliteit moeten zijn, dat leven in Brabant duurzaam, gezond en veilig is. De bodem maakt deel uit van het natuurlijk kapitaal van Brabant (zie ook <https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/>).

Dit project *‘Brabantse Bodem Vitaal’: beschikbare kennis en informatie op kaart*, heeft als doel het zo goed mogelijk in kaart brengen van de vitaliteit van bodems in het landelijk gebied (agrarisch gebied en natuurgebieden) van de provincie Noord-Brabant, en deze vitaliteit te toetsen aan de gewenste vitaliteit die hoort bij de functies die de bodem moet vervullen; dat wil zeggen: de teelt van gewassen, de opslag en beschikbaarheid van water (regulatie), basis voor natuurtypen en schoon grond- en oppervlaktewater. Deze inventarisatie is onderdeel van het provinciale Uitvoeringsplan Vitale Bodem Brabant.

Dit rapport geeft een beoordeling (aan de hand van bodemkenmerken) van de staat van de ecosysteemdiensten die gekoppeld kunnen worden aan de staat van de bodems. In tabel 1.1 zijn deze ecosysteemdiensten gegeven en wordt duidelijk gemaakt en of deze al dan niet veranderd zijn ten opzichte van Hanegraaf et al. (2013).

Tabel 1.1. Ecosysteemdiensten landbouwbodems en veranderingen t.o.v. Hanegraaf et al. (2013).

	Selectie 2013	Selectie 2018	Aangepast
A. Productie en bodemvruchtbaarheid			
1. Nutriëntenretentie en buffering	✓	✓	✓
2. Bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	✓	✓	-
3. Ziekte- en plaagwering	✓	✓	✓
B. Weerstand en adaptatie			
4. Weerstand tegen stress, veerkracht en herstelvermogen	-	-	-
5. Adaptatie, flexibiliteit en aanpassing aan veranderingen	✓	✓	-
C. Buffer en reactor, klimaat			
6. Fragmentatie en mineralisatie organische stof, humusopbouw	-	-	-
7. Zelfreinigend en bufferend vermogen, schoon grondwater	✓	✓	-
8. Waterregulatie		✓	✓
9. Klimaatfuncties (broeikasgassen)	✓	✓	✓
D. Habitatfuncties			
10. Bodembiodiversiteit	-	RIVM kaart (Rutgers et al., 2012)	

De bodemvitaliteit van de landbouwgronden wordt op basis van beschikbare kennis en data zo goed mogelijk in beeld gebracht aan de hand van:

- enkelvoudige kaarten voor een groot aantal bodemparameters;

- samengestelde kaarten op ecosysteemdienst niveau;
- trendanalyses van de ontwikkeling van de fosfaattoestand en het gehalte aan organische stof.

De ecosysteemdiensten 4 (weerstand tegen stress) en 6 (fragmentatie en mineralisatie organische stof) zijn vanwege het ontbreken van voldoende basisinformatie niet uitgewerkt.

Data die gebruikt worden om de vitaliteit van de bodems te karakteriseren, zijn afkomstig uit de reguliere grondbemonstering (via Eurofins Agro; data 2013 – 2017 en geanonimiseerd) en uit andere meetnetwerken of expert-kennis (o.a. grondwaterstand, beheer gekoppeld aan landgebruik en grondsoort). Deze analyse van data is een aanvulling en actualisering van een eerdere analyse van ecosysteemdiensten in de provincie (Hanegraaf et al., 2013). De methodologie en klasse-indeling van de verschillende factoren die gebruikt worden om de ecosysteemdiensten te bepalen, zijn voor een groot deel gelijk gebleven aan deze eerdere studie van Hanegraaf et al. (2013). De ecosysteemdiensten in de verschillende studies (2013 en deze studie) en mogelijke aanpassingen in rekenregel zijn gegeven in Tabel 1.1.

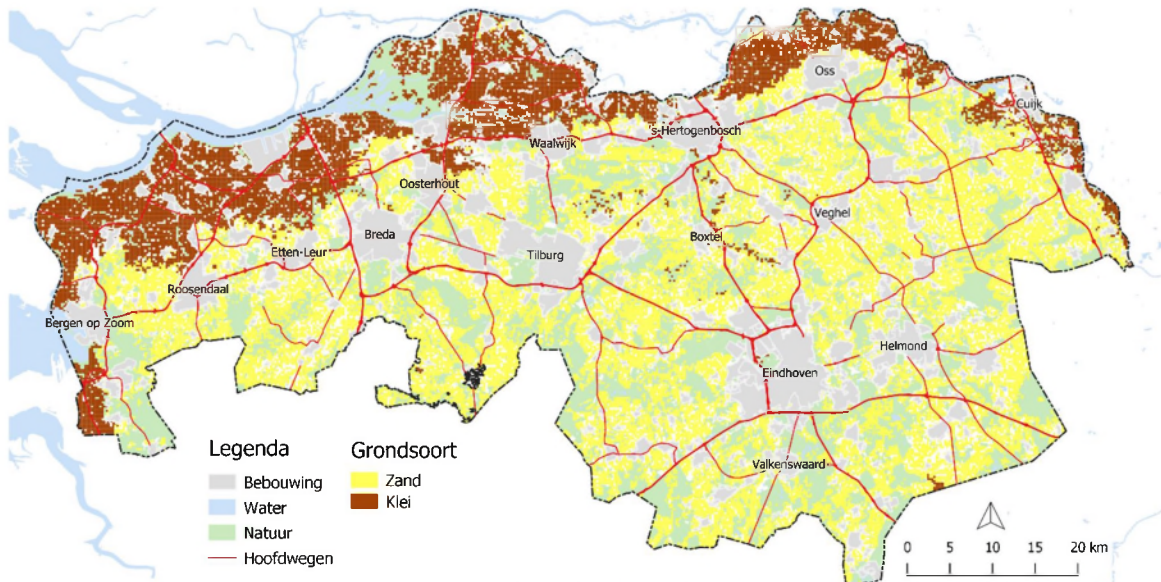
Alle kaarten zijn gemaakt aan de hand van nieuwe (gemodelleerde) bodemdata. Er is één ecosysteemdienst toegevoegd (waterregulatie) en bij verschillende ecosysteemdiensten zijn de variabelen die zijn toegepast uitgebreid, of zijn de geselecteerde grenzen aangepast. De weging van deze variabelen is ook aangepast. In de samengestelde kaart van alle ecosysteemdiensten wegen alle individuele diensten even zwaar.

De visualisatie van de kaarten is aangepast. Aangezien een aantal variabelen (bijv. organische stof) erg belangrijk is voor het functioneren van verschillende ecosysteemdiensten, zijn er ook trendanalyses gedaan naar de veranderingen over tijd. Deze hebben betrekking op de organische stof en de fosfaattoestand. Ook de grondwatertrappen (Gt) zijn geactualiseerd met data afkomstig van de provincie Noord-Brabant.

2. Materiaal & Methode

2.1 Kenmerken studiegebied

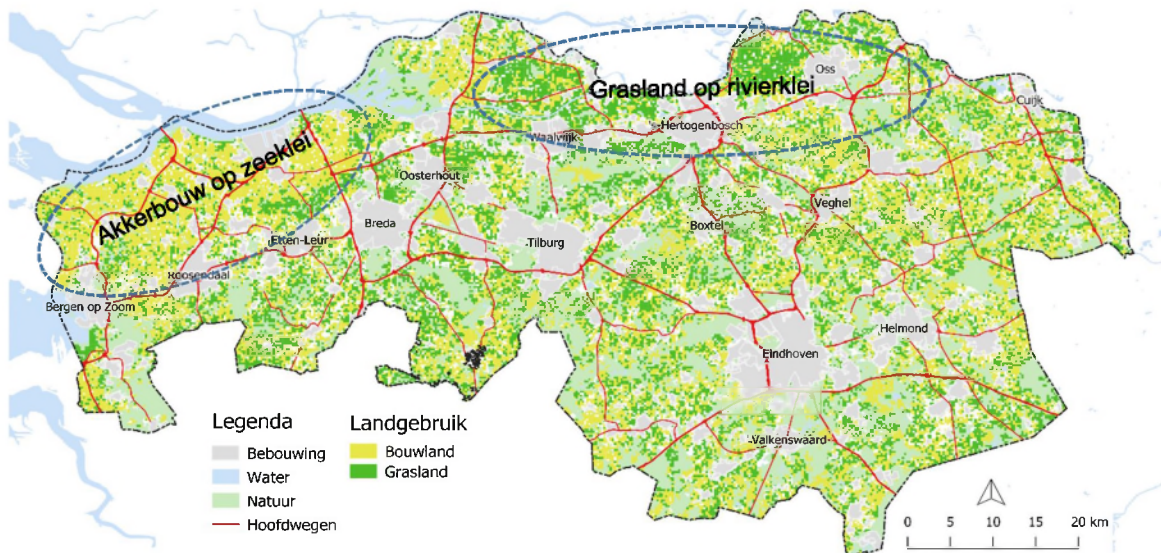
Deze studie richt zich op de situatie van de landbouwpercelen in de provincie Noord-Brabant. De grondsoort in de provincie is globaal op te delen in een strook klei in het noorden (langs de grote rivieren en deels aan de Zuidwestelijke Delta) en zandgronden in de rest van de provincie (Figuur 2.1.); overige grondsoorten zijn niet apart meegenomen in deze studie aangezien deze nauwelijks voorkomen in de provincie.



Figuur 2.1. Verdeling klei- en zandgronden (verdeling volgens de Meststoffenwet)

Het landbouwkundig landgebruik is redelijk gelijk verdeeld in bouwland (57%) en grasland (43% Figuur 2.2). De zeekleigronden in het noordwesten zijn overwegend in gebruik als akkerbouw. Op de zandgronden en de rivierkleigronden in het noorden wisselen grasland en akkerbouw elkaar af. Op de meest natte gronden in het centraal noordelijke deel is grasland dominant. Binnen grasland is het grootste deel blijvend grasland (48,6 duizend hectare), gevolgd door tijdelijk grasland (41,8 duizend hectare). Natuurlijk grasland (zowel met hoofdfunctie natuur als landbouw) omvat 13,3 duizend hectare (2017 data). Binnen de akkerbouwgewassen is snijmais veruit het meest verbouwde gewas. In 2018 is snijmais verbouwd op bijna 53 duizend hectare. Hierna komen consumptieaardappelen (17,5 duizend hectare) en suikerbieten (9,8 duizend hectare). Het grote areaal grasland plus snijmais geeft aan dat de veeteelt een belangrijke rol heeft binnen de landbouw in Noord-Brabant.

In deze studie is alleen een onderscheid gemaakt in grasland en bouwland. Onder bouwland vallen: akkerbouw, tuinbouw, boomteelt en andere cultuurplanten. Tijdelijk grasland is een onderdeel van het graslandareaal, en overige voedergewassen, zoals mais, zijn onderdeel van bouwland (beide kunnen in rotaties plaatsvinden op dezelfde percelen, maar daar is in deze analyse geen rekening mee gehouden). De waarden voor de bodemkenmerken volgen de diepten van bemonstering zoals aangehouden door Eurofins Agro: 0-10 cm voor grasland en 0-25 cm voor bouwland.



Figuur 2.2. Landgebruik in Noord-Brabant (verdeeld in grasland en bouwland). Binnen het agrarische areaal is 43% geclassificeerd als grasland en de overige 57% als bouwland. Van het bouwland is een groot deel (45%) snijmaïs. Dit kan ook onderdeel zijn van rotaties met grasland (grasdierbedrijven).

2.2 Bodemkaarten

Voor de uitvoering van het Brabantse bodembeleid is behoefte aan recente data over een aantal jaren om de huidige toestand van de bodem en de daarmee gekoppelde ecosysteemdiensten (ESD) zo nauwkeurig mogelijk weer te geven. Daarbij zijn de volgende parameters relevant: Organische stof, N-totaal, P-oxalaat, S-totaal, lutum, pH, CEC, zand, silt, PAL/PW, Cu-PAE, Zn-PAE en de fosfaatverzadiging over de periode 2013-2017. Deze bodemkenmerken dienen als bouwsteen voor de diverse op te leveren kaarten (enkelvoudig en als ESD kaart).

Nieuw ten opzichte van de eerder uitgevoerd studie (Hanegraaf et al., 2013) zijn de fosfaatkengetallen, inclusief de fosfaatverzadigingsgraad, en de kengetallen voor koper- en zinkbeschikbaarheid. De fosfaatkengetallen geven een inzicht in het risico op eutrofiëring, wat van belang is voor de nutriënten- retentie. De kengetallen voor koper en zink geven enige indicatie voor zware metalenbelasting en/of er een risico kan zijn voor verhoogde zink- en koperwaarden in het oppervlaktewater (mede afhankelijk van andere parameters). Verder zijn er trendanalyses uitgevoerd voor mogelijke veranderingen in het organische stofgehalte en de fosfaattoestand (PAL en Pw) over de perioden 1988-2002, 1998-2002 en 2013-2017.

Om de kaarten met bodemkenmerken (gekoppeld aan percelen uit de Basisregistratie Percelen) te maken, heeft NMI voor dit doel via Eurofins Agro toegang tot een recente set met bodemanalyses (2013 - 2017). Op vrijwel elk agrarisch perceel in Nederland vindt meestal één keer per vier jaar grondonderzoek plaats, waarbij vooral chemisch maar ook fysische en biologische parameters worden gemeten. Omdat de analyseresultaten niet herleidbaar mogen zijn tot individuele percelen, is een geostatistische methode toegepast om de ruimtelijke variatie in bodemparameters in beeld te brengen. Bij deze geostatistische methode wordt rekening gehouden met locatie-specifieke kenmerken als landgebruik en bodemeigenschappen. De meetlocaties van de echte meetpunten worden niet openbaar gemaakt. Per bodemkenmerk zijn de bewerkte gegevens opgeleverd als GIS-bestand met blokken met een resolutie van 250 meter (ieder blok staat voor 6,25 ha). Deze bestanden zijn gebruikt om (1) kaarten met individuele bodemkenmerken te produceren en om (2) verschillende ecosysteemdiensten in kaart vorm weer te geven. De bodemkaarten worden kort beschreven in H.3. De bodemecosystemen worden behandeld in H.5.

2.3 Ecosysteemdiensten

De methodologie die gebruikt is om de ecosysteemdiensten te classificeren, komt op hoofdlijn overeen met die van Hanegraaf (2013). Samengevat betekent dit dat de waarde van een bepaalde ecosysteemdienst wordt bepaald door de toestand van de verschillende bodemfactoren die het functioneren van deze ecosysteemdienst bepalen (gebaseerd op expert-kennis). De rol die de verschillende bodemfactoren spelen zijn door middel van expert-kennis verwerkt tot (lineaire) verbanden. Een bepaalde waarde voor een bodemfactor kan vervolgens als slecht (score = 10), matig/neutraal (score = 20) of goed (score = 30) worden beoordeeld voor het functioneren van een bepaalde ecosysteemdienst. De uiteindelijke waarde die aan een ecosysteemdienst toegekend wordt, is het gewogen gemiddelde van de bijdrage van de geselecteerde factoren, daarbij rekening houdend met het relatieve belang van de afzonderlijke bodemfactoren. In formule:

$$bodemESD_i = \sum_{j=0}^n (\beta_j \cdot F_j)$$

Hierin staat $bodemESD_i$ voor de bodem-ecosysteemdienst i die gedefinieerd wordt door de som van n bodemfactoren (F_j) met elk een eigen weging (β_j).

Elk bodemkenmerk krijgt dus een waarde van 10, 20 of 30, waarna het (gewogen) gemiddelde van de meegenomen bodemkenmerken de waardering van de ecosysteemdienst bepaalt (waarde tussen 10 en 30). De bodemkenmerken die voor de betreffende ecosysteemdienst van belang zijn, staan in Tabel 2.1. De voor alle ecosysteemdiensten meest relevante bodemkenmerken zijn: organische stof (75%) gevolgd door pH, het beheer en de grondwatertrap (63%). De organische stof en pH zijn aan de hand van metingen en een geostatistische benadering bepaald. De grondwatertrap is gebaseerd op kaarten die zijn aangeleverd door de provincie (afkomstig uit een meetnet).

Tabel 2.1. Geselecteerde ecosysteemdiensten en de meegenomen bodemkenmerken (nummering volgt tabel 1.1).

Ecosysteemdienst		Bodemkenmerken
ESD 1	<i>Nutriëntenretentie en -levering</i>	Organische stof, CEC, N-totaal, pH, grondwatertrap, beheer, P-toestand, fosfaatverzadiging en koper en zink in de bodem.
ESD 2	<i>Bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting</i>	Klei, organische stof, pH, beheer en grondwatertrap
ESD 3	<i>Ziekte- en plaagwering</i>	Organische stof en rotatie-kenmerken (aantal rotaties in 10 jaar en soort gewassen)
ESD 4	<i>Adaptatie, flexibiliteit en aanpassing aan veranderingen</i>	Organische stof, pH en beheer
ESD 5	<i>Zelfreinigend en bufferend vermogen, schoon grondwater</i>	Klei, organische stof, CEC, pH, grondwatertrap en beheer
ESD 6	<i>Waterregulatie</i>	Grondwatertrap, bodemdichtheid, waterberging, doorlatendheid en ontwateringscapaciteit
ESD 7	<i>Klimaatfuncties (broeikasgassen)</i>	Organische stof, pH, klei, beheer en grondwatertrap
ESD 8	<i>Bodem biodiversiteit (organismen)</i>	Afkomstig van het RIVM

De waardering van het beheer (o.a. grondbewerking en het gebruik van pesticiden en nutriënten) is gebaseerd op expertkennis. De onderdelen van beheer die zijn meegenomen, zijn de grondbewerking (o.a. ploegen), bemesting, en pesticide-gebruik. Deze beheermaatregelen zijn relevant voor een groot aantal ecosysteemdiensten.

Hoewel ook andere aan beheer gekoppelde zaken van belang zijn, zoals de bemestingshistorie en verschillen in grondbewerking en gebruik chemicaliën tussen akkerbouwgewassen, is hiervoor onvoldoende informatie beschikbaar om dit in deze studie mee te nemen. Voorbeeld: er is geen onderscheid gemaakt tussen reguliere en biologische bedrijven of bedrijven met minder grondbewerking. Een aantal van deze zaken komt terug in de bodemkenmerken (o.a. fosfaatverzadiging en N-totaal zijn deels een gevolg van de bemestingsgeschiedenis). Voor andere kenmerken – zoals bodemstructuur – is het gebrek aan data over de intensiteit van grondbewerking een beperking in deze studie, hoewel de meeste akkerbouwgewassen in een bepaalde rotatie verbouwd worden waardoor verschillen tussen percelen met bouwland relatief klein zullen zijn.

2.4 *Trendanalyse organische stof en fosfaat*

Zorgen over bodemvruchtbaarheid in de agrarische sector gaan vaak gepaard met een veronderstelde daling in het organische stofgehalte én fosfaatgehalte van de bodem. De vraag van de provincie Noord-Brabant is dan ook of er aantoonbare veranderingen zijn opgetreden in de ontwikkeling van de organische stofgehalten en de fosfaattoestanden. Om hier meer zicht op te krijgen zijn perceelgegevens opgevraagd over verschillende jaren vanaf 1990 tot heden. De verandering in beide bodemparameters is afgeleid van een grote set aan meetgegevens via een statistische analyse.

Materiaal & Methoden

Omdat de vastlegging van de geo-coördinaten van agrarische percelen pas gestart is rond het jaar 2010, is de analyse uitgevoerd op postcode-4 niveau. De analyses zijn ruimtelijk geïdentificeerd. Hiermee wordt bedoeld dat van elk perceel naast het organische stof- en fosfaatgehalte ook het landgebruik, de monsterdiepte, de datum van monsternamen en de bodemtextuurklasse bekend zijn.

Een eventuele verandering in organische stof dan wel fosfaat wordt geschat op basis van een linear mixed model, dat gebruik maakt van REML-procedure (**r**esidual **m**aximum **l**ikelihood) in het statistische softwarepakket R. Deze procedure maakt het mogelijk een verandering in organische stof (of fosfaat) te kwantificeren en daarbij rekening te houden met verschillen in monsteraantallen per landgebruik, bodemtype en postcode. De tijd is in de analyse als categoriale variabele opgenomen: alle metingen zijn geclusterd in drie tijdszones, van 1988 tot 1992 (periode 1), van 1998 tot 2002 (periode 2) en van 2013 tot 2017 (periode 3). In de huidige analyse wordt dit verwerkt via een z.g.. 'black-box' variabele: de postcode. De factoren die vooraf bekend zijn én waarvan bekend is dat ze een invloed hebben op het organische stof- of fosfaatgehalte worden ingevoerd als fixed variabelen in het verklarend model. In dit geval zijn dat het landgebruik en het bodemtype. Factoren die minder grijpbaar zijn, maar waarvan wel bekend is dat ze invloed kunnen hebben op het organische stof- dan wel fosfaatgehalte, worden in het random deel van het statistisch model opgenomen om zo een zuiverder beeld te krijgen of de bodemparameters ook zijn veranderd over de tijd.

Voor organische stof, de fosfaattoestand op grasland (gemeten via een extractie met ammonium-lactaat, PAL) en de fosfaattoestand op bouwland (gemeten via een waterextractie, Pw) tezamen zijn meer dan 100 duizend metingen beschikbaar voor de analyse. Omdat er gedurende de onderzochte periode een verandering is

opgetreden in de bemonsterde diepte voor grasland, is hiervoor vooraf gecorrigeerd voor zowel organische stof als fosfaat op basis van rekenregels van Eurofins Agro.

Alle bodemparameters zijn vooraf log-getransformeerd om aanwezige uitschieters minder invloed te laten hebben op de analyse. Het effect van bodemtype en teelt zijn als separate variabelen meegenomen. Ook is onderzocht in welke mate de verandering in organische stof en fosfaat varieert per bodemtype en landgebruik (een zogenoemde interactie). Als een interactie tussen bodemtype, landgebruik en de verandering over tijd significant was, dan is deze meegenomen in de analyse.

Voor het gehalte aan organische stof is het uiteindelijke model als volgt:

$$\log(\text{OS}) = \text{periode} + \text{landgebruik} + \text{bodem} + \varepsilon \text{ (de restfout)}$$

met als Random term (toevalsfactor): postcode.bodem.landgebruik

In woorden omschreven: het organische stofgehalte wordt significant beïnvloed door de tijdsperiode waarin gemeten is (1988-1992, 1998-2002, 2013-2017), het landgebruik (grasland, bouwland), en het bodemtype (kleigrond, zandgrond). Om deze verandering goed in beeld te krijgen wordt rekening gehouden met ruimtelijke variatie in landgebruik en grondsoort over de postcodegebieden. De variatie binnen postcodegebieden is zo gebruikt als random modelcomponent om beter zicht te krijgen op het effect van de verandering in organische stof. Er wordt gecorrigeerd voor eventuele onverklaarbare variatie die samenhangt met de locatie van monsternamen.

Voor de fosfaattoestand op grasland is het uiteindelijke model als volgt:

$$\log(\text{PAL}) = \text{periode} + \text{bodem} + \varepsilon \text{ (de restfout)}$$

In tegenstelling met organische stof wordt de PAL-meting alleen uitgevoerd op grasland, dus landgebruik heeft geen invloed op de PAL-waarde. Het fosfaatgehalte wordt significant beïnvloed door het bodemtype. Ook hier is postcode als ruimtelijk random modelcomponent opgenomen om een beter zicht te krijgen op de verandering van PAL over de onderzochte tijdsperiode. Het effect van tijd was hetzelfde over alle grondsoorten (er was geen significante interactie aanwezig in de meetgegevens).

Voor de fosfaattoestand op bouwland is het uiteindelijke model als volgt:

$$\log(\text{Pw}) = \text{periode} * \text{bodem} + \varepsilon \text{ (de restfout)}$$

2.5 Actualisering grondwatertrappenkaart

De rol die grondwater speelt op de ecosysteemdiensten is teruggeleid naar de grondwatertrappen. Grondwatertrappen zijn een combinatie van een gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand (over een aantal jaren gemeten). De grondwaterstand speelt een rol in de beoordeling van de nutriëntenretentie, bodemstructuur, waterregulering, zelfreinigend vermogen en klimaatregulatie en is als zodanig van belang voor meerdere ecosysteemdiensten. De kaart die in eerdere analyses gebruikt is, is afkomstig uit de Bodemkaart van Nederland (schaal 1: 50.000). Vanuit de provincie zijn rasters geleverd met daarin de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand in Noord-Brabant (2005). Deze rasters zijn aan de hand van

een re-classificatie matrix omgezet naar de grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland. De gehanteerde matrix (Tabel 2.2.) komt overeen met de grondwatertrappen in de Bodemkaart van Nederland is ook toegepast in studies in Brabant (o.a. Water Atlas Brabant).

Tabel 2.2 Classificatie matrix gebruikt om rasters met GHG en GLG om te zetten naar een nieuwe GWT.

Grondwatertrap	GHG	GLG
I	-	< 50
II	< 25	50 – 80
IIb	25 – 80	50 – 80
III	< 25	80 – 120
IIIb	25 – 40	80 – 120
IV	40 – 120	80 – 120
V	< 25	> 120
Vb	25 – 40	> 120
VI	40 – 80	> 120
VII	80 – 140	> 120
VIII	> 140	> 120

3. Basiskaarten bodem

Van een groot aantal individuele kenmerken van landbouwbodems zijn enkelvoudige kaarten gemaakt op basis van een recente set met bodemanalyses (2013 - 2017).. De meeste van deze bodemkenmerken zijn ook toegepast in de beoordeling van de meegenomen ecosysteemdiensten. In de kaarten zijn de 5 kwantielgrenzen getoond. De waarde per perceel is eerst geaggregeerd naar een raster van 250 x 250 meter. Dit is gedaan vanwege de eisen voor privacy (data mag niet herleid kunnen worden naar een bepaald perceel). De waardes voor deze cellen worden vervolgens naar kwantielen omgezet. Dit geeft een duidelijk visueel beeld van de verschillen. Voor de bepaling van de ecosysteemdiensten zijn de daadwerkelijke waardes gebruikt; pas in de laatste stap vindt de aggregatie naar kwantielen op 250 meter resolutie plaats.

Voor de toepassing in ecosysteemdiensten zijn de bodemkenmerken kwalitatief geïnterpreteerd. Een bepaald bodemkenmerk kan positief doorwerken voor de ene ecosysteemdienst (bijv. productie en bodemvruchtbaarheid), terwijl het een negatieve invloed kan hebben op de andere (zoals bodembiodiversiteit). In gevallen waarbij het nutriëntengehalte dermate hoog is dat deze agronomisch geen extra voordelen meer biedt (bijv. een hoge P-klasse), dan is deze waarde alsnog als negatief beoordeeld voor de beoordeelde ecosysteemdienst. Er zijn namelijk aan dit bodemkenmerk uitsluitend negatieve gevolgen op andere ecosysteemdiensten verbonden.

De volgende vijftien bodemkenmerken zijn op kaart afgebeeld en toegelicht:

Basiskkenmerken:

- Organische stofgehalte
- pH-waarde
- Grondwatertrap

Bodemtextuur:

- Klei-gehalte
- Zand-gehalte
- Silt-gehalte

Nutriënten-status

- N-totaal
- Fosfaatsituatie (PAL voor grasland, Pw voor bouwland)
- Kationen omwisselingscapaciteit (CEC)

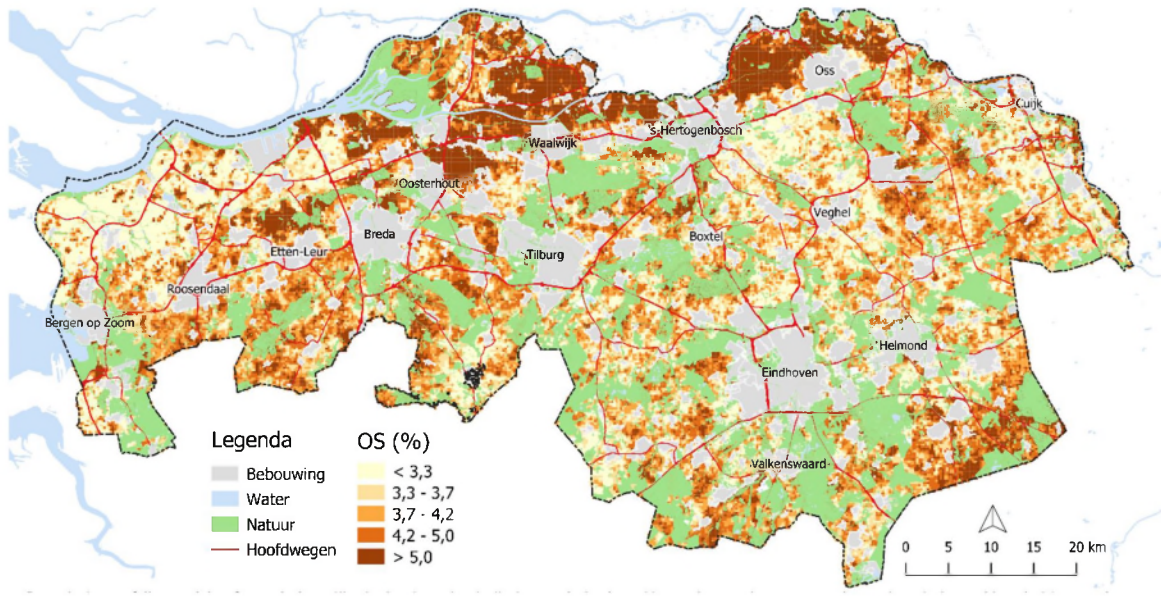
Fosfaatsituatie

- Fosfaatverzadigingsgraad
- Fosfaattoestand

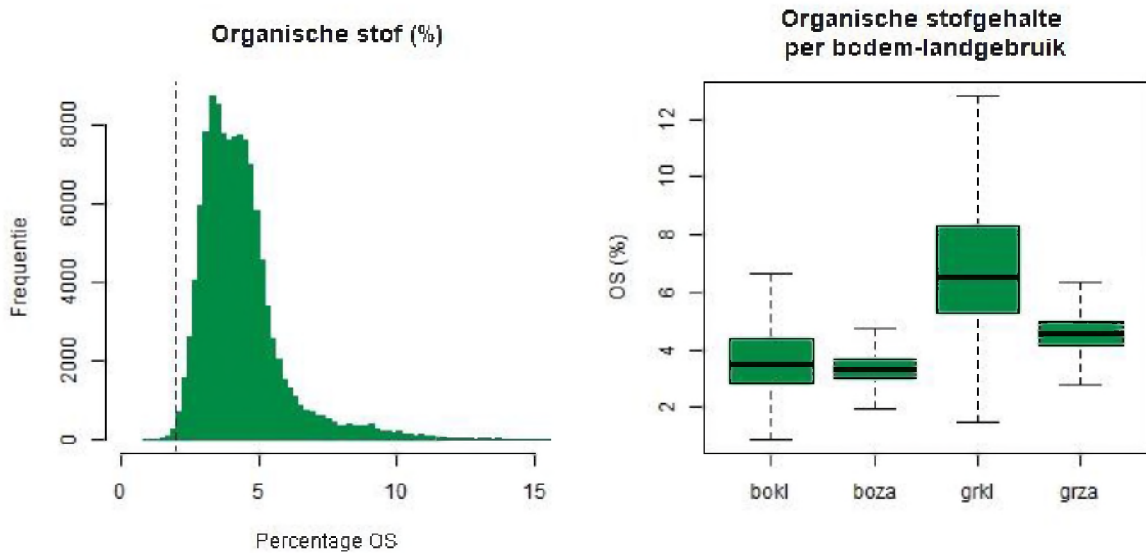
Overige nutriënten

- Zink-gehalte
- Koper-gehalte
- S-totaal

3.1 Organische stofgehaltenes



Figuur 3.1a. De ruimtelijk weergave van het organisch stofgehalte in de provincie Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



Figuur 3.1b. De frequentieverdeling van het percentage organisch stof en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

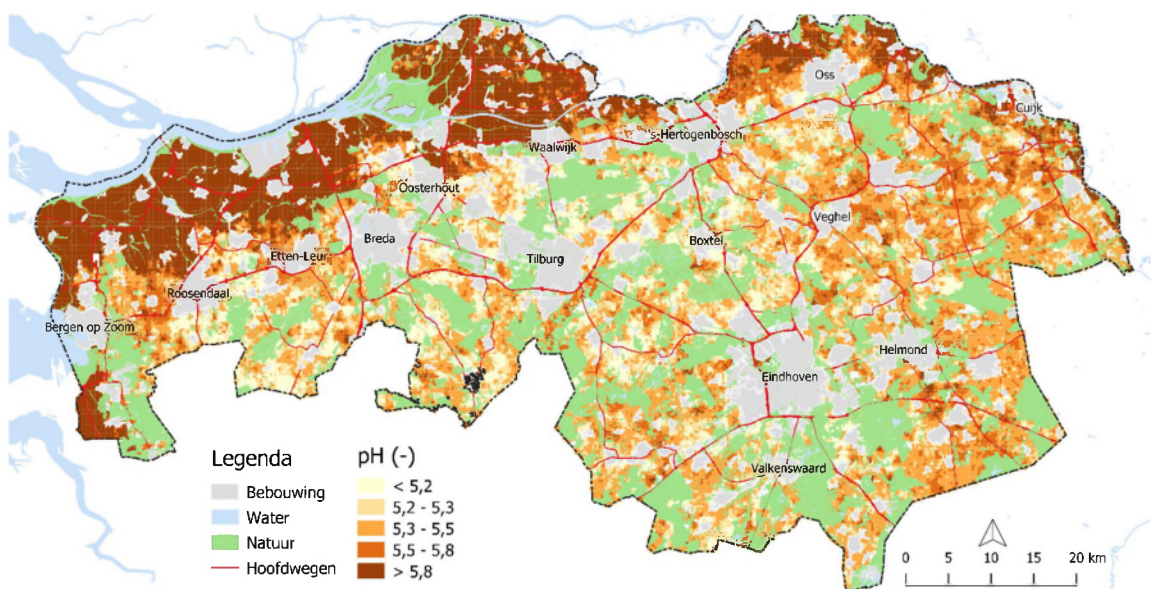
Organische stof werkt positief door in een aantal ecosystemendiensten. Zo wordt een hoger gehalte aan organische stof positief beoordeeld voor de levering en retentie van nutriënten, een goede structuur van de bodem, wering van plagen en ziekten, adaptatie, buffering, en het tegengaan van klimaatverandering. Indirect is het organische stofgehalte ook betrokken bij het beoordelen van het vermogen van de bodem om water te reguleren. Het organische stofgehalte in de landbouwbodems is vrijwel overal in Noord-Brabant hoger dan de kritische grens (gesteld op 2%). Vooral op kleigrasland op klei is het gehalte hoog, wat doorwerkt in de waardering van verschillende ecosystemendiensten.

Het gemiddelde van de overige combinaties van grondsoort en landgebruik varieert niet veel, hoewel het gemiddelde op grasland op zand iets hoger ligt dan op de percelen met bouwland. Het relatief kleine verschil tussen bouwland (beide grondsoorten) en grasland op zand kan komen omdat grasland op zand geen permanent grasland is, maar in rotatie kan zijn met overige voedergewassen zoals mais. Een duidelijk lager organisch stofgehalte doet zich voor bij bouwland op zeeklei in het noordwesten van Noord-Brabant. Dit kan samenhangen met de intensieve bewerking van deze gronden.

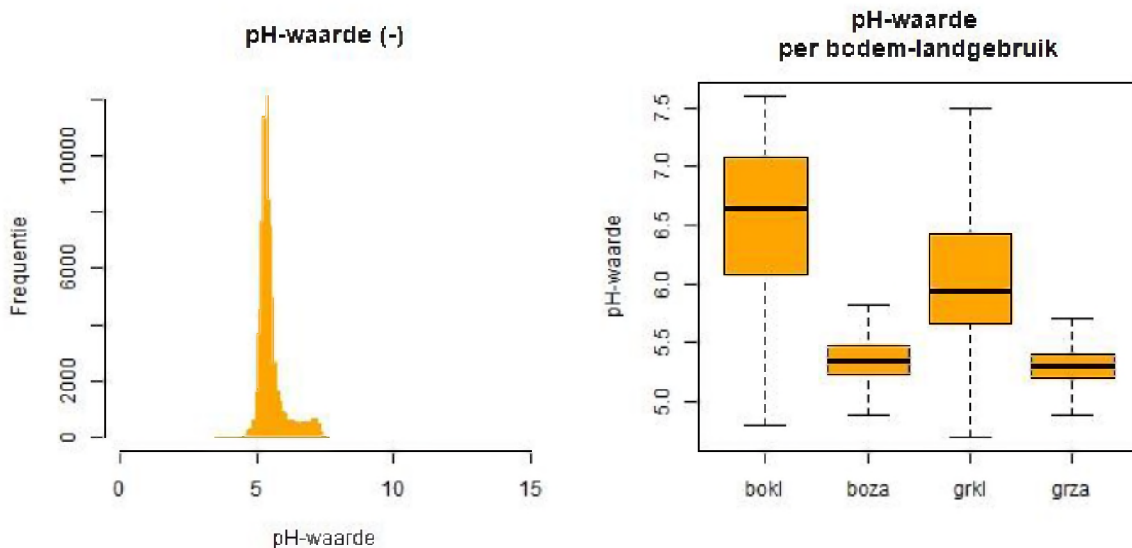
Door de relatief hoge grondwaterstand en zware bodemtextuur is veel van de landbouwgrond op de rivierklei niet geschikt voor ander landgebruik dan permanent grasland. Hierdoor is de opbouw van organische stof op deze percelen relatief hoog.

Het organisch stofgehalte speelt een rol bij de beoordeling van de ecosystemendiensten nutriëntenretentie en -levering, bodemstructuur, ziekte- en plaagwering, adaptatie, zelfreinigend vermogen, en klimaatfunctie. Indirect wordt dit ook meegenomen in het bepalen van de waterregulatie.

3.2 Zuurgraad



Figuur 3.2a. De ruimtelijk weergave van zuurgraad (pH) in de provincie Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



Figuur 3.2b. De frequentieverdeling van de pH en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, bza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

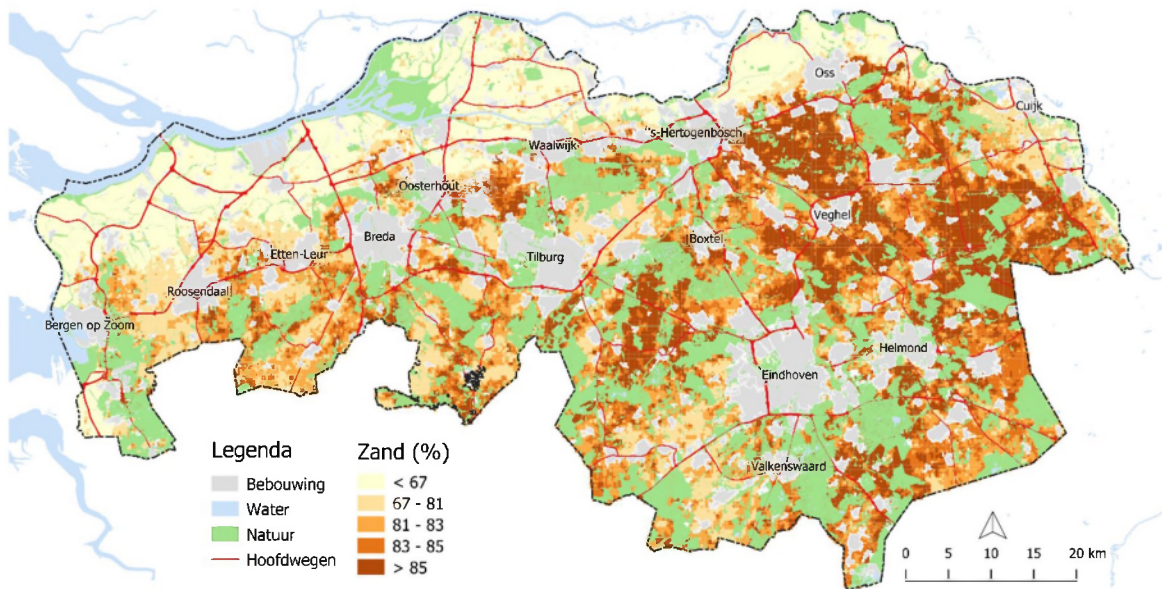
De zuurgraad in de bodem wordt o.a. bepaald door de aanwezigheid van kalk, de grondsoort (veen heeft van nature een vrij lage pH) en het landbouwkundig handelen (het soort meststoffen dat wordt gebruikt, de frequentie van bekalken en het soort gewas (sommige gewassen zoals suikerbieten hebben een hogere bodem pH nodig dan gras). Bodems verzuren van nature ook door zure neerslag. In de landbouwkundige adviezen zijn streeftrajecten voor de pH geformuleerd. Als de bodem pH lager is dan de streef pH wordt geadviseerd te bekalken. In de praktijk blijft dit nog wel eens achterwege.

De zuurgraad is een belangrijke parameter voor een vitale bodem vanwege de invloed op de samenstelling en activiteit van het bodemleven. De omzettingsprocessen verlopen sneller bij hogere pH's (= lage zuurgraad), waardoor de beschikbaarheid van nutriënten uit de organische stof en stikstofbinding groter is. Voor de bodemstructuur zijn de kitstoffen die vrijkomen bij deze omzettingen van belang bij de opbouw van een stabiele kruimelstructuur.

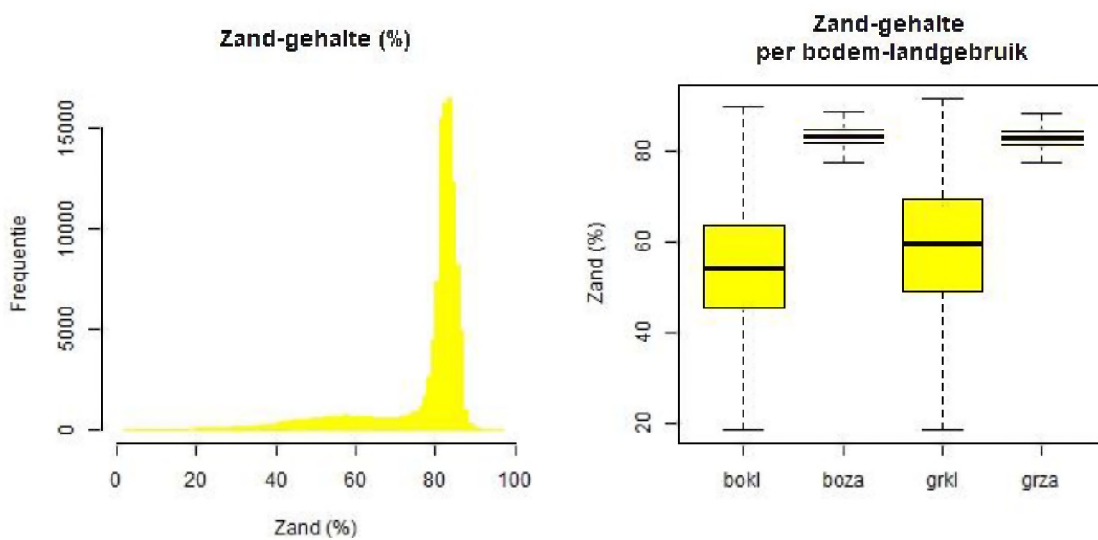
De pH is het hoogst in de kleigronden. . Met name in bouwland op zeeklei, zoals in het noordwesten van de provincie. Deze gronden zijn relatief arm aan organische stof, maar bevatten wel kalk. De bouwlanden op rivierklei hebben in het algemeen een iets lagere pH vanwege het ontbreken van kalk.

De zuurgraad speelt een rol bij de beoordeling van de ecosystemendiensten: nutriëntenretentie en -levering, bodemstructuur, adaptatie, buffervermogen, en de klimaatfunctie. Na organische stof is de pH het meest gebruikte bodemkenmerk voor de ecosystemendiensten.

3.4 Zandgehalte



Figuur 3.4a. De ruimtelijk weergave van het zandgehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).

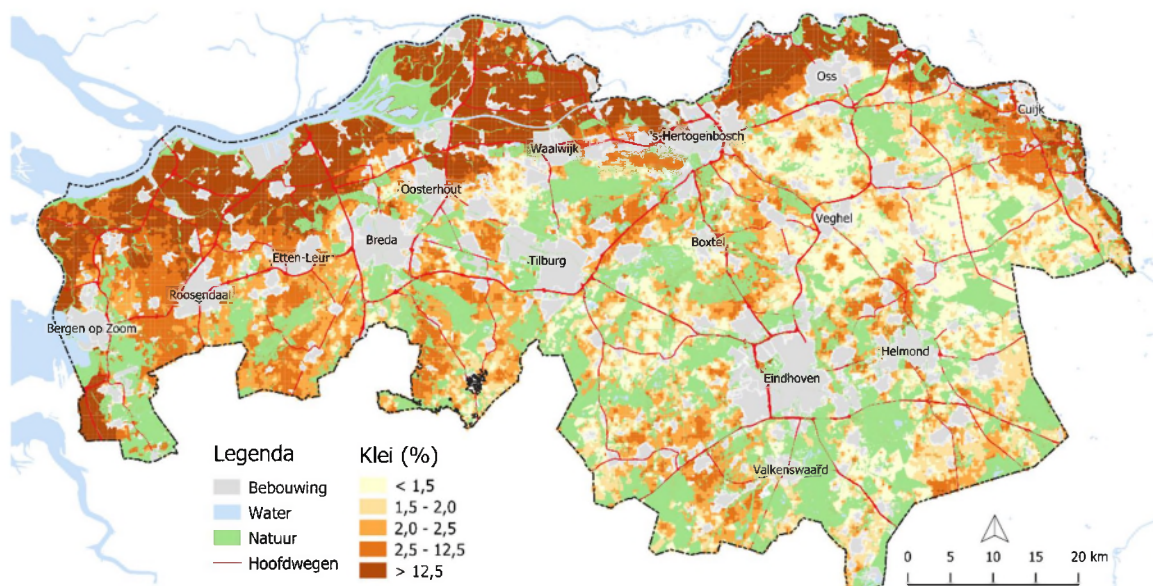


Figuur 3.4b. De frequentieverdeling van het zandgehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

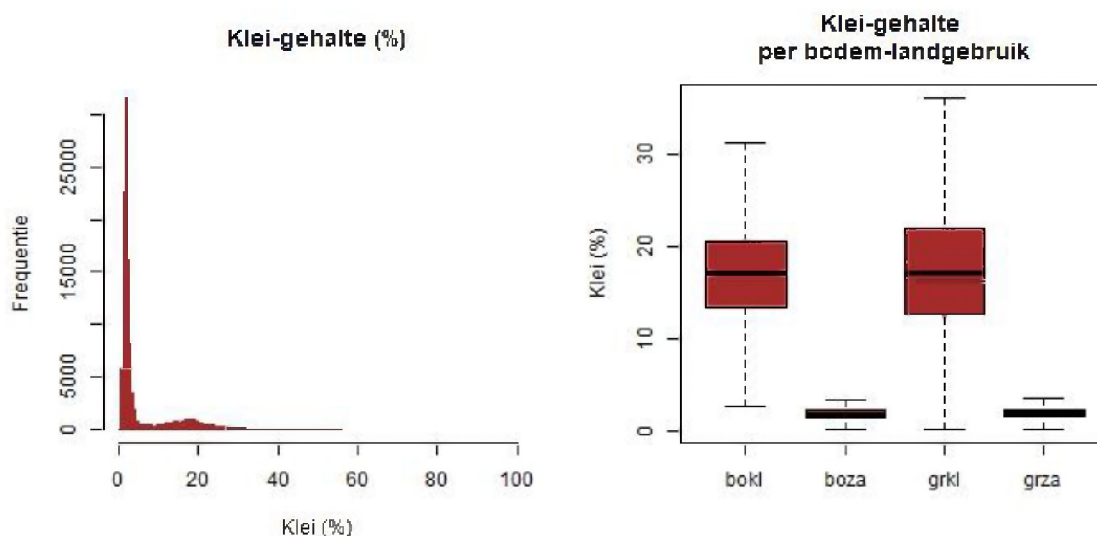
Een belangrijke eigenschap van de bodem is de textuur of de korrelgrootteverdeling van de minerale deeltjes in klei ($< 2\mu\text{m}$), silt ($2-63\mu\text{m}$) en zand ($63\mu\text{m} - 2\text{ mm}$). Vele bodem-fysische, -chemische en -biologische eigenschappen zijn hier nauw mee verbonden. Gronden met een groot aandeel zand zijn minder vruchtbaar (lagere CEC) en zijn gevoeliger voor vochttekorten (hogere doorlatendheid en lager watervasthoudend vermogen).

Het zandgehalte is – samen met overige textuureigenschappen – gebruikt om grondsoorten te classificeren. In deze studie is de indeling gebruikt die ook is toegepast voor de meststoffenwet. Voor Noord-Brabant leidt dit tot de grondsoorten: klei, zand en veen. Aangezien het oppervlakte veen heel klein is, is deze niet als aparte grondsoort meegenomen in deze analyse. De verdeling in grondsoorten volgens de meststoffenwet (Figuur 2.1) geeft een vergelijkbaar patroon als de weergave van de zandfractie.

3.5 Kleigehalte



Figuur 3.5a. De ruimtelijk weergave van het kleigehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



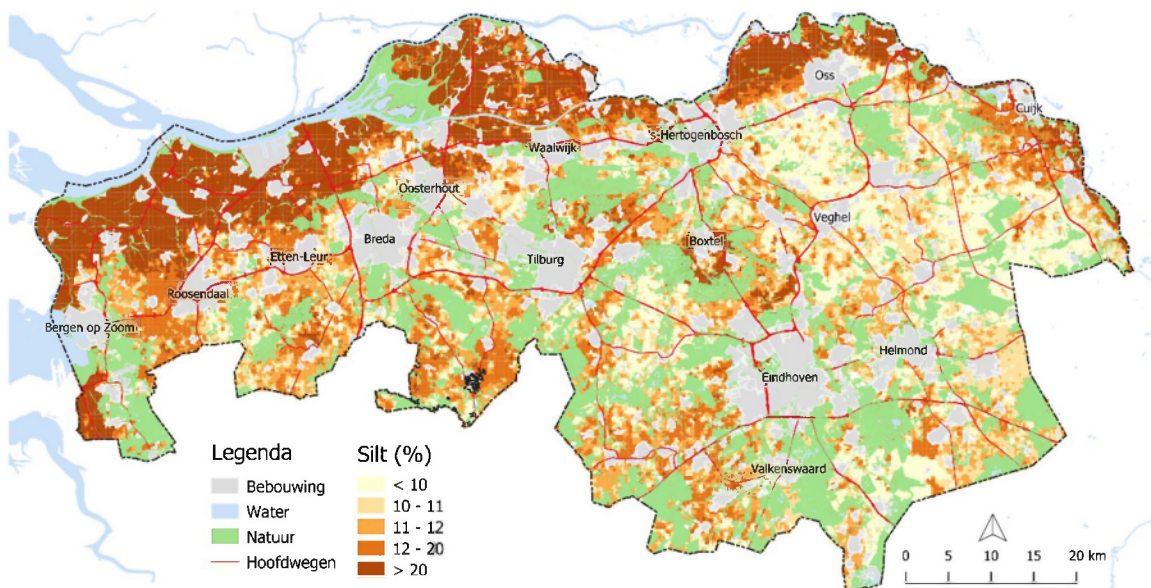
Figuur 3.5b. De frequentieverdeling van het kleigehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Een belangrijke eigenschap van een vitale bodem is de textuur of korrelgrootteverdeling. Deze heeft betrekking op de grootte van de minerale deeltjes. Veel bodemfysische, -chemische en -biologische eigenschappen van de bodem zijn hiermee nauw verbonden. Kleigronden zijn vaak vruchtbaarder door een groter bufferend vermogen voor water en nutriënten (CEC), en een hoger organisch stofgehalte. Een te hoog gehalte aan kleideeltjes kan wel negatieve gevolgen hebben voor de bewerkbaarheid van de bodem (risico op verslumping; het verstopt raken van poriën met klei- en siltdeeltjes door de inslag van regendruppels).

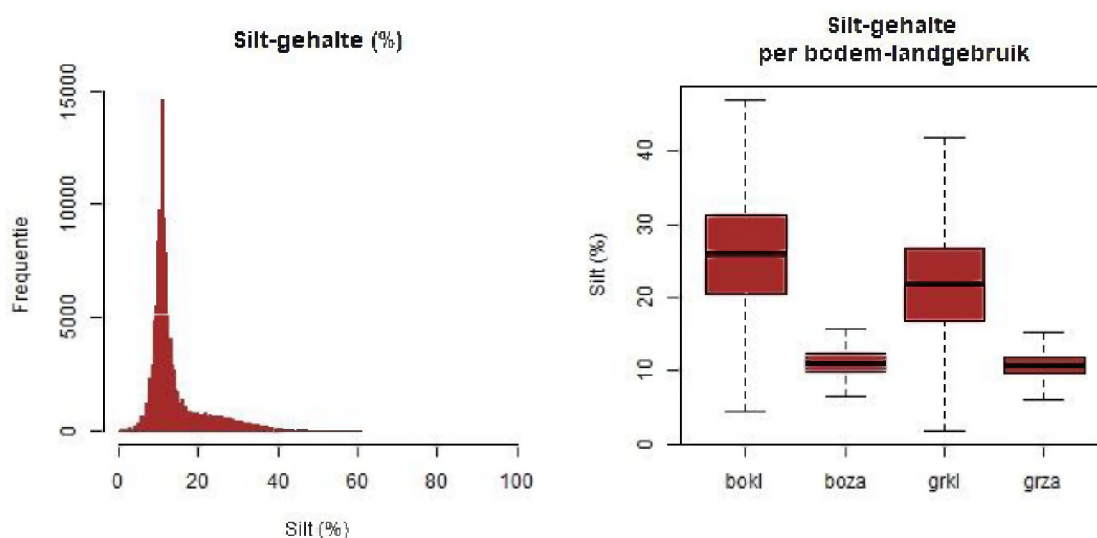
Binnen de kleigronden is een toename van het kleipercantage te zien van west (zeeklei) naar oost (rivierklei). Naarmate de gronden zwaarder worden (hoger percentage klei) komt ook het grondwater ondieper voor (lagere grondwatertrap) en neemt het organisch stofgehalte toe. Deze gebieden worden – voornamelijk doordat ze lastig bewerkbaar zijn – meestal gebruikt als grasland.

Het kleigehalte speelt een rol bij de beoordeling van de ecosystemendiensten 'bodemstructuur' die weer van invloed is op de verslumping en verkruijmelbaarheid en de klimaatfunctie.

3.6 Siltgehalte



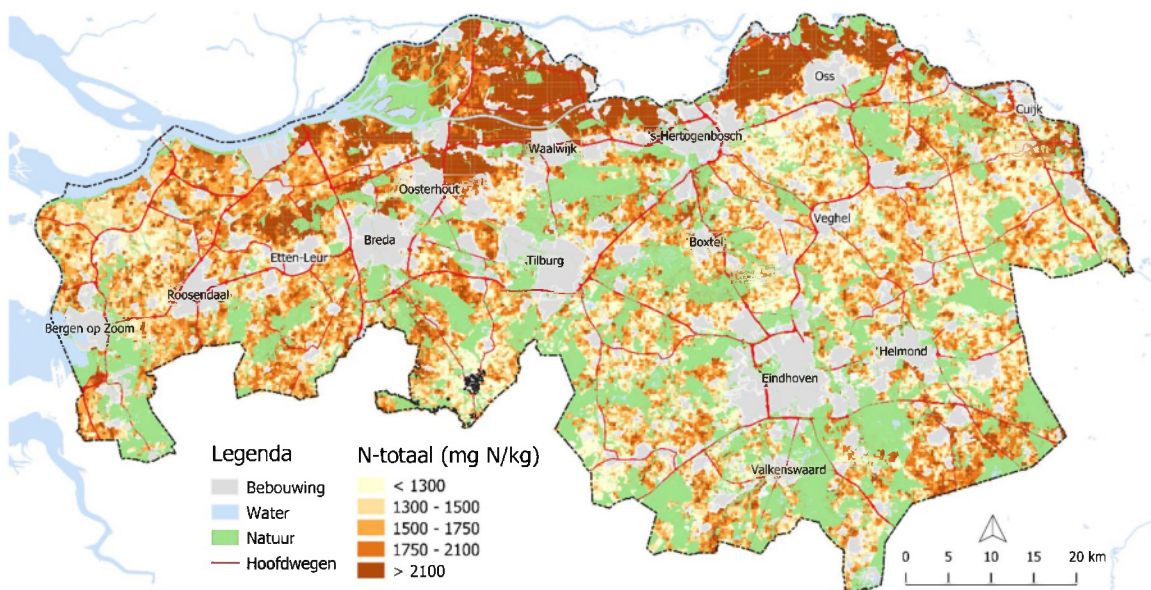
Figuur 3.6a. De ruimtelijk weergave van het siltgehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



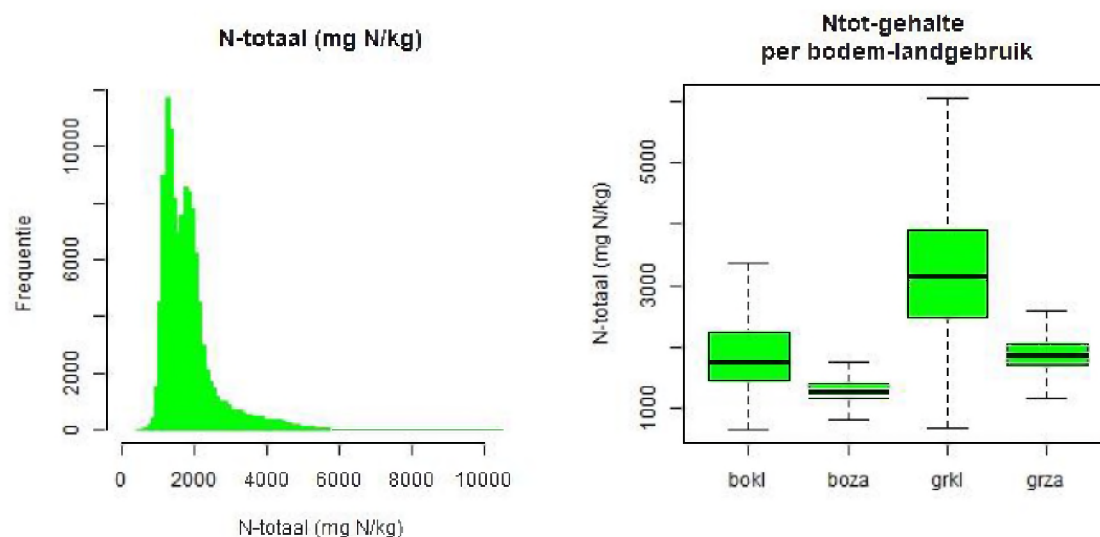
Figuur 3.6b. De frequentieverdeling van het silt-gehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Een belangrijke eigenschap van de bodem is de textuur of de korrelgrootteverdeling van de minerale deeltjes in klei (< 2µm), silt (2-63µm) en zand (63µm – 2 mm). Vele bodemfysische, -chemische en -biologische eigenschappen zijn hier nauw mee verbonden. Gronden met een groot aandeel silt zijn vruchtbaar, maar gevoelig voor verslamping en verstuiving. Het siltgehalte ligt het hoogste op het bouwland op klei (zeekleigronden), gevolgd door grasland op klei. Op zandgronden ligt het percentage gemiddeld op 10%.

3.7 Gehalte aan stikstof-totaal



Figuur 3.7a. De ruimtelijk weergave van het totaal stikstofgehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).

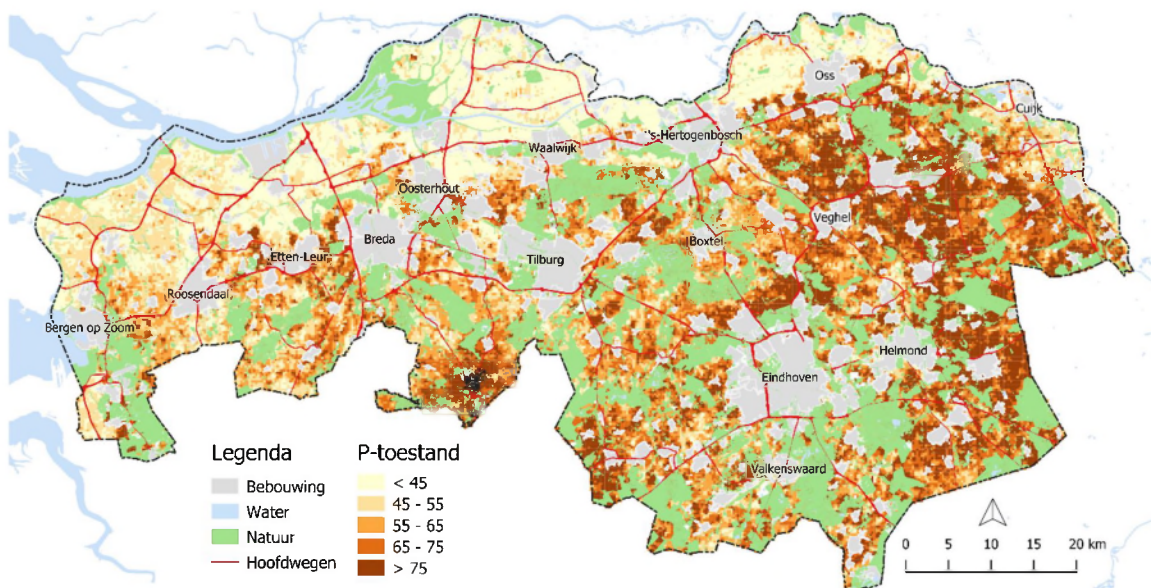


Figuur 3.7b. De frequentieverdeling van het totaal stikstofgehalte (per kg grond) en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

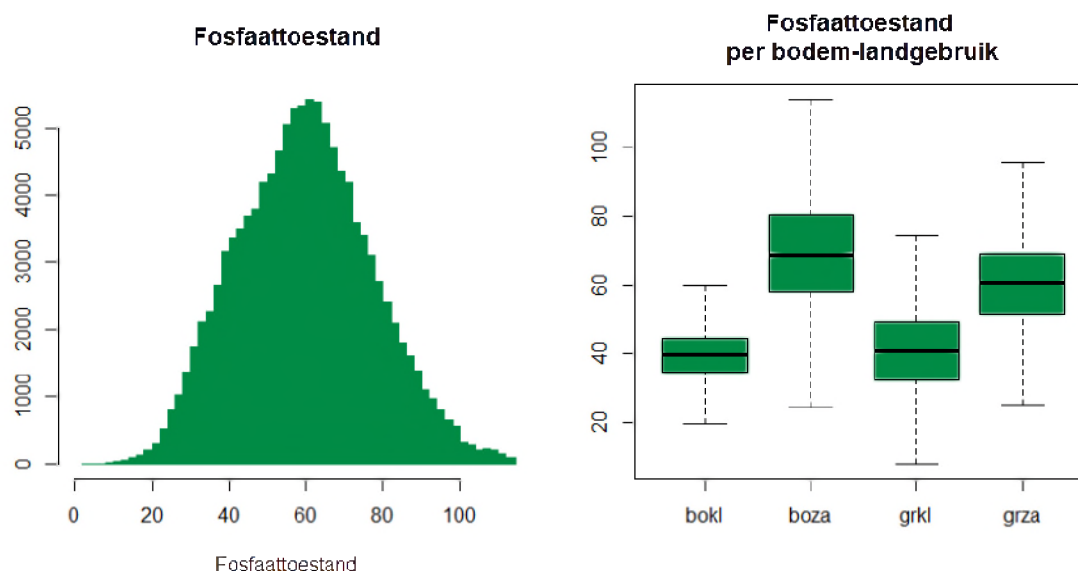
Het totaalgehalte aan stikstof (N) van de bodem is een indicator van de hoeveelheid stikstof die gedurende het groeiseizoen via mineralisatie beschikbaar komt. Er is een sterke relatie tussen het organische stofgehalte en het N-totaalgehalte. Bodems met een hoger N-gehalte leveren meer stikstof na en dragen daarom positief bij aan de gewasgroei. De N-bemestingsadviezen voor grasland en akkerbouw houden direct of indirect rekening met het N-gehalte van de bodem. Dit gehalte ligt met name hoog op grasland op klei. Dit zijn de gronden met het hoogste gehalte organische stof.

Doordat het N-totaal indicatief is voor de hoeveelheid N-levering, speelt het een rol bij de beoordeling van de ecosysteemdienst 'nutriëntenretentie en -levering'.

3.8 Fosfaattoestand



Figuur 3.8a. De ruimtelijk weergave van de fosfaattoestand (P-toestand: PAL voor grasland, Pw voor bouwland) in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



Figuur 3.8b. De frequentieverdeling van de fosfaatklasse en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl,boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

De fosfaattoestand geeft aan of er voldoende fosfaat (P) in de bodem zit voor een optimale gewasproductie. Voor grasland wordt de hoeveelheid plant-beschikbaar fosfaat gemeten via een extractie met ammonium-lactaat (PAL). Voor bouwland wordt gebruikt gemaakt van een analysemethode waarbij de bodem wordt geschud met water (Pw). Afhankelijk van de hoeveelheid fosfaat wordt een bodem in het kader van de fosfaatgebruiksnormen geclassificeerd als 'arm', 'laag', 'neutraal' of 'hoog' (zie tabellen 3.2 a en b), met daarbij

een verschillende indeling voor grasland en bouwland. Op de zandgronden in Noord-Brabant ligt de P-toestand voornamelijk 'hoog'. Op de kleigronden ligt dit gemiddeld genomen iets lager, maar alsnog in de meeste gevallen op 'midden' (Figuur 3.9).

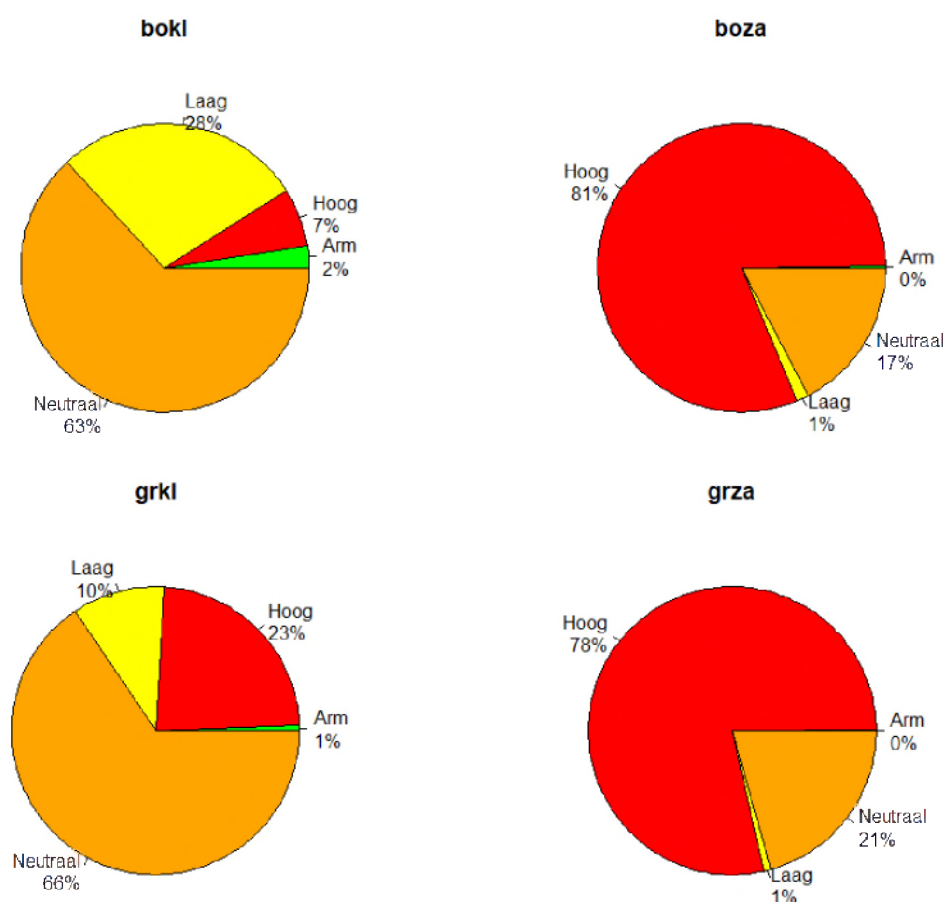
Tabel 3.2a. Fosfaattoestand grasland.

PAL-waarde	Categorie	Gebruiksnorm 2018 (kg fosfaat per ha)
< 27	Laag	100
27 – 50	Neutraal	90
> 50	Hoog	80

Tabel 3.2b. Fosfaattoestand bouwland.

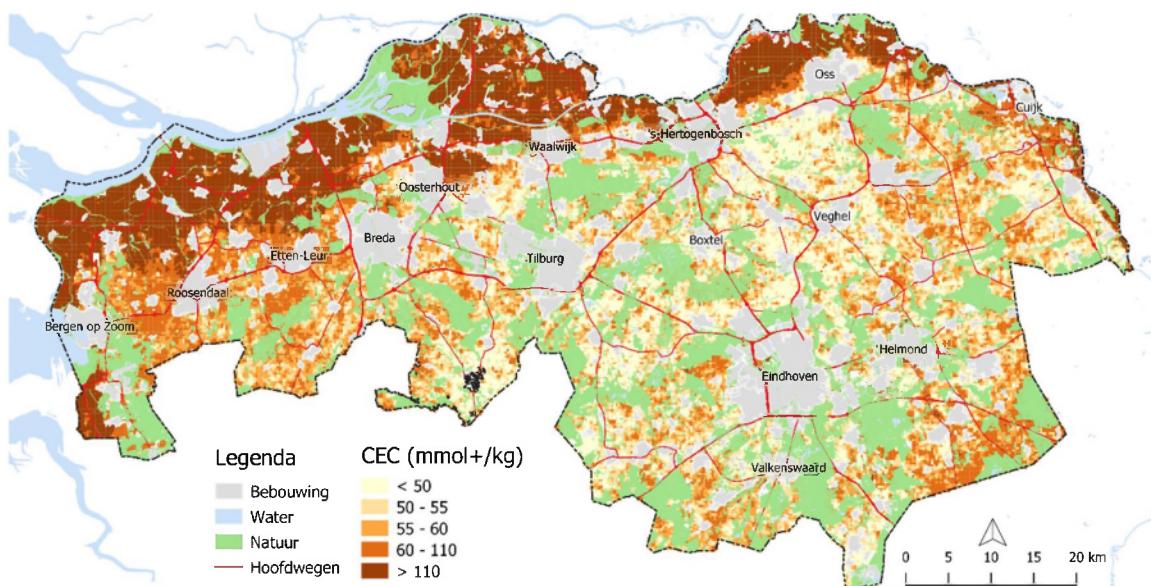
Pw-waarde	Categorie	Gebruiksnorm 2018 (kg fosfaat per ha)
< 36	Laag	75
36 – 55	Neutraal	60
> 55	Hoog	50

Het verschil tussen zand – en kleigronden is waarschijnlijk voor het grootste deel veroorzaakt door de bemestingsgeschiedenis (tot de introductie van de mestregelgeving): op de zandgronden in Noord-Brabant komen veel intensieve veehouderijen voor en is de mestproductie hoog tegenover akkerbouw op kleigronden. Ook kan de lagere fosfaattoestand (en beschikbaarheid) deels veroorzaakt worden door het hogere kalkgehalte in kleigronden (hogere pH) dan in zandgronden.

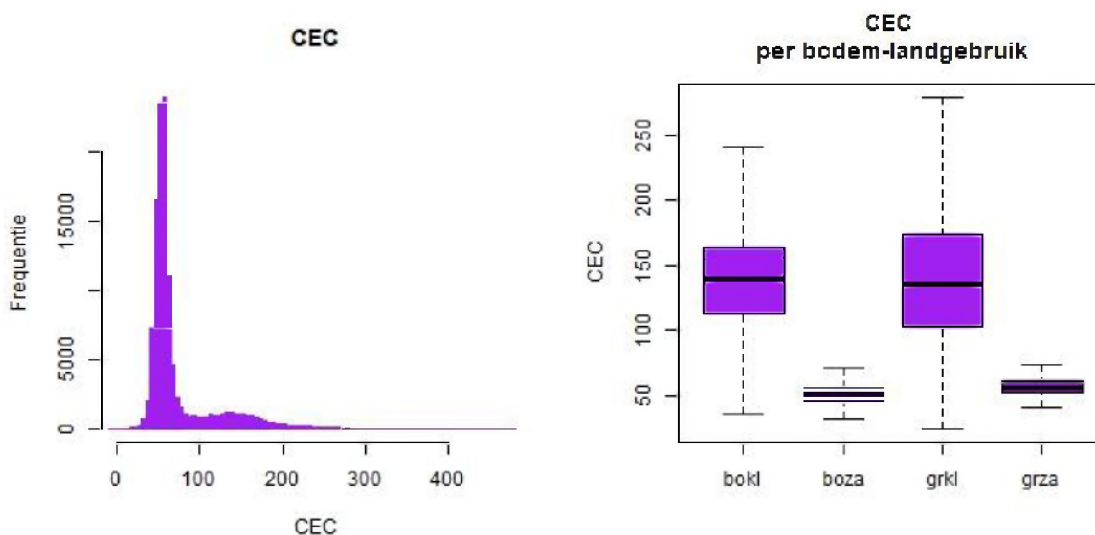


Figuur 3.9. Verdeling fosfaattoestand per landgebruik/grondsoortcombinatie.

3.9 Klei-humus complex (CEC)



Figuur 3.10a. De ruimtelijk weergave van het klei-humus complex (CEC) in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



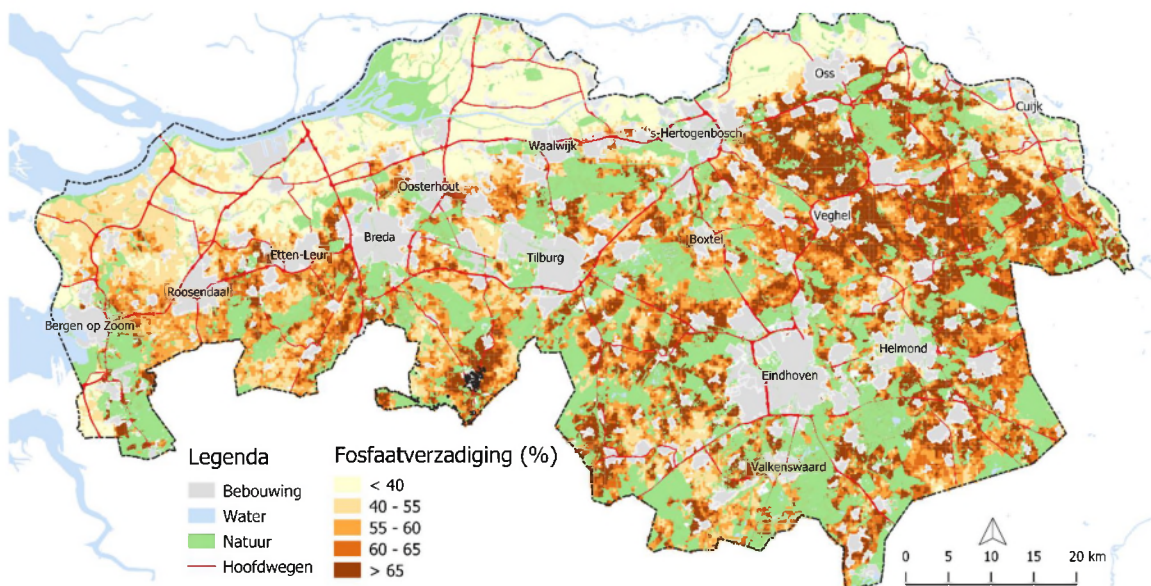
Figuur 3.10b. De frequentieverdeling van de CEC en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Het klei-humus complex of de CEC (Cation Exchange Capacity) is een maat voor het vermogen van de bodem om nutriënten en water vast te houden en die gedurende het seizoen na te leveren. Klei- en humusdeeltjes hebben een negatieve lading, waardoor zij positief geladen nutriënten, zoals kalium, magnesium, calcium en ammonium aantrekken en adsorberen. Door de adsorptie zijn de nutriënten beter beschermd tegen uitspoeling en vormen ze een reserve voor gewasopname. De CEC ligt een stuk hoger op

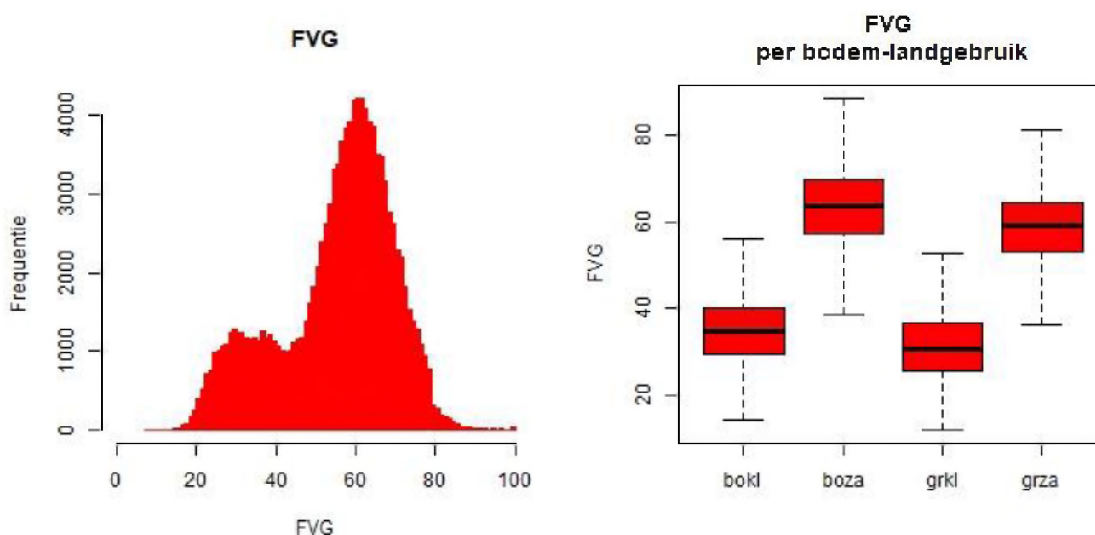
klei- dan op zandgronden. Tussen de soorten landgebruik is weinig verschil te zien. Zandgronden laten vrij weinig variatie zien (zonder duidelijke oorzaak) en het merendeel zit rond het gemiddelde van 50.

De CEC speelt een rol bij de beoordeling van de ecosysteemdiensten: nutriëntenretentie en -levering en zelfreinigend en bufferend vermogen.

3.10 Fosfaatverzadiging



Figuur 3.11a. De ruimtelijk weergave van fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



Figuur 3.11b. De frequentieverdeling van de FVG en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

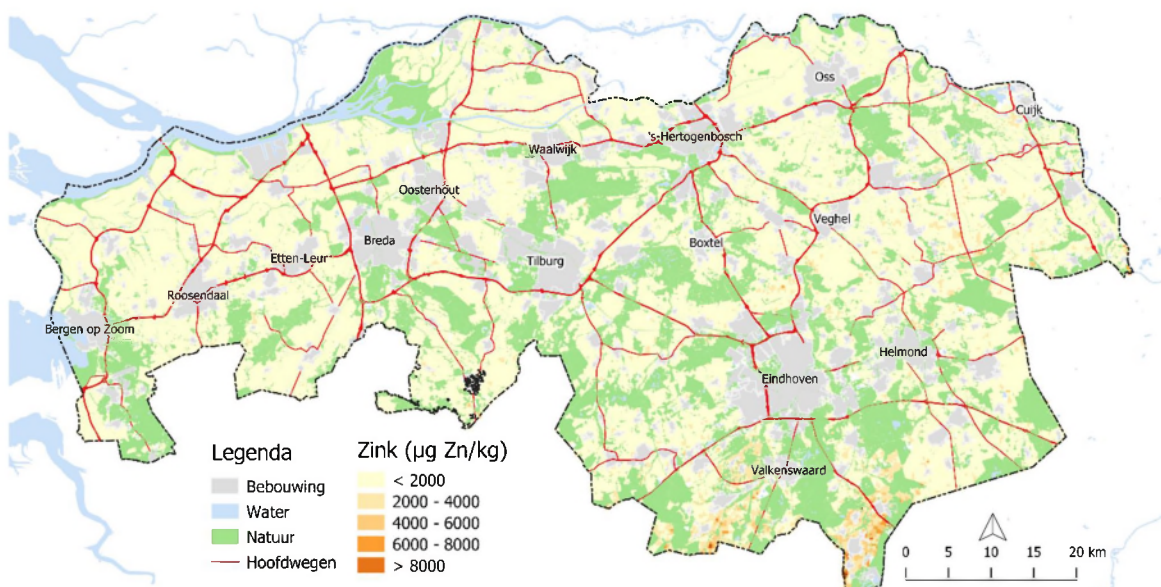
De P-verzadigingsgraad is het deel van de P-vastleggingscapaciteit (geschat via de hoeveelheid aluminium- en ijzer-oxiden in de bodem) dat 'bezet' is met fosfaat. Deze parameter geeft een indicatie in welke mate er sprake is van fosfaatretentie in de bodem en wat het risico is op eventuele uitspoeling. Uitspoeling kan optreden bij het ontstaan van een zuurstofarm milieu door bijvoorbeeld een hoge grondwaterstand. De fosfaatverzadigingsgraad geeft ook een beeld van het risico op eventuele afspoeling, al is die relatie complex.

In de officiële definitie van fosfaatverzadiging voor de meeste minerale gronden is sprake van fosfaatverzadiging als 25% van de adsorptiecapaciteit in de laag tussen maaiveld en de gemiddeld hoogste grondwaterstand is benut. In de hier gepresenteerde data is alleen gekeken naar de laag 0-10 cm voor grasland en de laag 0-30 cm voor bouwland. Over de gehele laag tot aan het gemiddeld hoogste grondwater zal de fosfaatverzadiging lager zijn dan de hier gepresenteerde waarden. In een eerder uitgevoerde studie werd aangetoond dat in rond 50% van het areaal landbouwgrond op zand de waarde van 25% werd overschreden (Schouwman, 2004).

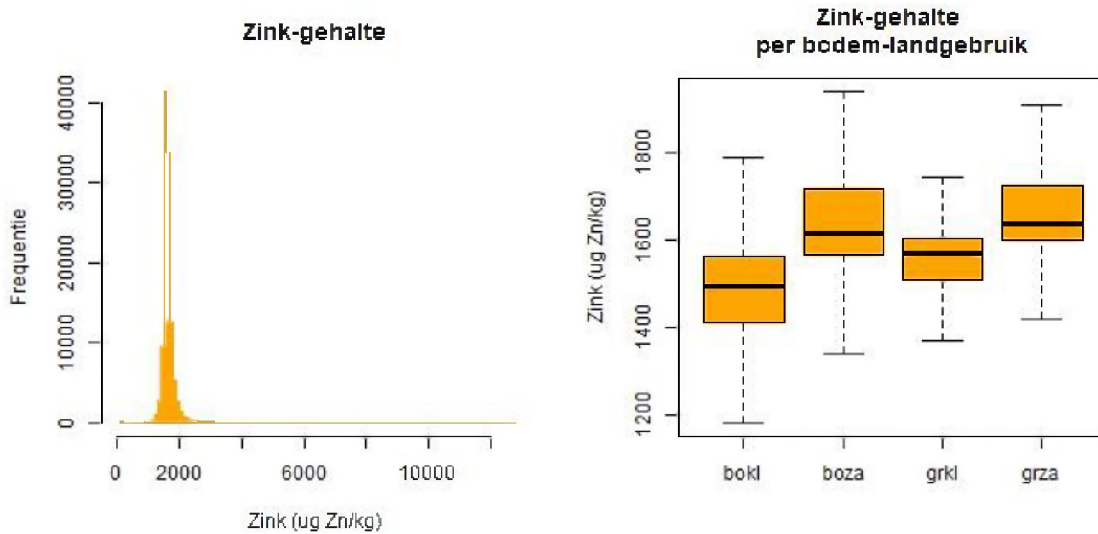
De fosfaatverzadiging van de toplaag ligt hoger op zandgronden dan op kleigronden. Dit komt door de aanwezigheid van intensieve veehouderij op de zandgronden. Op deze bedrijven kon in het verleden een grote hoeveelheid fosfaat worden toegediend in de vorm van dierlijke mest, die veel hoger was dan de gewasopname. Fosfaat is weinig mobiel en heeft zich in de loop der jaren opgehoopt. Pas bij het bereiken van de fosfaatverzadigingsgraad is er risico op uitspoeling.

De fosfaatverzadigingsgraad speelt een rol bij de beoordeling van de ecosysteemdienst 'nutriëntenretentie en -levering'.

3.11 Zinkgehalte



Figuur 3.12a. De ruimtelijk weergave van het zinkgehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



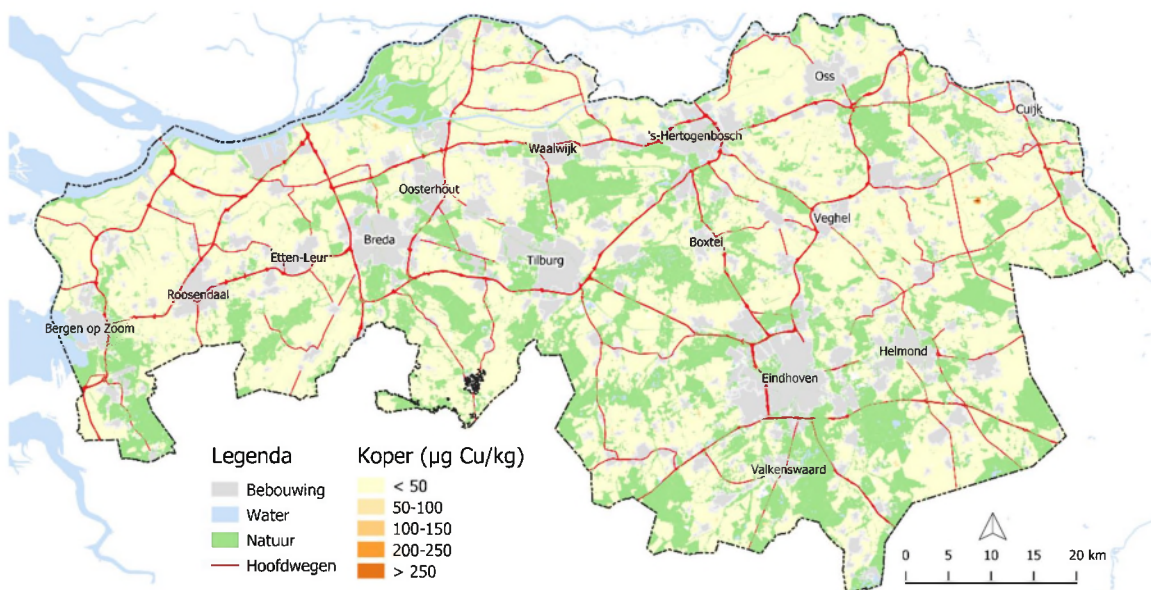
Figuur 3.12b. De frequentieverdeling van het zink-gehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Zink is een belangrijk sporenelement dat nodig is voor gewasgroei. Het gehalte in de bodem in combinatie met de pH stuurt de gewasopname. Zinkgebrek kan optreden op gronden met $\text{pH} \geq 7$ en met een hoog organische-stofgehalte. Ook een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift bevorderen het optreden van een gebrek. Er is geen officieel, op basis van grondonderzoek, vastgesteld zinkbestedingsadvies beschikbaar, omdat tot op heden via dierlijke mest vrijwel altijd voldoende zink wordt aangevoerd.

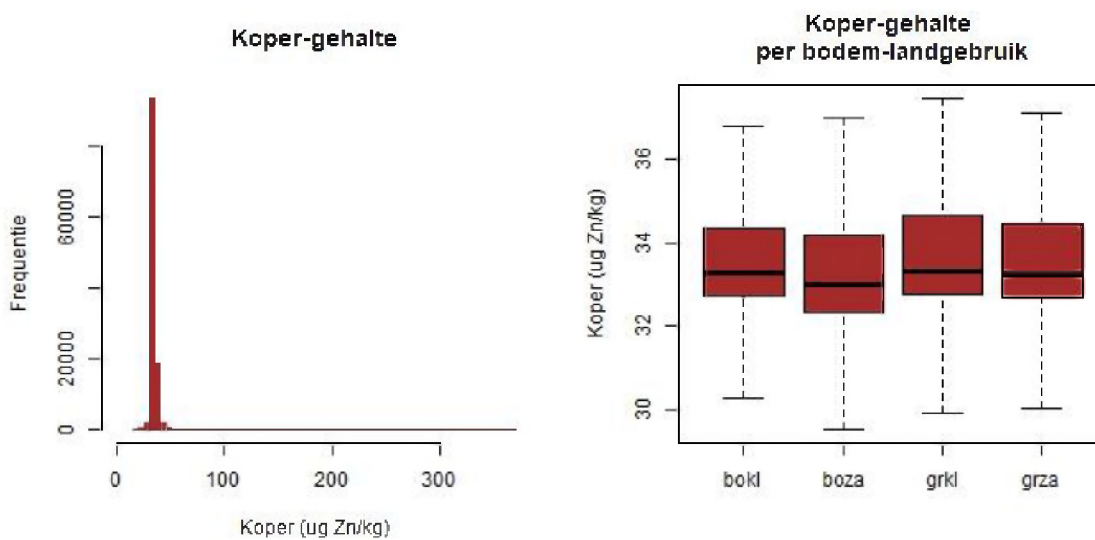
Zink laat over het algemeen niet veel variatie zien tussen grondsoorten en de geselecteerde landgebruiksvormen. In het zuiden van Noord-Brabant in de Kempen ligt zink boven de interventiewaarde. Hoewel normaal gesproken de mestgift de belangrijkste bijdrage levert wat betreft de antropogene achtergrondbelasting, was er in de Kempen in het verleden ook sprake van atmosferisch depositie van zink vanuit de zinksmelterijen (locatie Budel; Platform Bodembeheer Brabant, 2011). Dit is de oorzaak van de hoge waarden in deze regio. Bij een lage pH - zoals in natuurgebieden- kan zink gemakkelijk uitspoelen. In de van nature relatief zure natuurgebieden in deze regio zijn de zinkgehalten daarom vrij laag in vergelijking met landbouwpercelen die een veel hogere pH hebben.

Het zinkgehalte speelt een rol bij de beoordeling van de ecosysteemdienst 'nutriëntenretentie en -levering'. Hiertoe is het zinkgehalte in de bodem eerst geconverteerd naar het verwachte zink-gehalte in het gewas (zie verderop).

3.12 Kopergehalte



Figuur 3.13a. De ruimtelijk weergave van het kopergehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



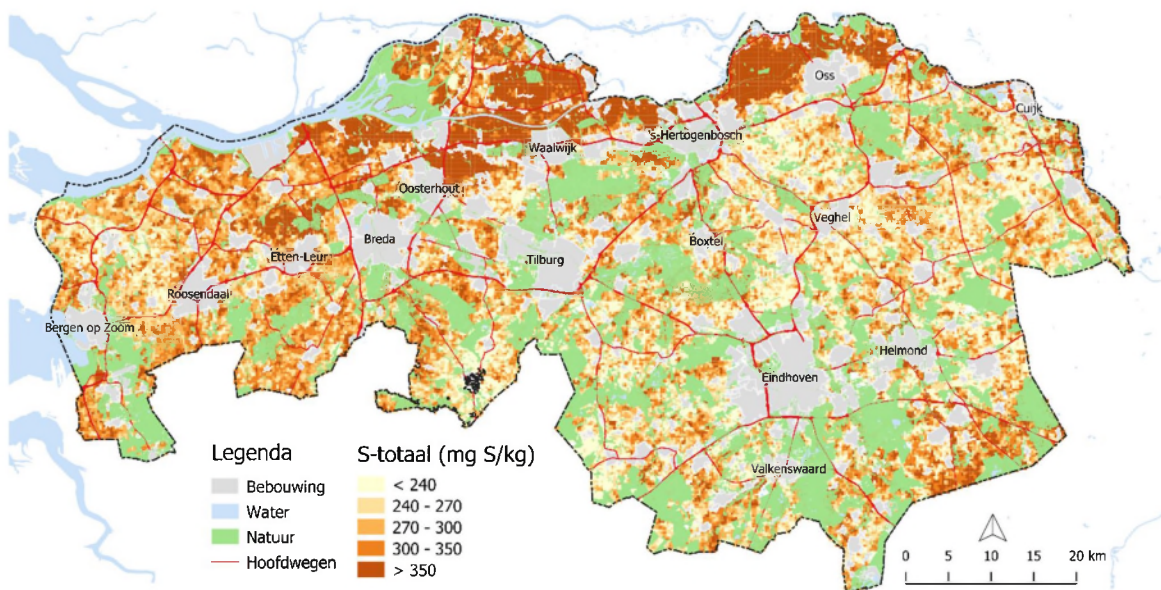
Figuur 3.13b. De frequentieverdeling van het koper-gehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bocl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Het sporenelement koper vervult een essentiële functie in planten en dieren. Het is in kleine hoeveelheden in de bodem te vinden. Een tekort kan vaak leiden tot schadelijke gevolgen voor kwaliteit, opbrengst of gezondheid van vee of mens. Het optimale landbouwkundige gehalte ligt tussen 45 en 65 ug/ kg voor het realiseren van gunstige gehalten in voedergewassen. Voor een optimale gewasproductie liggen deze waarden veel lager en zijn ze gewasafhankelijk. Kopergebrek vanuit de optiek van optimale gewasgroei komt in Nederland dan ook niet voor.

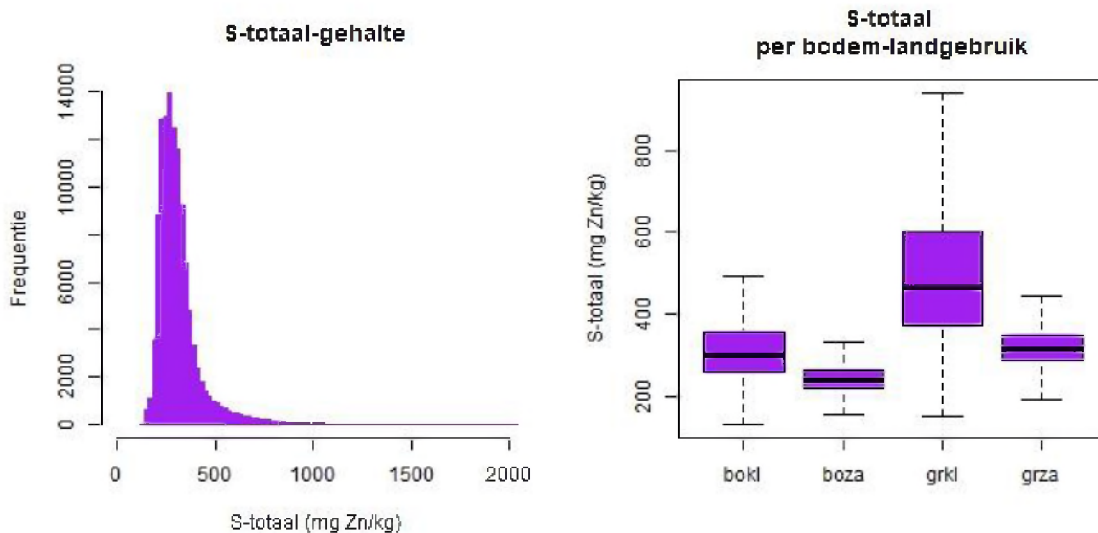
In Noord-Brabant is weinig variatie te zien tussen de grondsoorten en landgebruiksvormen. Het gemiddelde gehalte koper in de bodem ligt onder het optimale traject vanuit oogpunt van diervoeding (melkvee). Veelal kunnen landbouwhuisdieren in combinatie met het krachtvoer en of bijvoorbeeld een bolus (deze wordt ingegeven via de bek van het dier en geeft over een langere tijd langzaam mineralen af) voldoende koper opnemen.

Koper speelt een rol bij de beoordeling van de ecosysteemdienst 'nutriëntenregulatie en -levering'. Hiertoe is het kopergehalte in de bodem eerst geconverteerd naar het verwachte koper-gehalte in het gewas (zie verderop).

3.13 Gehalte aan zwavel-totaal



Figuur 3.14a. De ruimtelijk weergave van het zwavelgehalte in Noord-Brabant. De waarden zijn de uitkomsten van een geostatistisch model; de gebruikte data zijn afkomstig van Eurofins Agro en heeft een bemonsteringsdiepte van 0-10 cm (grasland) en 0-25 cm (bouwland).



Figuur 3.14b. De frequentieverdeling van het zwavel-gehalte en een box-plot met de mediane waarde voor bouwland op klei en zand (bokl, boza) en grasland op klei en zand (grkl, grza).

Het S-totaalgehalte van de bodem is een indicator voor de hoeveelheid zwavel die gedurende het groeiseizoen via mineralisatie beschikbaar komt. Bodems met een hoog S-totaalgehalte leveren meer zwavel wat ten goede komt aan de gewasgroei. Hierdoor is minder zwavelbemesting nodig. Het S-totaalgehalte is het hoogst op grasland op rivierklei (hoog organische stofgehalte).

S-totaal is sterk gecorreleerd aan het N-totaal en aan de organische stof (zie 3.16). S-totaal is niet meegenomen in de beoordeling van de ecosysteemdiensten in Noord-Brabant.

3.14 Bodemkenmerken per ecosysteemdienst

Tabel 3.3. laat voor de verschillende ecosysteemdiensten (H. 5) zien welke bodemkenmerken van invloed zijn en in de beoordeling een rol spelen. Zie tabel 1.1 voor de volledige naam van de ecosysteemdiensten.

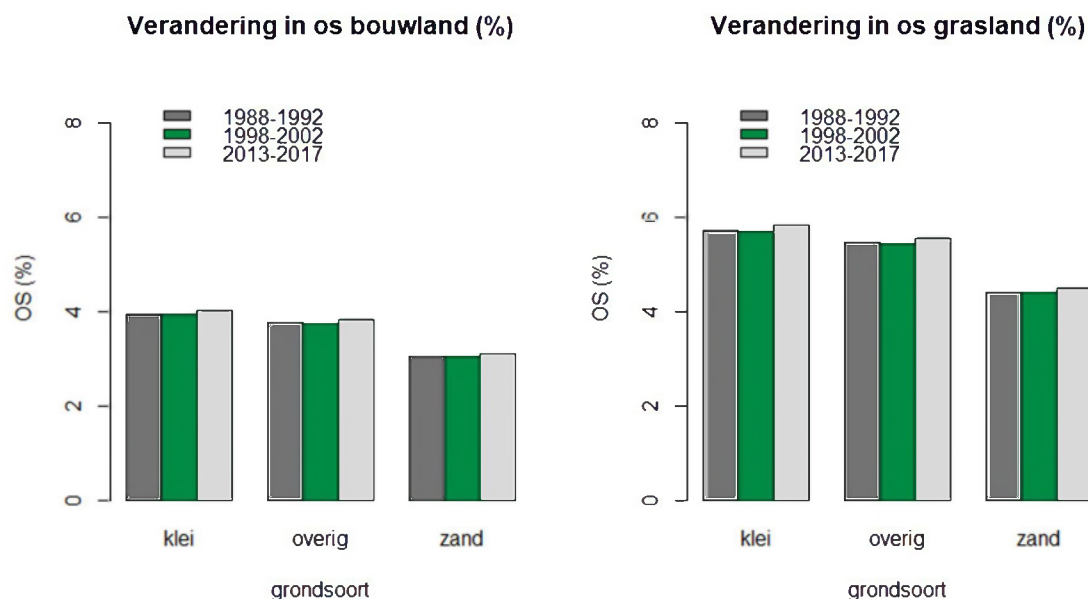
Tabel 3.3. Verwerking bodemkenmerken per ecosysteemdienst (nummering volgt Tabel 1.1).

	ESD 1	ESD 2	ESD 3	ESD 5	ESD 7	ESD 8	ESD 9	ESD 10
Organische stof	X	X	X	X	X		X	
Zuurgraad	X	X		X	X		X	
Grondwatertrap	X	X			X	X	X	
Fosfaatverzadiging	X				X			
Klei-humus complex	X				X			
Stikstofgehalte	X							
Fosfaattoestand	X							
Zinkgehalte	X							
Kopergehalte	X							
Klei		X			X		X	

4. Trendanalyse organische stof en fosfaat

4.1 Resultaten

De verandering in organische stof voor zowel bouwland als grasland wordt weergegeven in Figuur 4.1. Hieruit blijkt dat de verandering erg klein is en valt binnen de gangbare meetfout. Kleigronden hebben zoals gebruikelijk een hoger organisch stofgehalte dan zandgronden door fysieke bescherming van organische stof voor afbraak (klei humus interactie).

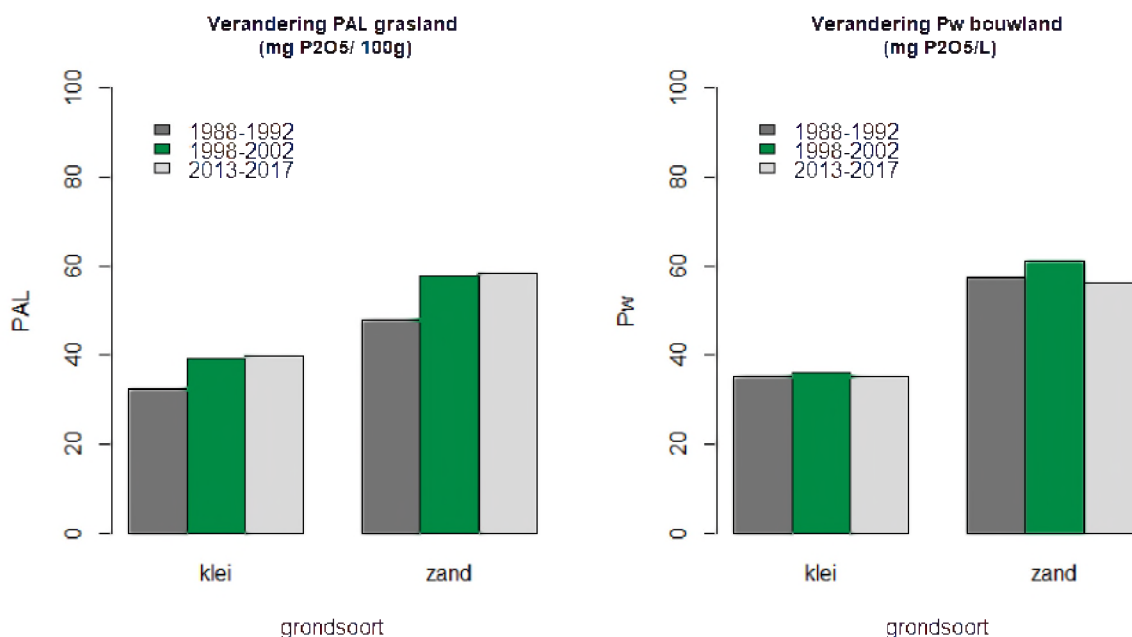


Figuur 4.1. Verandering in organische stof per landgebruik en bodemtype over de periode 1988 tot 2017 in de laag 0-10 cm - maaiveld op grasland en 0-25 cm - maaiveld op bouwland.

Voor bouwland is de gemiddelde verandering in het organische stofgehalte (rekening houdend met bodemtype, landgebruik en locatie) kleiner dan 0,1% (absoluut), waarbij de periode (2013-2017) significant hoger is dan de beide andere perioden (zie ook bijlage 1). Voor grasland is er een minimale stijging waarneembaar in het organische stofgehalte, maar ook deze stijging is kleiner dan 0,1% (absoluut), waarbij de periode (2013-2017) significant hoger is dan de beide andere perioden. Dit rechtvaardigt de conclusie dat het organische stofgehalte in Brabant zeker niet is gedaald over de periode van 1988 tot heden. Binnen het bouwplan is er blijkbaar voldoende aanvoer van organische stof om de aanwezige afbraak te compenseren.

Deze conclusie komt overeen met eerdere analyses van Reijneveld et al. (2009) waarin voor heel Nederland aangetoond werd dat er geen daling in het organische stofgehalte waarneembaar was in het agrarische meetnet. Andere studies van het NMI bevestigen deze conclusie. Dit betekent dat de natuurlijke bodemvruchtbaarheid (qua stikstoflevering, en waterberging geassocieerd aan organische stof) gelijk is gebleven. Uiteraard kunnen er individuele gevallen zijn waar dit wel het geval is, maar de conclusie van gelijkblijvende organische stofgehalten is aan te tonen op gemeente, postcode en vaak ook op bedrijfsniveau (niet weergegeven).

Het fosfaatgehalte in de bodem is grotendeels het resultaat van het landgebruik en bemestingsverleden. Fosfaat bouwt op in de bodem zodra er sprake is van een bodemoverschot. Uit de analyse voor Brabant blijkt dat er voor grasland een stijging is opgetreden in de P-toestand in de vorige eeuw, terwijl deze daarna stabiliseerde. Voor bouwland is de P-toestand redelijk stabiel gebleven over de afgelopen 20 jaar (zie bijlage 1), waarbij periode 1 niet significant verschilt van periode 3.

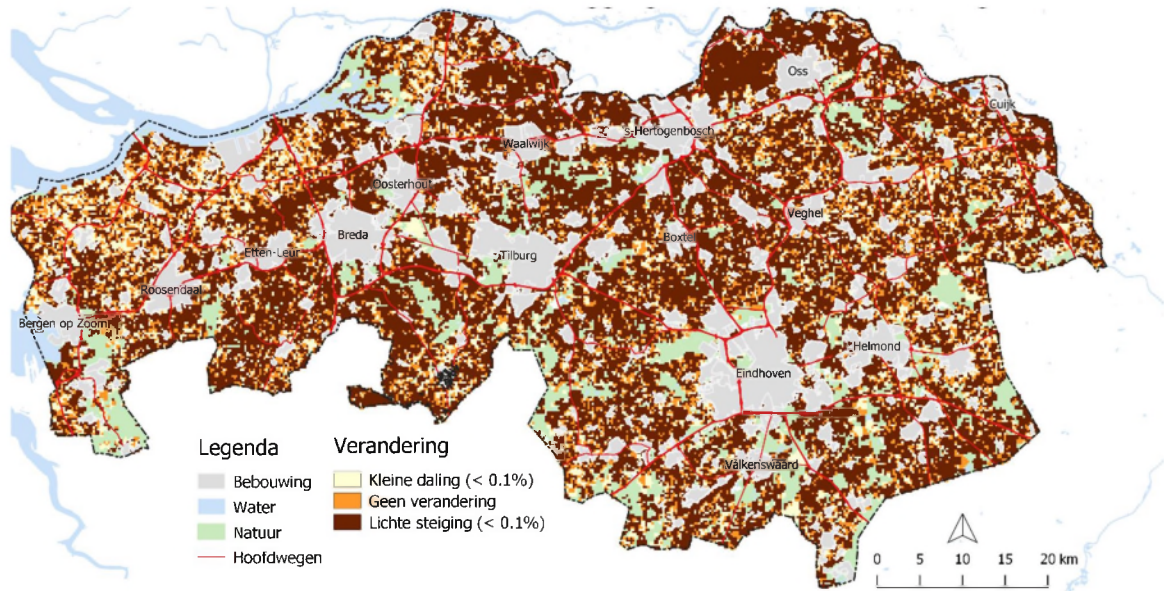


Figuur 4.2. Verandering in P-toestand per landgebruik en grondsoort over de periode 1988 tot 2017 in de laag 0-10 cm - maaiveld op grasland en 0-25 cm - maaiveld op bouwland.

Het huidige mestbeleid is gericht op evenwichtsbemesting, wat betekent dat er evenveel aan P bemest mag worden als er via gewasopname wordt onttrokken gegeven een vruchtbare bodem. Bij te lage P-toestanden is extra fosfaatbemesting toegestaan om de bodem in een goede chemische toestand te krijgen. Gemiddeld genomen ligt de P-toestand op klei in de klasse neutraal (PAL varieert tussen 27 en 50) terwijl de P-toestand op zandgronden gemiddeld in de klasse hoog (PAL groter dan 50) valt. Op deze laatste percelen (65% van alle onderzochte percelen in de periode na 2013) is voldoende fosfaat beschikbaar voor gewasopname, en moet er minder P bemest worden dan het gewas opneemt. Voor bouwland geldt dezelfde conclusie; 55% van alle percelen valt in de klasse hoog. Deze analyse bevestigt hiermee dat de P-bodemtoestand in de afgelopen 20 jaar redelijk constant is gebleven, ondanks de steeds lagere bemestingsnormen. Deze conclusie wordt bevestigd door de studie van De Haas et al. (2014) die voor het Centraal Veehouderijgebied (voornamelijk zandgronden in Brabant) aantoonde dat de P-toestand op grasland een stijgende trend liet zien van 1,6% per jaar. Opmerkelijk was wel dat de hoeveelheid plant-beschikbare fosfaat een dalende trend liet zien, wat aangaf dat het bemestingsbeleid in Nederland van invloed was op de hoeveelheid beschikbare en uitspoelbare fosfaat in de bodem. Voor de agrarische praktijk was er geen verandering waarneembaar in het P-gehalte in de onderzochte graskuilen, wat betekent dat een eventuele daling in plant-beschikbaar fosfaat geen problemen oplevert voor de agrarische ruwvoerproductie. Vergelijkbare resultaten zijn gepubliceerd voor Zuidwest-Brabant.

4.2 Ruimtelijke verdeling

Ter illustratie wordt hieronder de geschatte verandering in organische stof geïllustreerd voor het agrarisch landgebruik in provincie Brabant. De verandering is nihil voor de akkerbouwpercelen en laat een kleine stijging zien voor de graslandpercelen, in overeenstemming met de hiervoor beschreven analyse.



Figuur 4.2. Verandering in organische stof over de periode 1988 tot 2017 in de laag 0-10 cm - maaiveld op grasland en 0-25 cm - maaiveld op bouwland.

5. Ecosysteemdiensten

De waardering van de bodem voor een specifieke ecosysteemdienst wordt vastgesteld door de toestand van de verschillende bodemkenmerken (op basis van gemeten data) die het functioneren van deze ecosysteemdienst bepalen. De methodiek is uiteen gezet in hoofdstuk 2.5.

In dit hoofdstuk worden per ecosysteemdienst de relevante variabelen (bodemkenmerken), de weging die resulteert in een score per grid en de ruimtelijke variatie besproken.

De geselecteerde klassegrenzen zijn in H.6 weergegeven. De oordelen 'goed', 'matig' of 'slecht', wat neerkomt op totaalscores van resp. 30, 20 en 10 zijn relatief. De uiteindelijke score wordt weergegeven op een schaal van 0-10. Dit is gedaan door van de score 10 af te trekken en het te delen door 2. Een score van 10 wordt 0, 20 wordt 5 en 30 wordt 10. In de figuren is dit met kleuren weergegeven; rood 0 – 2 (oordeel slecht), geel 4-6 (matig) donkergroen 8-10 (goed). Tabellen met de begrenzing van de gebruikte streefklassen per bodemkenmerk zijn beschreven in hoofdstuk 6.

De beoordeling van de bodem voor elk van de ecosysteemdiensten, en hiermee de weergave op de kaarten, is indicatief.

5.1 Nutriëntenretentie en -buffering

De ecosysteemdienst 'nutriëntenretentie en – levering' wijst op het vermogen van de bodem om voedingsstoffen vast te houden en te leveren en de timing daarvan gedurende het seizoen voor plantengroei en teeltgewassen.

In tabel 5.1 zijn de bodemkenmerken en hun relatie met betrekking tot het functioneren van de ecosysteemdienst 'nutriëntenretentie en –levering' weergegeven. Kenmerken die sterk aan elkaar zijn gecorreleerd, zijn door weging gecorrigeerd. Het gaat hierbij om de combinaties organische stof – N-totaal, fosfaatklasse – fosfaatverzadiging en koper – zink.

Tabel 5.1. Relevante bodemkenmerken voor nutriëntenretentie – en levering.

Bodemkenmerk	Relatie
CEC	Sterkte van bindings- en naleveringcapaciteit nutriënten (hoger = beter).
Organische stof	Nutriëntenlevering aan het gewas door afbraak van organische stof, bron van voedsel voor bodemleven, dat een positieve invloed heeft op de bodemstructuur.
N-totaal	Indicator van de N-levering van een bodem (hoger = beter).
pH	Bepalend voor het gemak waarmee een gewas nutriënten kan opnemen, en indirect van invloed vanwege relatie met CEC en functioneren van bodemleven.
Grondwatertrap	Gewassen nemen nutriënten op vanuit de bodemoplossing. Lage grondwaterstanden remmen de nutriëntenstromen en een hoge grondwaterstand kan de zuurstofvoorziening aan wortels, en daarmee de nutriëntenopname, beperken.
Beheer	Ploegen heeft een negatieve invloed op de nutriëntenlevering, vanwege het verhoogde risico op uitspoeling. Verder veroorzaken zware machines bodemverdichting. Aanvoer van mest heeft een positieve invloed op deze ecosysteemdienst. Vooral mest op grasland (toevoer organische stof) draagt bij aan de korte- en lang termijnlevering van nutriënten. Op bouwland is dit minder, doordat hier meer kunstmest wordt gebruikt.
Fosfaatklasse	Een indicator voor de beschikbaarheid van fosfaat.

<i>Fosfaat-verzadiging</i>	Een indicator voor de beschikbaarheid van fosfaat en indicator voor het risico van fosfaatsuitleiding.
<i>Koper</i>	Een indicator voor de beschikbaarheid van koper. Hoge gehalten zijn veevoedingstechnisch niet gewenst. Zeer lage gehalten betekent dat er veel aanvulling nodig is via rantsoenen.
<i>Zink</i>	Een indicator van de beschikbaarheid van zink. Hoge gehalten zijn veevoedingstechnisch gewenst (betere weerstand van het vee). Zeer lage gehalten betekent dat er veel aanvulling nodig is via rantsoenen.

De toegepaste weging voor de score van nutriëntenretentie en – levering luidt:

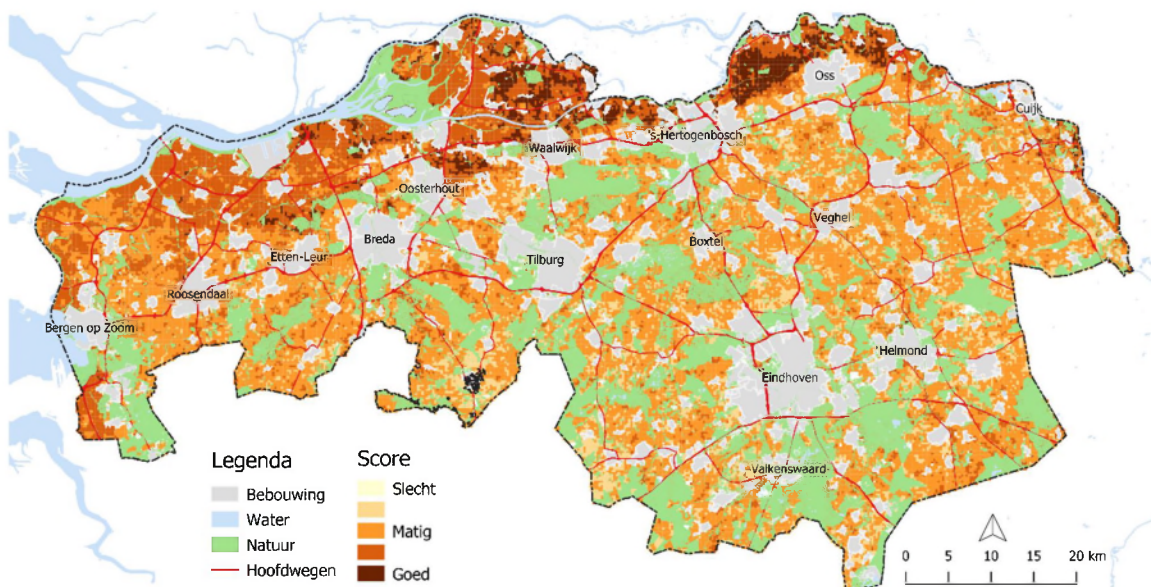
$$ESD1 = (0,5 \times \text{Organische stof} + 0,5 \times \text{Stikstofgehalte}) + \text{Zuurgraad} + \text{CEC} + \text{Grondwatertrap} + \text{Beheer} + (0,5 \times \text{Fosfaattoestand} + 0,5 \times \text{Fosfaatverzadiging}) + (0,5 \times \text{Koper} + 0,5 \times \text{Zink})/7$$

Organische stof en stikstof – tot zijn elk voor de helft gewogen, omdat deze sterk gecorreleerd zijn. Dat geldt evenzo voor de fosfaattoestand en de fosfaatverzadigingsgraad.

De gemiddelde score voor deze ecosysteemdienst is 5,0 (op een schaal van 0 tot 10). Het belangrijkste verschil tussen zand en klei wordt bepaald door de hogere CEC op klei. Een hogere CEC zorgt voor een betere retentie van nutriënten in de bodem. Tussen de landgebruiksvormen is het hogere organische stofgehalte (gekoppeld aan de hogere N-totaal) op grasland verantwoordelijk voor de hogere nutriëntenlevering. De gemiddelde score op grasland op klei is 7,8. Hierna komt grasland op zand met een score van 5,9. Akkerbouw op klei scoort gemiddeld 5,5 en op zand 3,3. Bij de laatste is er ook weinig spreiding in waardering.

Tabel 5.2. De verdeling (%) van de waardering van ESD 1 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 1 Nutriëntenretentie- en levering	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	1	28	71	0
<i>Bouwland op zand</i>	0	65	35	0	0
<i>Grasland op klei</i>	0	0	2	47	51
<i>Grasland op zand</i>	0	0	57	43	0



Figuur 5.1. Waardering ecosysteemdienst nutriëntenretentie en -levering.

CEC

De kationen-uitwisselcapaciteit (CEC) is een schatting van de mate waarin de (positief) geladen nutriënten gebonden worden aan de negatieve lading van klei- en humusdeeltjes. Door deze binding worden de nutriënten beschermd tegen uitspoeling. Bij opname van nutriënten door het gewas daalt de concentratie in de bodemoplossing, waardoor nutriënten vanaf de klei- en humusdeeltjes worden nageleverd. Bij een hoge CEC is de bindings- en nalevercapaciteit van de klei- en humusdeeltjes groter dan bij een lage CEC. Hierdoor is het beschikbaar komen van nutriënten bij een hogere C.E.C. tijdens het groeiseizoen beter afgestemd op de gewasbehoefte.

Organische stof

Organische stof draagt bij aan de nutriëntenretentie door het aandeel van de humusdeeltjes in de CEC. In zandgronden speelt organische stof wat dit betreft een grotere rol dan in kleigronden, omdat zanddeeltjes weinig nutriënten of organische verbindingen vasthouden. Bij de afbraak van de organische stof door het bodemleven komen de nutriënten vrij in een voor het gewas opneembare vorm. Ook heeft organische stof een positieve invloed op de bodemstructuur en daarmee op de leefomgeving en activiteit van het bodemleven; het is een bron van voedsel voor het bodemleven.

N-totaal

Het N-totaal in een bodem is een indicator voor de hoeveelheid stikstof (N) die gedurende het groeiseizoen via mineralisatie beschikbaar komt. Het verband tussen N-totaal en N-levering wordt verondersteld nagenoeg lineair te. Bij een N-totaal van 0 mg N per kg grond (een theoretisch minimum, in werkelijkheid is er altijd N in de bodem aanwezig) is de waardering 0. Bij een N-totaal van 7000 mg N per kg grond is de waardering voor deze categorie op 100% gesteld. Een N-totaal hoger dan 7000 mg N per kg grond leidt naar verwachting niet tot een betere N-voorziening, en wordt in de praktijk zelden gerealiseerd.

Zuurgraad

De zuurgraad (uitgedrukt als de pH) heeft op verschillende wijzen invloed op de levering en retentie van nutriënten. De CEC van organische stof is afhankelijk van de pH. Deze neemt af bij een lagere pH, waarmee ook de nutriëntenretentie afneemt. Bij een lage pH komen er veel Al^{3+} -ionen in oplossing. Deze verdringen

de nutriënten van de CEC, waardoor deze makkelijker uitspoelen. Ook remt Al^{3+} de opname van nutriënten en de groei van het gewas. De activiteit van het bodemleven en de samenstelling van het voedselweb is afhankelijk van de zuurgraad. Deze beïnvloedt daarmee ook de mineralisatie van nutriënten vanuit organische stof en de nutriëntenlevering, maar ook de opname van nutriënten door het gewas. Gewassen hebben verschillende pH-trajecten waarbinnen zij goed gedijen.

Grondwatertrap

De grondwaterstand is via het bodemvocht van invloed op de nutriëntenretentie en –levering. Nutriënten worden uitsluitend opgenomen vanuit de bodemoplossing. Transport van nutriënten naar de wortels geschiedt via massastroming en diffusie. Bij een lage vochttoestand van de bodem wordt zowel de nutriëntentoevoer naar de wortels als de nutriëntenopname geremd. Bij een zeer hoge vochttoestand van de bodem kan daarentegen de zuurstofvoorziening van de wortels onvoldoende zijn voor het goed functioneren van de wortels en daarmee voor de nutriëntenopname.

Management

Het huidige management heeft invloed op de nutriëntenretentie en –levering via:

- de aanvoer van nutriënten in de vorm van kunstmest en organische mest;
- de aanvoer en opbouw van organische stof in de bodem. Organische stof is van invloed op de nutriëntenlevering (door mineralisatie) én op de nutriëntenretentie (humus vormt een deel van de CEC);
- ploegen. Dit geeft een opleving van de activiteit van het bodemleven waardoor er kortstondig een versterkte afbraak van organische stof plaatsvindt. Direct na ploegen is er geen gewas om de gemineraliseerde nutriënten op te nemen, waardoor de kans op uitspoeling toeneemt. Ploegen heeft zo een negatieve invloed op de nutriëntenretentie en daarmee op het potentieel tot nutriëntenlevering;
- de inzet van zware machines. Deze kunnen leiden tot verdichting en daarmee tot opbrengstvermindering. Ook de omstandigheden waaronder wordt geploegd, gezaaid en geoogst spelen een rol;
- drainage en ontwatering. Deze bevorderen de N-mineralisatie.

Fosfaatklasse

De fosfaatbeschikbaarheid is van invloed op de gewasproductie. Bij een toestand 'arm' (komt vrijwel niet voor) is veel fosfaat nodig voor een optimale gewasproductie. Bij een toestand 'laag' is wat meer fosfaat nodig dan het gewas onttrekt. Bij een toestand 'neutraal' mag een hoeveelheid fosfaat worden gegeven die gemiddeld genomen de gewasonttrekking compenseert. Bij een toestand 'hoog' is nog nauwelijks fosfaat nodig voor een optimale gewasproductie en neemt het risico op fosfaatverliezen door uit- en afspoeling toe. Het merendeel van de gronden in Noord-Brabant bevindt zich in de klasse hoog.

Fosfaatverzadiging

De P-verzadigingsgraad geeft een indicatie in welke mate er sprake is van fosfaatretentie in de bodem en op het risico van eventuele uitspoeling en afspoeling (deze relatie is complex). In de officiële definitie van fosfaatverzadiging voor de meeste minerale gronden is sprake van fosfaatverzadiging indien 25% van de adsorptiecapaciteit in de laag tussen maaiveld en de gemiddeld hoogste grondwaterstand is benut.

De toplaag (0-10 cm voor grasland en de laag 0-30 cm voor bouwland) is sterk verzadigd met fosfaat (meer dan 50%) en daarmee overwegend als slecht gewaardeerd door het hoge risico op milieukundige verliezen.

Koper

Koper is essentieel voor de gewasproductie en voor de diervoeding. Het kopergehalte in grond is omgerekend naar een 'verwachtgehalte' in het gewas en gewaardeerd op het berekende gewasgehalte (H 6.1). Te hoge gehalten in gewassen zijn veevoeding-technisch niet gewenst. Lage gehalten betekenen dat er aanvulling nodig is via krachtvoer en of mineralenmengsels. Zeer hoge gehalten komen niet voor in Noord-Brabant.

Zink

Zink is essentieel voor de gewasproductie en voor de diervoeding. Het zinkgehalte in grond is omgerekend naar een 'verwachtgehalte' in het gewas en gewaardeerd op het berekende gewasgehalte. Deze zijn voor grasland en bouwland verschillend. Vanuit de optiek van gewasgroei bevindt Zn zich overwegend op een goed (=hoog) niveau.

5.2 Bodemstructuur

De ecosysteemdienst 'bodemstructuur' geeft de groeiomstandigheden van het gewas aan en laat toe dat teeltmaatregelen worden uitgevoerd zonder de bodemkwaliteit aan te tasten.

De bodemstructuur is de onderlinge rangschikking en samenhang van de aggregaten (gevormd uit minerale en organische bestanddelen) en poriën (gevuld met water en/of lucht) en bepaalt zo de verdeling tussen de vaste, vloeibare en gasvormige fracties

. De bodemstructuur is belangrijk voor onder andere wortelontwikkeling, vochthuishouding, bodemleven en draagkracht van de grond..

Tabel 5.3. Relevante bodemkenmerken voor de bodemstructuur.

Bodemkenmerk	Relatie
<i>Organische stof</i>	Positief effect via aggregaatforming en –stabiliteit door bodemleven te stimuleren. Humus heeft ook een bindende werking.
<i>Lutum (klei)</i>	Opbouw bodemstructuur neemt toe met hogere klei-gehalten, doordat lutumdeeltjes via kationbruggen stabiele verbindingen kunnen vormen.
<i>Zuurgraad</i>	Zure bodems hebben minder bodemleven en een slechte bodemstructuur.
<i>Grondwatertrap</i>	Een lage grondwaterstand (uitdroging grond) en hoge grondwaterstand (zuurstofgebrek) beperken het bodemleven en werken daarmee negatief door in de bodemstructuur.
<i>Beheer</i>	Grondbewerking heeft negatieve invloed op het bodemleven.
<i>Verslemping</i>	Slemp is het proces waarbij bodemaggregaten uiteenvallen onder invloed van regen, waardoor de poriën verstopt raken. De grond slaat dicht. De gevoeligheid voor verslemping wordt bepaald door de textuur en het organisch stofgehalte.
<i>Verkruimelbaarheid</i>	Het gemak waarmee zich de bovengrond laat verkruimelen. Verkruimelbare grond laat zich goed bewerken. Het is vooral van belang op bouwland op zavel en klei wordt: Het lutumgehalte, organische stof en pH zijn hierop van invloed.
<i>Risico op bodemverdichting</i>	Verdichte bodems remmen de beworteling en kunnen nadelig zijn voor de gewasproductie. Ook wordt de afvoer van water bemoeilijkt waardoor gronden later bewerkbaar in het voorjaar zijn en het risico van afspoeling toeneemt.

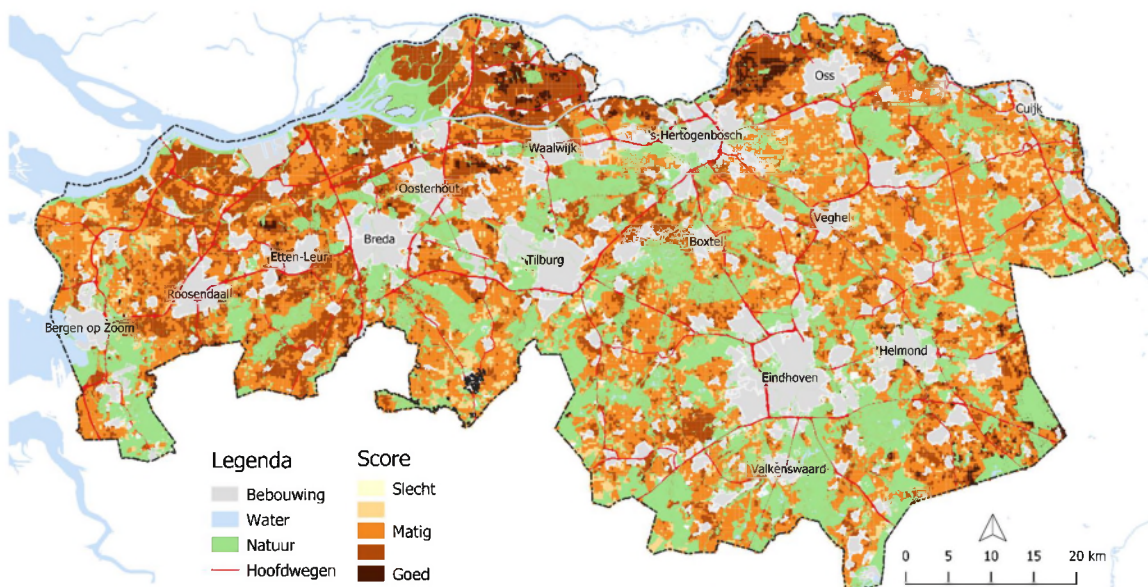
In de score voor de ecosysteemdienst bodemstructuur weegt het risico op bodemverdichting het zwaarste mee; voor 1/3^e). De overige 2/3^e van de score wordt gevormd door lutum, de verkruijmelbaarheid en verslamping (samen een onderdeel) en organische stof, zuurgraad, grondwatertrap en het beheer:

$$ESD2 = (Bodemverdichting + 2 \times (Organische\ stof + Zuurgraad + Grondwatertrap + Beheer + \frac{Verslamping + Verkruijmelbaarheid + Klei}{3}) / 5) / 3$$

De score voor de bodemstructuur ligt gemiddeld op 5,6. Op klei ligt de score in beide gevallen hoger dan op zand. De hoogste score is terug te vinden voor grasland op klei (6,5), gevolgd door bouwland op klei (5,9). De gebieden die als 'goed' worden beoordeeld, dekken maar een klein deel van het grasland op klei. Op zand is de score voor grasland (6,0) ook hoger dan voor bouwland (4,7). Veel zandgrond valt in de categorie matig en matig / slecht.

Tabel 5.4. De verdeling (%) van de waardering van ESD 2 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 2 Bodemstructuur	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	6	43	49	2
<i>Bouwland op zand</i>	0	20	71	8	1
<i>Grasland op klei</i>	0	2	33	51	14
<i>Grasland op zand</i>	0	0	63	32	4



Figuur 5.2. Waardering ecosysteemdienst bodemstructuur.

Organische stof

Organische stof heeft een positief effect op bodemstructuur van zandgronden via aggregaatvorming en – stabiliteit. Door vorming van stabiele aggregaten is de bovengrond minder gevoelig voor verslemping. Door de aanwezigheid van aggregaten en kruimels ontstaat een range aan poriën. Vooral de microporiën in de aggregaten dragen bij aan het vochthoudende vermogen van de grond. Organische stof stimuleert de activiteit van het bodemleven doordat het dient als voedingsbodem. Het bodemleven zorgt voor aggregaatvorming en stabiliteit op verschillende niveaus. Door de uitscheiding van slijmstoffen door bacteriën en regenwormen worden micro-aggregaten aaneen gekit. Schimmeldraden verbinden de micro-aggregaten tot kruimels. Regenwormen brengen organische stof naar diepere bodemlagen, waardoor profielopbouw plaatsvindt. Stabiele organische stof (humus) heeft een bindende werking vanwege de negatieve lading. Dat leidt tot de vorming van micro-aggregaten.

Lutum

Het aandeel lutum (klei) in de bodem heeft een sterke invloed op de opbouw van de bodemstructuur. Door de negatieve lading van de lutumdeeltjes kunnen er via kationbruggen stabiele verbindingen worden gevormd tussen de bodemdeeltjes. Daardoor ontstaan (micro-)aggregaten. Deze microaggregaten kunnen weer aaneengebonden worden tot grotere aggregaten en kruimels, zodat uiteindelijk een stabiele kruimelstructuur ontstaat. Bij een goede kruimelstructuur zijn er voldoende kleine en grote poriën aanwezig voor een goede voorziening van vocht en lucht. Dit is gunstig voor het verloop van bodemprocessen zoals een toenemende N-mineralisatie.

Zuurgraad

De zuurgraad, uitgedrukt in de pH, is van invloed op de kationenbezetting aan de CEC. Bij een lage pH (verhoging zuurgraad) verdringen de H^+ -ionen de Ca^{2+} -ionen. De Ca^{2+} -ionen zorgen voor stevige kationbruggen tussen de afzonderlijke lutumdeeltjes. Op deze wijze worden de deeltjes aan elkaar verbonden tot micro-aggregaten en kruimels. Zure kleibodems hebben een slechte bodemstructuur. Daarnaast is de pH van invloed op de activiteit van het bodemleven. Het is juist de activiteit van het bodemleven dat zorgt voor de opbouw van een goed bodemprofiel. Op zandgronden heeft de pH vooral effect op de bodemstructuur door de beïnvloeding van de activiteit van het bodemleven. Het bodemleven heeft een optimum bij een pH rond de 5,5. Onder de 3,5 is de zuurgraad ongunstig voor het bodemleven.

Grondwatertrap

Bij lage grondwaterstanden drogen zandgronden sterk uit en bij een (zeer) hoge grondwaterstand raakt de grond zuurstofarm. In beide gevallen wordt de activiteit van het bodemleven geremd. Zowel hoge als lage grondwaterstanden zijn daarom ongunstig voor de structuuropbouw. Bij hoge grondwaterstanden in het voorjaar bezit de grond onvoldoende draagkracht voor bewerking en berijdbaarheid. Dit werkt nadelig op de gewasproductie, want er kan niet op tijd bewerkt, gezaaid, bemest of geweid worden. Bij akkerbouw wordt daardoor het groeiseizoen verkort, bij de melkveehouderij geeft dit een later oogstmoment van de eerste snede gras. Zandgronden hebben een lager waterhoudend vermogen dan kleigronden, waardoor dit minder tot problemen leidt. Een zeer lage grondwaterstand gedurende het groeiseizoen is eveneens ongunstig, omdat dan de nalevering door capillaire opstijging van het grondwater onvoldoende is om een neerslagtekort te compenseren.

Management

De invloed van management op bodemstructuur verloopt via de frequentie en intensiteit van grondbewerking. De zwaarte van machines en de omstandigheden, zoals de grondwaterstand, spelen een grote rol bij het risico op compactie. Werken onder natte omstandigheden geeft een groot risico. Landbouwgronden waar de bodem

permanent te nat is voor grondbewerking worden in de meeste gevallen gebruikt als grasland. Ploegen en oogsten van gewassen waarbij de bodem op de kop gaat (zoals bij aardappelen, bieten, uien en wortelen) verstoren de opbouw van de bodemstructuur meer dan lichte bewerkingen zoals bijvoorbeeld cultivateren. Grondbewerking is vaak nadelig voor het bodemleven, vooral voor regenwormen en schimmeldraden. Uitzondering hierop is het losmaken van grond die dermate verdicht is dat anaerobe omstandigheden zijn opgetreden.

De aanvoer van verse organische kan het bodemleven stimuleren; de afbraakproducten die bij de omzetting van (verse) organische stof vrijkomen kunnen als 'lijmstof' werken en zo de basis vormen voor aggregaten. Schimmeldraden spelen een grote rol bij de vorming en instandhouding van bodemaggregaten en kruimels. Naast het uitscheiden van kitstoffen is het bodemleven van belang door het graven van gangen en het mengen van de bodemdeeltjes. Verteerde organische stof (humus) vormt onderdeel van de kleinste micro-aggregaten die aan de basis staan van een goede kruimelige bodemstructuur.

Verslamping

Verslamping is het proces waarbij bodemaggregaten uiteenvallen onder invloed van regen, waardoor de poriën verstopt raken. De grond slaat dicht. De gevoeligheid voor verslamping wordt bepaald door de textuur en het organisch stofgehalte. Het risico op verslamping is het hoogst bij gronden met weinig organisch stof en lutumgehaltes tussen de 10 en 20% en in situaties waarbij gewassen nog geen volledige bodembedekking hebben, zoals bij suikerbieten en mais.

Verkruimelbaarheid

Verkruimelbare grond laat zich goed bewerken. Het is vooral van belang voor bouwland op zavel en klei.. Hoe hoger het kleigehalte, hoe slechter de verkruimelbaarheid. Organische stof stimuleert de verkruimelbaarheid. Een pH(CaCl₂) lager dan 7 heeft een negatief effect op de verkruimelbaarheid. Gewassen stellen verschillende eisen aan de verkruimelbaarheid.

Risico op bodemverdichting

Verdichte bodems remmen de beworteling en kunnen nadelig zijn voor de gewasproductie. Verdichting bemoeilijkt ook de afvoer van water, waardoor gronden later in het voorjaar bewerkbaar zijn, en verhoogt het risico van afspoeling. De problematiek van bodemverdichting in de landbouw neemt toe. Er zijn landelijke inventarisaties gemaakt, maar die zijn tot op heden relatief globaal (lage monsternamen dichtheid). Bodemverdichting is niet gemakkelijk op te lossen. Het devies is: voorkomen is beter dan genezen. De timing van veldwerkzaamheden en het op de grondomstandigheden aangepast machinepark kunnen het risico sterk verkleinen.

5.3 Ziekte- en plaagwering

De ecosysteemdienst 'ziekte- en plaagwering' berust op de observatie dat bij eenzelfde hoeveelheid bodempathogenen in de grond de mate van gewasaantasting per locatie varieert. Veelal is dit terug te voeren op concurrentie om organische stof met andere schimmels, alsmede met bacteriën.

In het algemeen neemt de wering van ziekten en plagen toe met het organische stofgehalte in de bodem. Organische stof bevordert het bodemleven: een stabiel en divers bodemleven kan bijdragen aan een natuurlijke bestrijding van mogelijke ziektes en plagen die de gewasproductie kunnen aantasten. Op grasland

is de ziekte- en plaagdruk vanuit de bodem veel kleiner dan in bouwland. Dat komt omdat het gehalte aan organische stof onder gras doorgaans hoog genoeg is voor een vitaal bodemleven. Ook de beperkte vatbaarheid van de grassen voor bodempathogenen en de beperkte mogelijkheden voor verspreiding van pathogenen door het permanente karakter van (blijvend) grasland spelen hierbij een rol.

Op bouwland vormen bodemgebonden ziekten en plagen een belangrijke bedreiging. Telers kunnen hier gericht op inspelen door een uitgekiend bouwplan aan te houden waarin 'waardplanten' en 'niet-waardplanten' elkaar afwisselen en door verspreiding via machines en pootgoed te voorkomen. In het algemeen helpt een verruiming van de vruchtwisseling om ziekten en plagen te onderdrukken. .

Tabel 5.5. Relevante bodemkenmerken voor ziekte- en plaagwering

Bodemkenmerk	Relatie
<i>Organische stof</i>	Bepalend voor de activiteit van het bodemleven en voor de groeiomstandigheden en conditie voor het gewas.
<i>Intensiteit bouwplan</i>	Wanneer er meer verschillende gewassen worden verbouwd, zal het risico op ziekten en plagen kleiner zijn. De ziektedruk bouwt vooral op bij meerdere jaren hetzelfde gewas en bij specifieke gewassen zoals rooivruchten (aardappelen, bieten).
<i>Stabiliteit van het bodemvoedselweb</i>	Een stabiel bodemvoedselweb is beter in balans en kan hiermee beter bijdragen aan het tegengaan van mogelijke ziektes/plagen.
<i>Nematoden soortenrijkdom</i>	Bodemleven heeft een positieve invloed op ziektewering. Het aantal taxa van nematoden is een indicator voor de ziekteverendheid van de bodem (Louis Bolk, 2011). Een grotere soortenrijkdom geeft een betere ziekte/plaagwering.

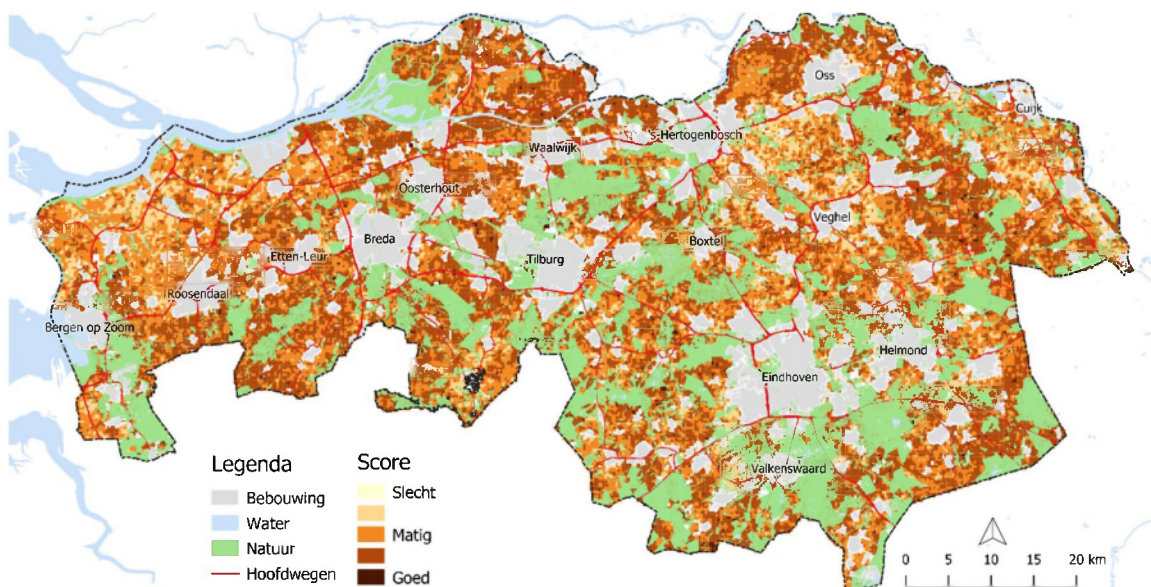
De scoring voor natuurlijke ziekte- en plaagwering is:

$$ESD3 = (Organische\ stof + Bouwplanintensiteit + Stabiliteit\ bodemvoedselweb + Nematode\ soortenrijkdom)/4)$$

Tabel 5.6. De verdeling (%) van de waardering van ESD 3 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 3 Ziekte- en plaagwering	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	31	34	34	1
<i>Bouwland op zand</i>	1	34	32	31	1
<i>Grasland op klei</i>	0	0	10	88	2
<i>Grasland op zand</i>	0	1	3	90	6

De gemiddelde score voor deze ecosysteemdienst ligt op 6,2. Er is een groot verschil te zien tussen grasland- en bouwlandpercelen. Organische stof en de intensiteit van het bouwplan zorgen beide voor een positievere situatie op deze percelen. In dit geval is de score op grasland op zand (7,4) hoger dan op klei (7,0), wat betekent dat op deze gronden de overige (biologische) factoren beter beoordeeld zijn. Bouwland heeft ook voor deze ecosysteemdienst relatief lage scores met 5,0 op klei en 5,1 op zand.



Figuur 5.3. Waardering ecosysteemdienst natuurlijke ziekte- en plaagwering.

Organische stof

Op grasland is de ziekte- en plaagdruk vanuit de bodem veel kleiner dan in bouwland. Dat komt omdat het gehalte aan organische stof onder gras doorgaans hoog genoeg is voor een vitaal bodemleven. Ook de beperkte vatbaarheid van de grassen voor bodempathogenen en de beperkte mogelijkheden voor verspreiding van pathogenen door het permanente karakter van grasland spelen hierbij een rol. Op bouwland vormen bodemgebonden ziekten en plagen een belangrijke bedreiging. Een uitgekiend organische stofbeheer draagt bij aan een verhoging van de ziekteverendheid.

Intensiteit bouwplan

De intensiteit van het bouwplan is gekoppeld aan het aantal verschillende gewassen dat verbouwd wordt op percelen die als bouwland zijn geclassificeerd. De ziektedruk neemt in het algemeen toe naarmate het bouwplan intensiever is (met meer hakvruchten). Daarnaast is het te telen gewas van invloed. Een ruimer bouwplan is in principe mogelijk, alleen zet dat vaak het financiële resultaat onder druk.

Stabiliteit van het bodemvoedselweg

De stabiliteit van het bodemvoedselweb is het hoogst in natuurgebieden. De laagste stabiliteit komt voor op bouwland op zeelei. Grasland op klei heeft het meest stabiele bodemvoedselweb.

Nematoden soortenrijkdom

Op de zeeleigronen is het aantal taxa het laagste, terwijl deze op de rivierkleigronen (met name grasland) het hoogste ligt. De zandgronden hebben een gemiddelde soortenrijkdom, die afneemt van west naar oost. Het is niet duidelijk of dit samenhangt met het gebruik van dierlijke (drijf)mest. Een grotere soortenrijkdom wordt in deze studie geassocieerd met een hogere natuurlijke ziekte-/plaagwering.

5.4 Adaptatie en flexibiliteit

De ecosysteemdienst 'adaptatie en flexibiliteit' geeft het vermogen van de bodem om ook op de lange termijn alle potentiële ecologische diensten te vervullen, alsmede het vermogen om zich aan te passen aan andere omstandigheden, zoals verandering in het grondwaterbeheer of klimaat.

Algemeen kan ervan worden uitgegaan dat bodems met een goede bodemstructuur en een goed functionerend en gebalanceerd bodemleven het beste zijn toegerust om veranderingen (zoals ander landgebruik of klimaatverandering) op te vangen. De adaptatie en flexibiliteit van de bodem is vooral afhankelijk van het gehalte organische stof en de pH. Beide zijn van invloed op het bodemleven en de bodemprocessen.

Tabel 5.7. Relevante bodemkenmerken voor adaptatie en flexibiliteit

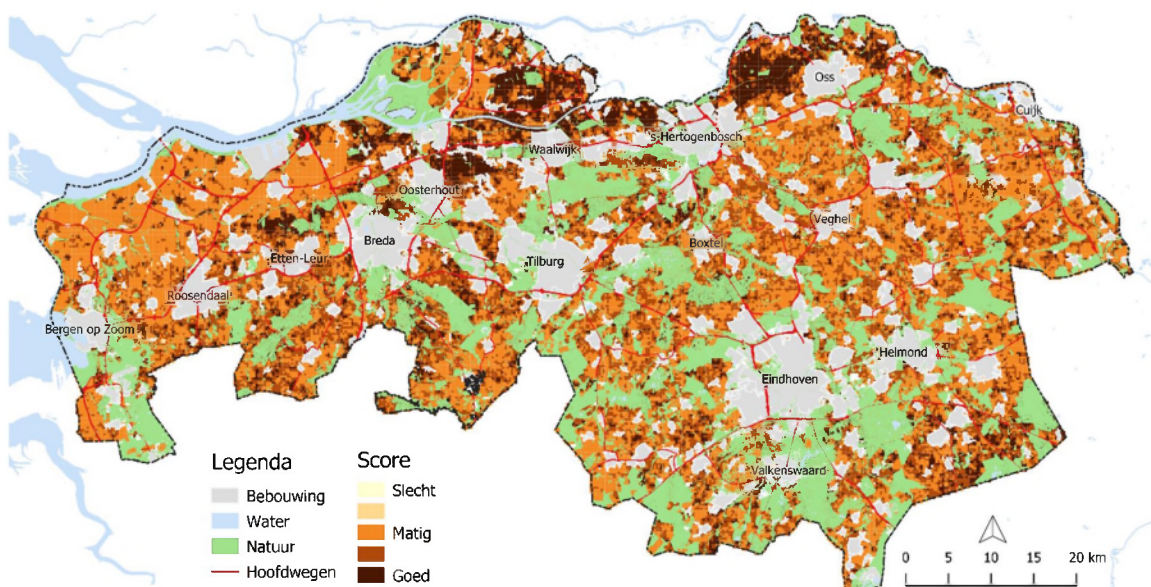
Bodemkenmerk	Relatie
<i>Organische stof</i>	Zorgt voor een divers en actief bodemleven. Regenwormen dragen bijvoorbeeld bij aan profielopbouw en de samenhang van de bodemdeeltjes.
<i>Zuurgraad</i>	Van invloed op de kationenbezetting van de CEC van lutumdeeltjes. Ook van belang voor het functioneren van het bodemleven.
<i>Management</i>	Beïnvloedt de adaptatie en flexibiliteit vooral via maatregelen die de bodemstructuur en de opbouw en activiteit van bodemleven treffen.

De scoring voor adaptatie, flexibiliteit en aanpassing is:

$ESD4 = (Organische\ stof + Zuurgraad + Management)/3$) De score van deze ecosysteemdienst is het gemiddelde van de drie meegenomen factoren. De gemiddelde score voor adaptatie en flexibiliteit ligt op 5,8, maar laat een groot verschil zien tussen grasland en bouwland. Dit komt omdat zowel organische stof als het management een positievere bijdrage leveren op grasland. Vooral op klei (waar de pH over het algemeen ook hoger ligt) is de score op percelen met grasland erg hoog: 8,7. Op zand is de score met 7,6 nog steeds vrij hoog. De scores op bouwland zijn op klei en zand vrij vergelijkbaar (3,4 op zand en 3,6 op klei). De intensieve grondbewerking en (hiermee samenhangend) het relatief laag organisch stofgehalte werken negatief door in deze ecosysteemdienst.

Tabel 5.8. De verdeling (%) van de waardering van ESD 4 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 4 Adaptatie en flexibiliteit	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	2	89	8	2
<i>Bouwland op zand</i>	0	0	95	4	0
<i>Grasland op klei</i>	0	0	2	18	81
<i>Grasland op zand</i>	0	0	0	46	54



Figuur 5.4. Waardering ecosysteemdienst adaptatie en flexibiliteit .

Organische stof

De flexibiliteit en adaptatie van een bodem worden sterk bepaald door het bodemleven en de bodemstructuur. Beide aspecten worden beïnvloed door organische stof. Organische stof is de voeding voor het bodemleven. Een hoge aanvoer van verse organische stof en een goede opbouw van het gehalte organische stof in de bodem draagt bij aan een breed samengesteld en actief bodemleven.

Het bodemleven zorgt voor aggregaatvorming en stabiliteit op verschillende niveaus, en draagt zo bij aan een goede en stabiele bodemstructuur. Bacteriën en regenwormen scheiden slijmstoffen uit waardoor bodemdeeltjes tot aggregaten aaneen gekit worden. Regenwormen brengen organische stof naar diepere bodemlagen, wat bijdraagt aan profielopbouw. Organische stof heeft in de vorm van verweerde humusvormen een verbindende werking tussen bodemdeeltjes. Daardoor wordt de vorming van een stabiele kruimelige bodemstructuur versterkt. Door de negatieve lading van de verweerde humusdeeltjes en de positieve lading van kationen uit de bodemoplossing worden stabiele micro-aggregaten gevormd, die de basis vormen van bodemkruimels.

Zuurgraad

De zuurgraad (uitgedrukt in de pH) is van invloed op de activiteit van het bodemleven. Daarnaast is de pH van invloed op de kationenbezetting van lutumdeeltjes. Bij een lage pH verdringen de H^+ ionen de Ca^{2+} ionen. De Ca^{2+} ionen zorgen bij klei voor stevige kationbruggen waarmee de kleideeltjes verbonden worden tot micro-aggregaten en kruimels. Zure kleibodems hebben een slechte bodemstructuur. Bij een lage pH verschuift de samenstelling van het voedselweb naar een door schimmels gedomineerd systeem,

Management

Het huidige management beïnvloedt de ecosysteemdienst 'adaptatie en flexibiliteit' vooral via maatregelen die de bodemstructuur en de opbouw en activiteit van bodemleven treffen. De aanvoer van organische stof stimuleert het bodemleven. Het zijn de afbraakproducten die bij het omzetten van (verse) organische stof vrijkomen die als een lijmstof werken. Schimmeldraden spelen een grote rol bij de vorming en instandhouding van bodemaggregaten en kruimels. Naast het uitscheiden van kitstoffen is het bodemleven van belang voor het graven van gangen en het mengen van de bodemdeeltjes.

Ploegen en rooien verstoren de bestaande bodemstructuur. Daarnaast kan berijding, zeker in natte omstandigheden, verdichting van de bodem geven. Grondbewerking is nadelig voor het bodemleven, vooral voor regenwormen en schimmeldraden. Regenwormen brengen organische stof in de bodem en zorgen voor menging van vaste deeltjes en organische stof. Ploegen neemt deze functie gedeeltelijk over. Bij diepploegen wordt de organische stof onder de bouwvoor gebracht en dat leidt tot verschraling. Pesticiden beïnvloeden het bodemleven nadelig en verstoren de balans in het bodemvoedselweb.

5.5 Zelfreinigend en bufferend vermogen

De ecosysteemdienst 'zelfreinigend en bufferend vermogen' geeft het vermogen van de bodem om verontreinigingen onschadelijk te maken. Het gaat om milieu-eigen stoffen die inactief worden gemaakt door binding, omzetting, afbraak, mineralisatie etc., waardoor het ondiepe en diepe grondwater een goede kwaliteit behoudt en de bodem schoon blijft.

Het begrip 'verontreinigingen' is veelomvattend en duidt zowel op organische als anorganische verbindingen, zware metalen, pesticiden, herbiciden en nutriënten (bijvoorbeeld nitraat of fosfaat). In de landbouw worden nutriënten gebruikt. Overtreft de aanvoer van nutriënten de afvoer, dan bestaat er een risico op verontreiniging, zoals nitraatuitspoeling, fosfaatophoping of ophoping van zware metalen. De eigenschappen van de bodem bepalen dan hoe goed fosfaat en zware metalen worden vastgelegd. In het geval van stikstof kan er nitraatuitspoeling of denitrificatie plaatsvinden. Herbiciden en pesticiden worden in meer of minder mate vastgelegd en veelal na verloop van tijd afgebroken. Daarbij speelt het bodemleven een grote rol.

Tabel 5.9. Relevante bodemkenmerken voor het zelfreinigend en bufferend vermogen.

Bodemkenmerk	Relatie
Organische stof	Organische stof draagt bij aan de buffering van positief geladen zware metalen en overige verontreinigingen door haar aandeel in de CEC.
Zuurgraad	De pH is van invloed op de concentratie/vorm van zware metalen in het bodemvocht. In het algemeen zijn meer zware metalen in oplossing bij een lagere pH.
CEC	De kationen-uitwisselcapaciteit van de bodem bepaalt de buffering van positief geladen ionen (onder andere ijzer, zware metalen) en organische verontreinigingen.
Lutum	Draagt bij via relatie met CEC. Kleibodems hebben ook een hoog vochthoudend vermogen, waardoor minder uitspoeling optreedt.
Grondwatertrap	Voor de afbraak van organische verontreinigen en de inbouw van zware metalen en organische verbindingen in stabiele organische vormen zijn voldoende vocht en zuurstof vereist.
Management	Invloed door grondbewerking en aanvoer organische stof, maar ook via gebruik van pesticiden (negatief voor het functioneren van het bodemleven)
Fosfaatverzadiging	Een indicator voor de beschikbaarheid van fosfaat en voor het risico van fosfaatuitspoeling.
N-uitspoeling	Zandgronden zijn het meest gevoelig voor uitspoeling. Naarmate de grondwaterstand dieper voorkomt, neemt het risico van uitspoeling toe (er treedt minder denitrificatie op)

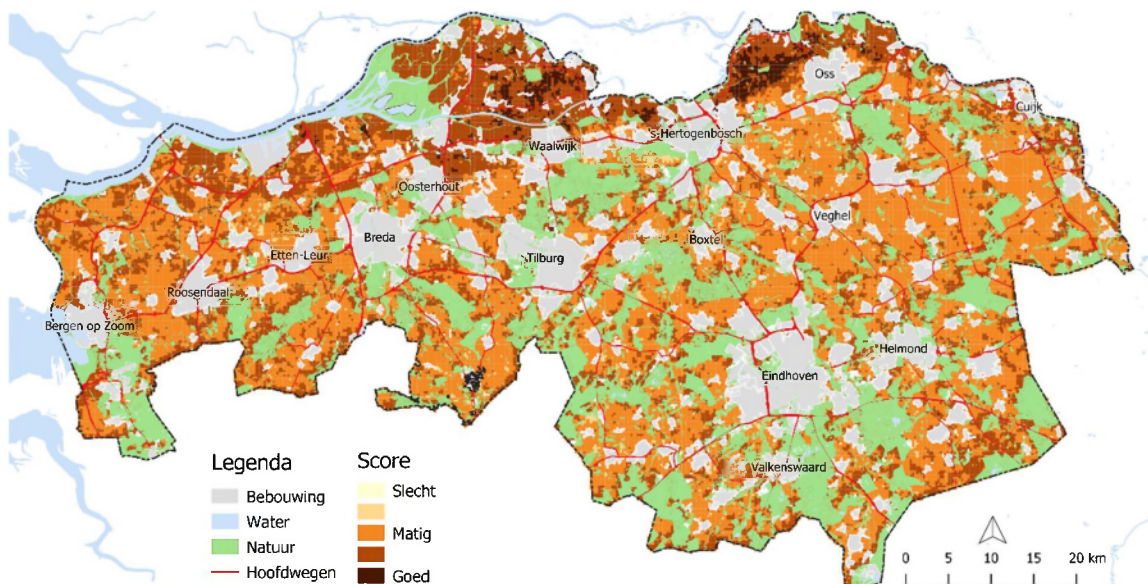
In de weging van deze ecosysteemdienst worden de scores voor lutum, organische stof en de CEC samen als 2 genomen. De overige vijf factoren (pH, grondwater, management, fosfaatverzadiging en N-uitspoeling wegen allemaal als 1. De uiteindelijke score is:

$$ESD5 = \left(2 \times \left(\frac{Klei + Organische\ stof + CEC}{3} \right) + Zuurgraad + Beheer + Grondwatertrap + Fosfaatverzadiging + Nitraatuitspoeling \right) / 7$$

De gemiddelde score voor het zelfreinigend en bufferend vermogen in Noord-Brabant ligt op 5,8. Op de kleigronden is de situatie vrijwel overal goed. Evenals bij de meeste andere ecosysteemdiensten, is de waardering voor grasland op klei het hoogst (7,1). Bij bouwland op zand bedraagt de gemiddelde score 5,1. Bouwland op klei en grasland op zand liggen hiertussen (6,0). Wel is er binnen de verschillende landgebruik/grondsoort combinaties veel variatie te zien, met zowel hele lage als hele hoge scores binnen de verschillende combinaties.

Tabel 5.10. De verdeling van de waardering van ESD 5 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 5 Zelfreinigend en bufferend vermogen	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	1	45	53	1
<i>Bouwland op zand</i>	0	3	77	19	0
<i>Grasland op klei</i>	0	1	10	65	25
<i>Grasland op zand</i>	0	1	44	55	0



Figuur 5.5. Waardering ecosysteemdienst zelfreinigend en bufferend vermogen.

Organische stof

Organische stof stimuleert het bodemleven dat zorgdraagt voor de afbraak van organische verontreinigen en de inbouw van zware metalen en organische verbindingen in stabiele organische vormen. Ook heeft

organische stof een positieve invloed op de bodemstructuur en daarmee op de leefomgeving van het bodemleven via aggregaatvorming en vochthuishouding. Organische stof heeft een negatieve lading en kan op die manier bijdragen aan de buffering van positief geladen zware metalen en overige verontreinigingen. Daarbij wordt koper sterker vastgelegd dan zink. Organische stof, klei en (Fe,Al) oxide oppervlakken bepalen samen de CEC. Versnelde afbraak van organische stof is ongewenst omdat daarmee de beschikbaarheid van metalen toeneemt. Daarbij is de pH ook van grote invloed.

Zuurgraad

De pH is van invloed op de concentratie en vorm van zware metalen in het bodemvocht. In het algemeen zijn meer zware metalen in oplossing bij een lagere pH (zuurdere omgeving). Beneden de pH 5,5 neemt de oplosbaarheid van metalen als koper en zink sterk toe. Het op peil houden van de bodem-pH is dan ook de beste garantie dat de waarden in het bodemvocht laag blijven en er geen of vrijwel geen uitspoeling plaatsvindt van zware metalen. De activiteit van bodemleven en samenstelling van het voedselweb is pH-afhankelijk, en daarmee ook de afbraak van organische verbindingen en de inbouw van zware metalen in stabiele organische verbindingen.

CEC

De kationen-uitwisselcapaciteit (CEC) van de bodem bepaalt de buffering van positief geladen ionen (onder andere ijzer, zware metalen) en organische verontreinigingen. Met buffering wordt bedoeld op het evenwicht dat bestaat tussen de ionen geadsorbeerd aan het klei-humuscomplex, en de ionen in de bodemoplossing. De buffering vertraagt de uitspoeling, zodat er meer tijd is voor de afbraak of inbouw van deze stoffen. Organische stof, klei en (Fe,Al) oxide bepalen samen de CEC. Daarbij hebben zware metalen vaak een grotere affiniteit voor organische stof dan voor klei. Organische verontreinigingen worden ook beter gebufferd bij een hoge CEC, waarbij deze veelal eveneens een hogere affiniteit hebben voor binding aan organische stof dan aan de oxiden.

Lutum

Lutum draagt bij aan het zelfreinigend vermogen door de buffering van positief geladen deeltjes. Zware metalen worden geadsorbeerd op het negatief geladen kleioppervlak, maar de adsorptie is minder sterk dan bij organische stof. Daarnaast hebben kleibodems een hoog vochthoudend vermogen, waardoor minder uitspoeling optreedt. Door de langere verblijftijd is er meer gelegenheid voor het bodemleven om de verontreinigingen af te breken of in te bouwen. Op zandgrond is het lutumgehalte laag, zodat er geen significant effect op het zelfreinigend vermogen. Bij kleibodems neemt het zelfreinigend vermogen toe met het gehalte lutum.

Grondwatertrap

De grondwatertrap (Gt) is van invloed op de vochttoestand van de bouwvoor en beïnvloedt daardoor indirect de samenstelling en activiteit van het bodemleven. Voor de afbraak van organische verontreinigingen en de inbouw van zware metalen en organische verbindingen in stabiele organische vormen zijn voldoende vocht en zuurstof vereist. Deze afbraak vindt grotendeels plaats in de bodemlaag die boven het grondwater ligt. Bij een lage grondwaterstand is de afstand die een stof heeft af te leggen, en daarmee de gelegenheid om afgebroken of ingebouwd te worden, groter dan bij een ondiepe grondwaterstand. Bij hoge Gt's kan de bovengrond vrij nat en relatief zuurstofarm zijn. Dat is ongunstig voor de afbraak van organische verontreinigingen. Tegelijkertijd kunnen er dan reducerende omstandigheden optreden waarbij (zware) metalen mobiel worden. Klei heeft een groter vochthoudend vermogen en een hogere adsorptiecapaciteit voor

positief geladen deeltjes (CEC), waardoor de verblijftijd van een verontreiniging in een kleigrond langer is dan bij een zandgrond.

Management

Grondbewerking, vooral (diep-)ploegen, geeft een versterkte afbraak van organische stof. Afname van het gehalte organische stof leidt tot verminderd zelfreinigend vermogen. Door aanvoer van organische stof in de vorm van organische mest kunnen toxische stoffen worden vastgelegd. Toepassing van pesticidengebruik kan de activiteit van het bodemleven verhinderen. Grasland wordt weinig geploegd of anders omgewerkt. Op grasland is ook het pesticide-gebruik laag in vergelijking met bouwland. In de akkerbouw wordt de grond frequent geploegd en bewerkt. Dit geeft meer zuurstof in de bodem, dat een stimulans is voor het bodemleven, maar leidt ook tot versnelde afbraak van organische stof. Het bodemleven is echter gevoelig voor groundbewerking en ook het gebruik van pesticide kan het bodemleven negatief beïnvloeden. In de akkerbouw is de aanvoer van organische stof meestal voldoende voor de instandhouding van het gehalte aan organische stof.

Fosfaatverzadiging

De P-verzadigingsgraad geeft een indicatie in de mate van fosfaatretentie in de bodem en het risico op eventuele uitspoeling. Hoe lager de fosfaatverzadiging, hoe meer ruimte er nog is om extra toevoer van fosfaat te bufferen. Op gronden met een hoge grondwaterstand is het risico op uitspoeling en afspoeling van fosfaat groter, aangezien de totale bindingscapaciteit dan lager is en gronden dus eerder verzadigd zijn. De fosfaatverzadiging ligt op zandgronden gemiddeld een stuk hoger dan op de kleigronden in Noord-Brabant. Dit kan komen door de hoge mestgiften die in voorgaande decennia op zandgronden hebben plaats gevonden. Hoewel de fosfaatverzadiging hier hoog is, zal deze vanwege de diepe grondwaterstand slechts matig doorwerken in de uitspoeling.

N-uitspoeling

Voor de N-verliezen is een 'machine-learning' kaart van het RIVM, die het risico op nitraatuitspoeling aangeeft, gebruikt. Een hoog risico op stikstofverliezen wijst op een laag zelfreinigend vermogen van de bodemlaag. Dit kan het gevolg zijn van lage grondwaterstanden, weinig organische stof of van de textuur. Het zelfreinigend en bufferend vermogen is – evenals bij fosfaatverzadiging – gekoppeld aan het risico op verliezen. Wanneer het risico op verliezen hoog is, is er weinig bufferend vermogen.

5.6 Waterregulering

De ecosysteemdienst 'waterregulering' geeft het vermogen van de bodem om enerzijds voldoende water vast te houden (berging) voor een goede vochtvoorziening van gewassen, en anderzijds over voldoende infiltratiecapaciteit te beschikken om water tijdens piekneerslagen te kunnen opvangen en (geleidelijk) en te kunnen afvoeren zonder risico op waterstagnatie.

Voor het bepalen van de waterregulering is o.a. gebruikgemaakt van de zogenoemde HELP-tabellen (Landinrichtingsdienst 1992). Hierbij is ervan uitgegaan dat de droogte- en waterschade een goede indicatie vormen in welke mate een bodem in staat om een te veel en een te kort aan vocht op te vangen. Gronden die veel water kunnen bergen, hebben minder risico op wateroverlast. De doorlatendheid kan vooral bij bodemverdichtingen een probleem zijn. De bulkdichtheid kan eveneens een duiding zijn voor het risico op compactie.

Tabel 5.11. Relevante “bodemenkenmerken” voor waterregulering

Bodemkenmerk	Relatie
Droogte-natschade	De te verwachten opbrengstderving, HELP tabel
Vochtleverend vermogen	De hoeveelheid vocht die in het groeiseizoen van 15 april tot 15 september in een 10% droog jaar aan de plantenwortels geleverd kan worden
Waterberging bouwvoor	De diepte van de grondwaterstand onder maaiveld geeft aan hoeveel water er in potentie nog geborgen kan worden in de onverzadigde zone
Doorlatendheid	De mate waarin een bodem water kan doorlaten. Dit wordt vooral bepaald door textuur en gehalte aan organische stof.
Bulkdichtheid	Gekoppeld aan risico op compactie: kleigrond heeft een hogere dichtheid dan zand.
Ontwateringstoestand	Geeft de mate aan waarin het water na regenbuien uit de bovengrond kan worden afgevoerd

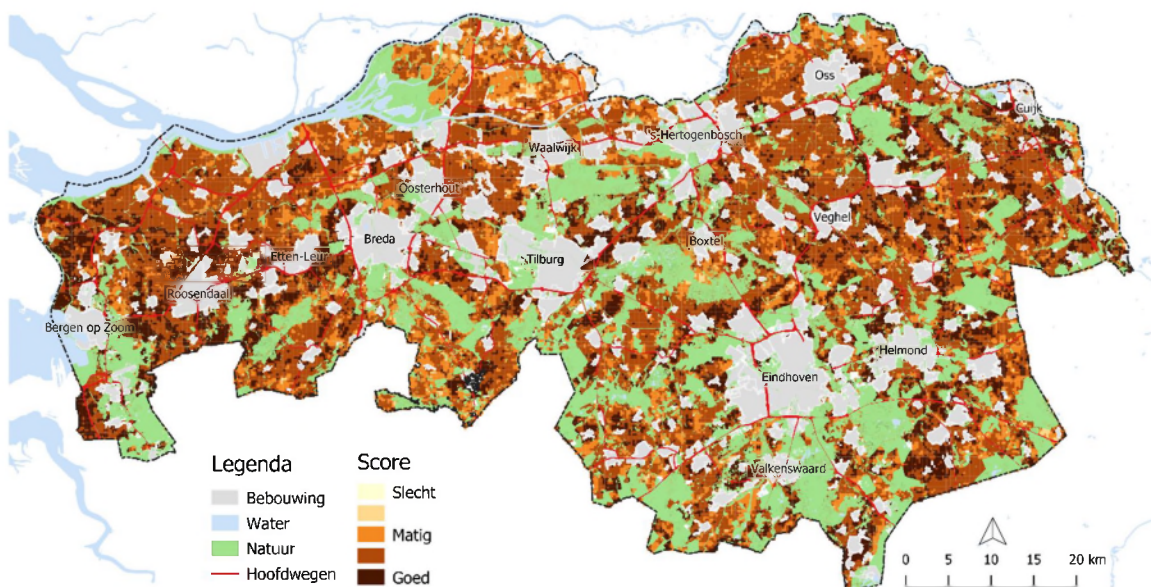
In de weging voor deze ecosysteemdienst weegt het vochtleverend vermogen het zwaarst (1). De ontwateringstoestand en het waterbergende vermogen worden elk voor de helft meegenomen (samen 1), evenals de bulkdichtheid en de doorlatendheid van de bodem. De score is:

$$ESD\ 6 = \left(\frac{Ontwatering + Waterberging}{2} + \frac{Bulkdichtheid + Doorlatendheid}{2} + Vochtleverend\ vermogen \right) / 3$$

De uitkomsten voor deze ecosysteemdienst verschillen van de eerder getoonde ecosysteemdiensten. De verschillende onderdelen waaruit deze ecosysteemdienst zijn opgebouwd, kunnen in eerste instantie tegengesteld lijken: een hoge doorlatendheid is goed om het risico op wateroverlast bij hevige regenval te beperken, maar geeft ook minder waterberging hetgeen ongunstig is tijdens droge perioden. De gemiddelde score voor deze dienst is vrij hoog (7,0). Hierbij valt met name op dat de score op bouwland gemiddeld hoger ligt dan op grasland. Bouwland op klei heeft een score van 7,1 en op zand is dit zelfs 7,5. Grasland op zand heeft gemiddeld een score van 6,9, terwijl grasland op klei met 6,7 de laagste score heeft. Dit is in belangrijke mate toe te schrijven aan de relatief zware textuur en hoge grondwaterstand van grasland op klei. Op deze percelen is de bulkdichtheid relatief hoog en kan het water minder makkelijk infiltreren, met mogelijk natschade tot gevolg.

Tabel 5.12. De verdeling (%) van de waardering van ESD 6 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 6 Waterregulatie	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	2	22	53	24
<i>Bouwland op zand</i>	0	1	19	43	37
<i>Grasland op klei</i>	0	4	41	43	12
<i>Grasland op zand</i>	0	3	30	49	18



Figuur 5.6. Waardering ecosysteemdienst waterregulatie

Droogte-natschade

Voor het bepalen van de droogte-natschade wordt de grondwatertrap gebruikt, gekoppeld aan de HELP-tabellen. Natschade is het hoogste bij hoge grondwaterstanden (Gt I t/m III), terwijl het risico op droogteschade met name groot is bij de grondwatertrappen VII en VIII. Droogteschade varieert niet veel tussen grasland en bouwland. Natschade vormt een groter risico bij bouwland. Natte gronden zijn daarom doorgaans in gebruik als grasland.

Vochtleverend vermogen

Voor het bepalen van het vocht leverend vermogen is een kaart uit de Digitale Atlas Natuurlijk Kapitaal (DANK-kaart, www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl) gebruikt als indicatie voor de vochtlevering van de bodem. Deze bevat de categorieën 'goed, matig en slecht'. Deze klasse-indeling is aangehouden in deze studie. Het vochtleverend vermogen is in de hele provincie vrij goed. De beste vochtlevering vindt plaats op bouwland op klei, gevolgd door grasland op klei, bouwland op zand en de laagste waarde is te vinden op grasland op zand.

Ontwateringstoestand

De ontwateringstoestand en de waterberging zijn nauw aan elkaar gekoppeld. Beide zijn gerelateerd aan de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. De waterberging is afkomstig uit een bestaande DANK-kaart (waterbergend vermogen ondergrond) en de ontwateringstoestand is bepaald door een waardering te koppelen aan de verschillende grondwatertrappen.

De ontwatering neemt toe met de diepte van het grondwater. In gebieden met een hoge grondwaterstand, is de ontwateringstoestand als 'slecht' gewaardeerd; vanaf grondwatertrap IIIb tot VI als 'matig', en bij een diepere grondwaterstand (VII en VIII) als 'goed'. Hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen grondsoort of landgebruik.

De uiteindelijke beoordeling voor 'waterberging/ontwatering' laat met name lage scores zien op natte graslanden op klei (4,5). Ook op bouwland op klei ligt de score laag (5,1). De scores op zand liggen iets hoger, 5,5 op grasland en 6,0 op bouwland, maar nog steeds relatief laag.

Waterberging bouwvoor

De waterberging (in mm.) is bepaald uit het verschil tussen de grondwaterstand en de hoogte van het maaiveld (via het actueel hoogtebestand Nederland (AHN)). Dit verschil geeft aan hoeveel water er in potentie nog geborgen kan worden in de onverzadigde zone. Een hogere berging wordt als positief beoordeeld voor de regulering van water. Zandgronden hebben vanwege een lagere grondwaterstand doorgaans een hogere berging dan kleigronden. Met name bij grasland op klei (hoogste grondwaterstanden) is de waterberging gering.

Doorlatendheid (Ksat)

De verzadigde doorlatendheid (Ksat) is een maat voor het gemak waarmee water door de bodem kan stromen. Er zijn veel factoren van invloed op Ksat, zoals de korrelgrootte van het bodemmateriaal, de hoeveelheid fijne deeltjes (lutum en silt), de homogeniteit van het bodemmateriaal maar ook de vorm van de bodemdeeltjes. De doorlatendheid van bodems kan sterk verschillen; van minder dan enkele mm's per dag op zware klei tot meer dan 100 mm per dag op doorlatende zandgrond. De Ksat is berekend.

Bulkdichtheid (kg/ dm³)

De bulkdichtheid is een indicatie voor de verdichting van de gronden. Textuur en vooral organische stof bepalen de dichtheid. Bij normale grondbewerking is de bulkdichtheid op grasland lager dan 1,3 kg / dm³. Bij hoge -gehalten aan organische stof kan de bulkdicht richting de 1 (kg/dm³) of nog lager bewegen (zoals bij veen). Bij een hoge bulkdichtheid is de grond verdicht. Plantenwortels kunnen dan moeilijk de bodem indringen. Er is een groter risico op oppervlakkige afstroming en de waterberging in de bodem is lager.

5.7 Klimaatfunctie

De ecosysteemdienst 'klimaatfunctie' geeft het vermogen van de bodem tot buffering en beïnvloeding van klimaatveranderingen. Op lokale schaal behoort hiertoe het bufferen van vocht en luchttemperatuur en het filteren van lucht. Op grotere schaal speelt het risico op vrijkomen – en ruimte voor vastlegging – van broeikasgassen een rol.

De ecosysteemdienst klimaatfuncties geeft de mate aan waarin de emissie van broeikasgassen wordt tegengegaan en/of vastlegging van CO₂ uit de lucht wordt bevorderd. Voor de effecten op het klimaat spelen CO₂ (koolstofdioxide) en de broeikasgassen CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) een belangrijke rol. CH₄ en N₂O zijn als broeikasgas vele malen schadelijker dan CO₂. Daarom wordt voor het kwantificeren van deze ecosysteemdienst uitgegaan van CO₂-equivalenten.

Het gehalte aan organische stof in termen van klimaateffecten kan op meerdere en tegengesteld wijze invloed uitoefenen. De hoeveelheid organische stof in de bodem kan positief worden beoordeeld uitgaande van de vastlegging van CO₂. Aan de organische stof in de bodem kan ook een negatieve waardering worden gegeven vanwege afbraak tot CO₂, CH₄ en/of N₂O. Hierbij speelt de vochthuishouding een grote rol (aeroob/anaeroob).

Tabel 5.13. Relevante bodemkenmerken voor klimaatfuncties.

Bodemkenmerk	Relatie
Organische stof	Positieve waardering van de vastlegging van C in de bodem (<i>sink</i>) minus een negatieve waardering van de organische stof als bron van emissie (<i>source</i>).
Zuurgraad	Beïnvloedt aanvoer en afbraak van organische stof. Ook de samenstelling en activiteit van bodemleven: kan leiden tot emissie van CO ₂ en mogelijk methaan (anaeroob).
Lutum	Meer lutum geeft een grotere kans op anaerobe omstandigheden, wat methaanemissie kan veroorzaken. Zorgt ook voor verlaging van afbraak van organische stof (minder CO ₂ -emissie).
Grondwatertrap	Emissies van N ₂ O en CH ₄ vinden vooral plaats onder anaerobe condities (hoge grondwatertrap).
Management	Van invloed via grondbewerking en aanvoer van organische meststoffen. Grondbewerking wordt als negatief beoordeeld door vrijkomen van koolstof.

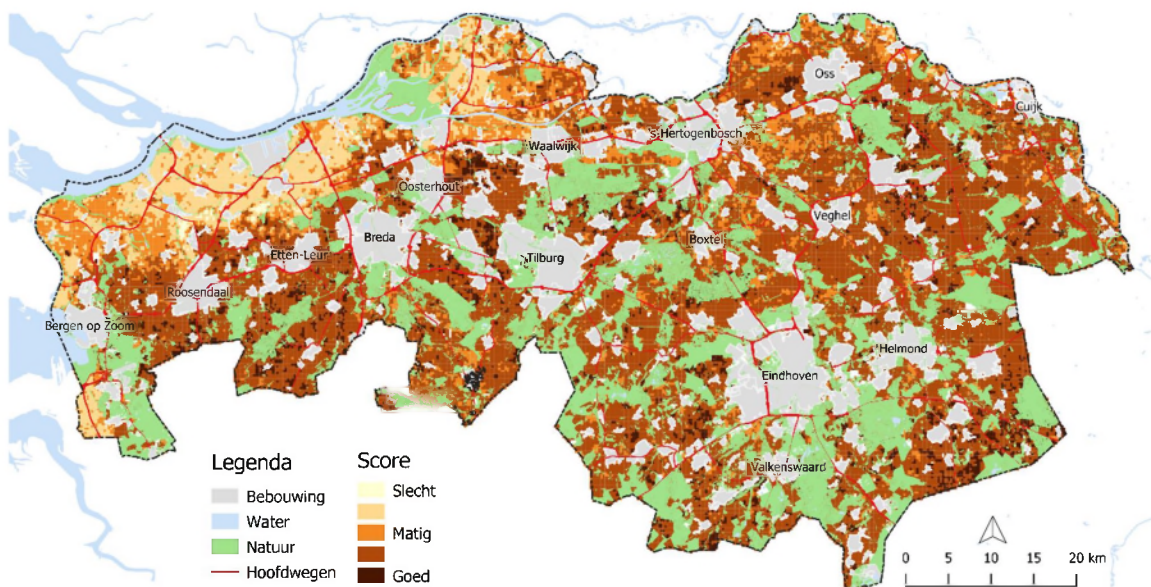
De scoring voor deze ecosysteemdienst is:

$$ESD7 = (Organische\ stof + Zuurgraad + Lutum + Grondwatertrap + Beheer)/5$$

Een belangrijk deel van de klimaatfunctie wordt bepaald door het risico op anaerobe omstandigheden. De hoogste score is te zien op grasland op zand (7,9), gevolgd door grasland op klei en bouwland op zand (beide 6,5). De laagste score is terug te vinden op bouwland op klei (4,2). Hoewel grasland op klei gekoppeld is aan de zwaarste bodems en hoogste grondwaterstand (hoogste risico anaerobe omstandigheden), wordt het risico op emissies van CH₄ en/of N₂O enigszins gecompenseerd door de hoge opbouw van organische stof en de relatief lage pH (ten opzichte van bouwland op (zee-)klei). Gebieden die in aanmerking komen voor berging van rivierwater zijn doorgaans in gebruik als grasland. In de periode waarin overstroming aan de orde kan zijn, zijn de risico's voor afbraak van organische stof het laagst (relatief lage temperatuur).

Tabel 5.14. De verdeling van de waardering van ESD 7 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 7 Klimaatfuncties	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	1	47	37	14	2
<i>Bouwland op zand</i>	0	0	9	90	1
<i>Grasland op klei</i>	0	3	30	52	15
<i>Grasland op zand</i>	0	0	0	22	78



Figuur 5.7. Waardering ecosysteemdienst klimaatfuncties

Organische stof

Meerjarige gewassen (diepere wortels) en minder ploegen dragen bij aan een vastlegging van organische stof. Meerjarige gewassen worden in Nederland weinig verbouwd en intensieve grondbewerking is nog steeds een standaardpraktijk. Er wordt relatief veel organische stof aangevoerd via dierlijke mest en onderploegen van gewasresten. In Nederland is de aanvoer in het algemeen ruim voldoende om de afbraak te compenseren. Dit geldt ook voor Brabant (Figuur 4.1).

De organische stofgehalten zijn de resultante van de aanvoer en afvoer over een langere periode. Bij de waardering van organische stof voor de ESD-klimaatfunctie is uitgegaan van een positieve waardering van de vastlegging van koolstof in de bodem (*sink*) minus een negatieve waardering van de organische stof als bron van emissie in de vorm van broeikasgassen (*source*). Uit de landbouwpraktijk blijkt dat het gehalte aan organische stof in grasland op zandgrond tot maximaal ongeveer 10% kan oplopen (in Noord-Brabant ligt dit gemiddeld op 4,6%, wat duidt op relatief veel wisselbouw).

Zuurgraad

De zuurgraad van de bodem, uitgedrukt in de pH, beïnvloedt zowel de aanvoer van organische stof –via invloed op gewasgroei en daarmee de hoeveelheid wortels en oogstresten– als de afbraak van de organische stof via de samenstelling en activiteit van het bodemleven. De activiteit van het bodemleven leidt tot emissie van CO₂ en onder anaerobe omstandigheden mogelijk van N₂O en CH₄. Evenzogoed is de omzetting door het bodemleven noodzakelijk om verse organische stof om te zetten in stabiele humusverbindingen. De relatie tussen zuurgraad en de ecosysteemdienst klimaatfuncties wordt uitgedrukt in equivalenten van CO₂-vastlegging.

Lutum

Bij een toename van het lutumgehalte ontstaat een grotere kans op anaerobe omstandigheden, wat kan leiden tot denitrificatie van stikstofverbindingen waardoor emissie van N₂O (lachgas) kan optreden. In termen van CO₂-equivalenten wordt aan de emissie van lachgas een groter belang gehecht. Op kleigrond vindt meestal wel de hoogste opbouw van organische stof plaats. Zandgronden worden positiever beoordeeld dan de

gronden met een hoog klei-gehalte; de bijdrage aan de emissie van de verschillende broeikasgassen wordt op deze gronden als verwaarloosbaar beschouwd (Hanegraaf et al., 2013).

Grondwatertrap (Gt)

Een hoge grondwaterstand (lage grondwatertrap) biedt minder ruimte om water op te slaan en er kunnen gemakkelijk anaerobe omstandigheden ontstaan. Door waterbeheersing zullen deze anaerobe omstandigheden niet gedurende lange periode optreden. Bijlage 6.7 laat zien dat de verschillen tussen zand en klei bij eenzelfde Gt vrij beperkt zijn. .. Bij een combinatie van een hoog lutumgehalte en een hoge grondwaterstand neemt het risico op anaerobe omstandigheden toe. De kleigronden met een hoge grondwaterstand en zware textuur - die meestal in gebruik zijn als grasland- zijn gevoelig voor anaerobie. Op zandgronden is er nauwelijks een risico.

Management

Het beheer kan op verschillende manieren van invloed zijn op de klimaatfunctie. Grondbewerking zorgt voor een afbraak van de vastgelegde organische stof. Op blijvend grasland kan door de lange periode zonder grondbewerking veel organische stof vastgelegd worden. Onder akkerbouwgewassen is dit doorgaans minder. Sommige gewassen vergen meer en diepere grondbewerking dan andere. In deze studie is het beheer voor alle akkerbouwgewassen gelijkgesteld (matige invloed op de klimaatfunctie).

Gebruik van organische meststoffen draagt bij aan het in standhouden van het organische stofgehalte. Graslanden kennen doorgaans een intensiever gebruik aan dierlijke mest dan bouwland. Hoewel de opbouw aan organische stof positief is, geeft bemesting ook een groter risico op directe atmosferische verliezen, o.a. via ammoniakuitstoot. In dit rapport gaan we ervan uit dat de positieve effecten van bemesting (opbouw organische stof) en de negatieve gevolgen (directe verliezen) elkaar compenseren op grasland, waardoor bemesting voor de ESD Klimaatfuncties als matig wordt beoordeeld. Op bouwland wordt bemesting als negatief beoordeeld, met name omdat hier meer kunstmest gebruikt wordt. Kunstmest heeft geen positieve invloed op organische stof opbouw.

5.8 Bodembiodiversiteit

De ecosysteemdienst 'Bodembiodiversiteit' geeft de diversiteit aan bodemleven aan. Bodemleven speelt een belangrijke rol voor de bodemkwaliteit. Het draagt bij aan de omzettingen van organische stof, is van invloed op het vrij komen van nutriënten, breekt organische residuen af, speelt een rol bij de structuurvorming van de bodem etc.

De data die gebruikt zijn voor de kaartweergave van bodembiodiversiteit zijn afkomstig van het RIVM. De getallen komen uit Kaart 25 uit het rapport 'Bodembiodiversiteit op de kaart van Noord-Brabant' uit 2012 (Rutgers et al., 2012). Deze RIVM-kaart toont de integrale bodembiodiversiteit gesommeerd over de volgende proxies:

- Regenwormen abundantie
- Regenwormen soortenrijkdom
- Potwormen abundantie
- Potwormen soortenrijkdom
- Microarthropoden abundantie
- Microarthropoden soortenrijkdom
- Nematoden abundantie
- Nematoden soortenrijkdom

- Bacteriën C-mineralisatiesnelheid
- Bacteriën N-mineralisatiesnelheid

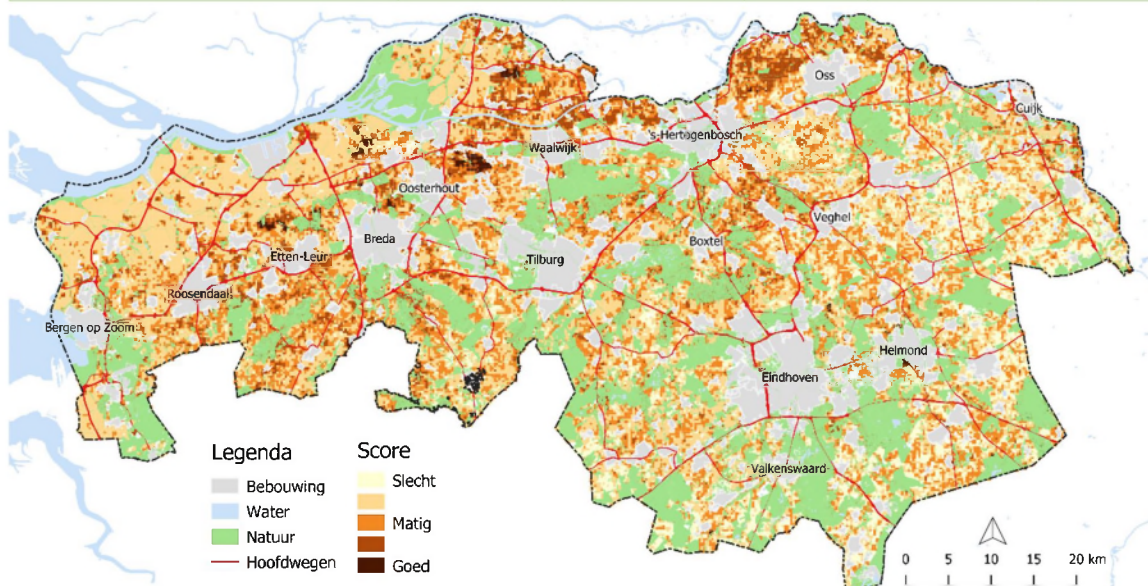
De score die door Rutgers et.al. (2012) wordt gebruikt als indicator voor de mate van biodiversiteit, is naar de 0-10 schaal (gebruikt in deze studie) omgezet via onderstaande tabel. Het resultaat van op de ESD kaart Bodembiodiversiteit weergegeven (figuur 5.8). De 10 proxies zijn bij elkaar opgeteld om tot een somkaart te komen die inzicht geeft in de staat van de totale bodembiodiversiteit.

Tabel 5.15. Classificatie tabel voor de score voor de bodembiodiversiteit

Originele score	Waarde op schaal 0-10	Beoordeling
< -5	1	Slecht
-5 tot 0	3	Matig/slecht
0 tot 5	5	Matig
5 tot 10	7	Matig/goed
> 10	9	Goed

Tabel 5.16. De verdeling van de waardering van ESD 8 over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst 8 Bodembiodiversiteit	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	1	87	2	10	0
<i>Bouwland op zand</i>	36	39	21	5	0
<i>Grasland op klei</i>	1	37	3	58	1
<i>Grasland op zand</i>	14	19	48	19	0



Figuur 5.8. Waardering ecosysteemdienst bodembiodiversiteit

De gemiddelde score (na correctie volgens Tabel 5.16) ligt op grasland hoger (klei = 5,5 en zand = 4,5) dan

op bouwland (klei = 3,7 en zand = 3,2). Hoewel deze waarden met een andere methodologie berekend zijn dan de overige ecosystemendiensten, zijn de lage waarden een punt van aandacht. Een lage bodembiodiversiteit kan het gevolg van een maximale benutting van het productieleverend vermogen van de bodem. Op bouwland kan een hoger gebruik van herbiciden en pesticiden een rol spelen. Ook een intensieve grondbewerking draagt negatief bij aan de stabiliteit en diversiteit van het bodemleven.

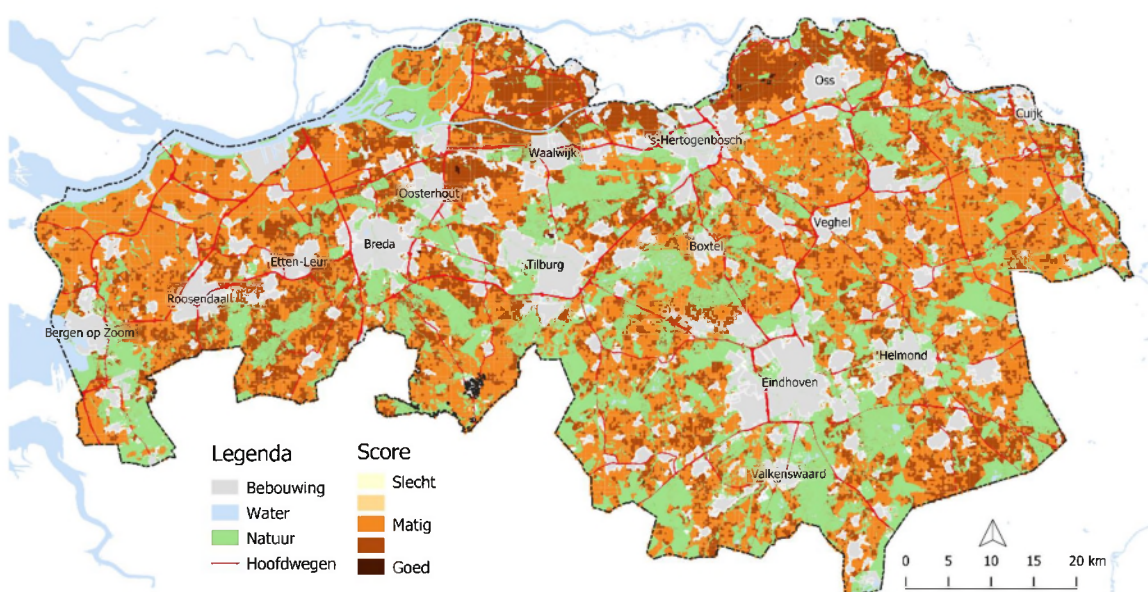
Op bouwland is de bodembiodiversiteit op zeeklei vrij laag vanwege de intensieve grondbewerking. Toch zit deze nog boven de bodembiodiversiteit van bouwland op zand in het oostelijk deel van de provincie, waar de gronden (in belangrijke mate maisteelt) intensief worden bemest en bewerkt.

5.9 Totaalscore ecosystemendiensten

De totaalscore voor de ecosystemendiensten die de bodem in Noord-Brabant levert is bepaald aan de hand van de afzonderlijke ecosystemendiensten. In deze weging zijn alle getoonde ecosystemendiensten meegenomen en even zwaar gewogen. Doordat meerdere diensten zijn samengevoegd, met mogelijke tegengestelde werking van bepaalde bodemkenmerken, zijn veel van de extremen uitgevlakt in het uiteindelijke kaartbeeld.

Tabel 5.17. De verdeling van de waardering van totale ecosystemendiensten over de grond-gewas combinaties.

Ecosysteemdienst Totale waardering	Slecht	Matig/slecht	Matig	Matig/goed	Goed
Score	0 - 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10
<i>Bouwland op klei</i>	0	0	90	10	0
<i>Bouwland op zand</i>	0	1	96	3	0
<i>Grasland op klei</i>	0	0	5	91	4
<i>Grasland op zand</i>	0	0	19	81	0



Figuur 5.9. Totale waardering ecosystemendiensten in Noord-Brabant.

De relatief hoge totaal-waardering voor grasland op klei valt op. De meerderheid van de percelen komen - met uitzondering van de ecosysteemdiensten waterregulatie en de klimaatfunctie - steeds als beste naar voren. De laagste waardering is terug te vinden op de bouwland-percelen op zand, met name in het oosten (lagere score bodembiodiversiteit). Bij bouwland scoren met name de diensten adaptatie en bodembiodiversiteit slecht tot matig en bij bouwland op zand ook de nutriëntenretentie- en levering.

6. Grenzen en figuren ecosysteemdiensten

6.1 Nutriëntenretentie- en -levering

CEC

Tabel 6.1. Klassegrenzen waardering CEC (mmol+/kg).

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 90
Matig	90 - 120
Goed	> 120

Organische stof

Tabel 6.2. Klassegrenzen waardering OS (%) ESD1

Beoordeling	Grasland percelen	Bouwland percelen
Slecht	< 3,5	< 2,5
Matig	3,5 – 5,5	2,5 – 3,5
Goed	> 5,5	> 3,5

N-totaal

Tabel 6.3. Klassegrenzen N-totaal-waardering (mg/kg).

Beoordeling	Grasland percelen	Bouwland percelen
Slecht	< 2000	< 1500
Matig	2000 – 3500	1500 - 2500
Goed	> 3500	> 2500

Zuurgraad

Tabel 6.4. Klassegrenzen pH-waardering.

Beoordeling	Grasland percelen	Bouwland percelen
Slecht	< 4,4 en > 8,5	< 4,5 en > 9
Matig	4,4 – 4,8 en > 8 - 8,5	4,5 – 5,5 en 8,5 – 9
Goed	4,8 – 8	5,5 – 8,5

Grondwatertrap

Voor de relatie tussen grondwatertrappen en ecosysteemdiensten is gebruikgemaakt van de zogenoemde HELP-tabellen (Landinrichtingsdienst 1992). Hierbij is ervan uitgegaan dat de droogte- en waterschade een goede indicatie vormen van het effect van de grondwaterstand op het nutriënten leverende vermogen van de bodem. Tabel 6.5 geeft de gekozen klasse indeling voor het grondwater

Tabel 6.5. Klassegrenzen waardering grondwatertrap.

Gt ¹	Grasland op zand	Grasland op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
II	matig	slecht	n.v.t.	n.v.t.
II,b	matig	matig	n.v.t.	n.v.t.
III	matig	matig	slecht	slecht
III,b,c	goed	matig	matig	matig
IV	goed	goed	goed	goed
V	matig	matig	matig	matig
V,b	matig	matig	matig	matig
VI	matig	matig	matig	matig
VII	matig	slecht	matig	matig
VII,o,opd	Slecht	slecht	slecht	matig

Management

Bij management worden ploegen en bemesting elk voor de helft gewogen.

Tabel 6.6. Klassegrenzen management.

Management	Grasland op zand	Grasland op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
Ploegen	Goed	goed	goed	goed
Bemesting	Goed	goed	matig	matig
Pesticiden	Nvt	nvt	nvt	nvt

Fosfaattoestand

De klasse-indeling van de fosfaattoestand volgt de wettelijke categorisatie in arm, laag, neutraal en hoog. Voor nutriëntenlevering is ervoor gekozen dat laag slecht is, neutraal matig en hoog goed.

Tabel 6.7. Klassegrenzen waardering fosfaattoestand.

Beoordeling	Grasland percelen (PAL mg P ₂ O ₅ /100g)	Bouwland percelen (Pw mg P ₂ O ₅ /l)
Slecht	< 16	< 25
Matig	16 – 27 & > 50	25 – 36 & > 55
Goed	27 – 50	36 – 55

Fosfaatverzadiging

Tabel 6.8. Klassegrenzen waardering fosfaatverzadiging (%).

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 5 en > 50
Matig	5 – 12 en > 25 - 50
Goed	12 – 25

Koper

Koper wordt gewaardeerd vanuit de aanwezigheid in het gewas. Eerst wordt via een simpele lineaire regressie koper in de bodem omgezet naar koper in het gewas (bouwland/grasland). De data die gebruikt zijn om te classificeren staan in Tabel 6.9.

Koper-gehalten in mais (en de andere gewassen op bouwland) worden met de volgende formule berekend:
 $\text{Log}_{10}(\text{Cu-mais (staat ook voor andere akkerbouwgewassen)}) = 0.948 + 0.188 \cdot \log_{10}(\text{Cu in CaCl}_2 \text{ in mg/kg})$.
 Aangezien er geen relatie bekend is voor grasland, wordt hierbij het gewasgehalte gelijk genomen aan de gemeten koper (Cu in CaCl₂) hoeveelheid in de bodem: Cu-gras = CaCl₂ in mg/kg.

Tabel 6.9. Klassegrenzen koper-gehalte (mg/kg ds) in gewas en waardering.

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 2
Matig	2 – 5 & > 10
Goed	5 – 10

Zink

Zink wordt net als koper gewaardeerd op de gehalten in het gewas. Deze zijn voor grasland en bouwland verschillend en worden met de volgende formule berekend:

$$\text{Log}_{10}(\text{Zn-in gewas}) = a + b \cdot \log_{10}(\text{Zn in CaCl}_2 \text{ in mg/kg}) + c \cdot \text{pH}$$

Met a, b, c = 0.88, 0.56 en -0.13 voor bouwland en -1.04, 0.67 en 0.50 voor grasland

Tabel 6.10. Klassegrenzen zink-gehalte (mg Zn/kg ds) in gewas en waardering.

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 15
Matig	15 – 30 en > 150
Goed	30 – 150

6.2 Bodemstructuur

Organische stof

Tabel 6.11. Klassegrenzen waardering OS (%).

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 3,5	< 2,5
Matig	3,5 – 5,5	2,5 – 3,5
Goed	> 5,5	> 3,5

Lutum

Tabel 6.12. Klassegrenzen waardering lutum (%).

Beoordeling	Grasland	Bouwland
Slecht	< 15 & > 70	< 8 & > 45
Matig	15 – 20 & 60 – 70	8 – 12 en 30 – 45
Goed	20 – 60	12 – 30

Zuurgraad

Tabel 6.13. Klassegrenzen pH-waardering.

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 3,5	< 4,0
Matig	3,5 – 4,0 & > 6,2	4,0 – 5,5 en > 6,2
Goed	4,0 – 6,2	5,5 – 6,2

Grondwatertrap

Tabel 6.14. Beoordelingsschema grondwatertrap.

Gt ¹	Grasland op zand	Grasland op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
II	slecht	slecht	n.v.t	n.v.t
II,b	matig	slecht	n.v.t	n.v.t
III	slecht	slecht	slecht	slecht
III,b,c	goed	slecht	goed	slecht
IV	goed	goed	goed	goed
V	goed	matig	goed	matig
V,b	goed	matig	goed	matig
VI	matig	goed	matig	goed
VII	slecht	matig	slecht	matig
VII,o,opd	slecht	slecht	slecht	slecht

Management

Tabel 6.15 Beoordelingsschema van beheer op de bodemstructuur.

Management	Gras op zand	Gras op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
<i>Ploegen</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Bemesten</i>	Goed	Matig	Matig	Matig
<i>Pesticiden</i>	Nvt	Nvt	Matig	Matig
<i>Totaal</i>	Goed	Matig	Matig	Matig

6.3 Ziekte- en plaagwering

Organische stof

Tabel 6.16 Beoordelingsschema van organische stof (%) op ziekte- en plaagwering.

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	< 3,0
Matig	3,0 – 3,5
Goed	> 3,5

Bouwplan intensiteit

De intensiteit van het bouwplan en de gewassen die verbouwd zijn in de periode 2009-2017 worden gebruikt als indicator voor de natuurlijke ziekte-en plaagwering. Grasland wordt als 'goed' beoordeeld, net als een perceel waarop voornamelijk meerjarige gewassen worden verbouwd. Voor overige gewassen geldt, dat wanneer er gewassen uit meer dan 3 gewasgroepen worden verbouwd, dit goed is voor de ziekte- en plaagwering. Een slechte situatie is een bouwplan met gewassen uit slechts één gewasgroep. Ook wanneer er Tagetes of Afrikaantjes verbouwd worden, wordt dit als slecht beoordeeld. De meest directe scheiding wordt hiermee gemaakt tussen grasland en bouwland. De beoordeling van de rol van het bouwplan op de natuurlijke ziekte- en plaagwering hangt af van het aantal verschillende gewassen (naar grotere groepen, zoals knolgewassen, granen en mais) en een paar gewassen die een direct negatief effect hebben op deze ecosysteemdienst.

Tabel 6.17 Beoordelingsschema bouwplan intensiteit op ziekte- en plaagwering.

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	Gewassen uit 1 gewasgroep, of als er tagetes of afrikaantjes in bouwplan voorkomen
Goed	Grasland, of meerjarige gewassen of gewassen uit meer dan 3 gewasgroepen

Stabiliteit bodem-voedselweb

Tabel 6.18 Beoordelingsschema van de stabiliteit van het bodemvoedselweb (allometrie) op ziekte- en plaagwering. Hoe lager de waarde, hoe beter (zie RIVM 2012).

Beoordeling	Alle percelen
Goed	< 16
Matig	16 – 18
Slecht	> 18

Nematoden (soortenrijkdom)

Tabel 6.19 Beoordelingsschema van de soortenrijkdom van nematoden op ziekte- en plaagwering .

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	< 25
Matig	25 – 27
Goed	> 27

6.4 Adaptatie en flexibiliteit

Organische stof

Tabel 6.20 Beoordelingsschema van organische stof (%) op adaptatie en flexibiliteit.

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 4,5	< 5,0
Matig	4,5 – 6,5	5,0 – 6,5
Goed	> 6,5	> 6,5

Zuurgraad

Tabel 6.21 Beoordelingsschema van zuurgraad op adaptatie en flexibiliteit.

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 3,5 en > 6,2	< 4,0
Matig	3,5 - 4	4,0 – 5,5
Goed	4 - 6,2	> 5,5

Management

Het gebruik van pesticiden wordt als negatief gewaardeerd.

Tabel 6.22 Beoordelingsschema van beheer op adaptatie en flexibiliteit.

Management	Gras op zand	Gras op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
<i>Ploegen</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Bemesten</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Pesticiden</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Totaal</i>	Goed	Goed	Matig	Matig

6.5 Zelfreinigend en bufferend vermogen

Organische stof

Tabel 6.23 Beoordelingsschema van organische stof (%) op het zelfreinigend en bufferend vermogen (gelijk voor verschillende grondsoorten en landgebruiksvormen).

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	< 3,0
Matig	3,0 – 5,5
Goed	> 5,5

Zuurgraad

Tabel 6.24 Beoordelingsschema van de zuurgraad op het zelfreinigend en bufferend vermogen.

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	< 4,5
Matig	4,5 – 5,0
Goed	> 5,0

Kationen-uitwisselcapaciteit

Tabel 6.25 Beoordelingsschema van CEC (mmol+/kg) op het zelfreinigend en bufferend vermogen.

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 90	< 230
Matig	90 – 120	230 – 260
Goed	> 120	> 260

Lutum

Tabel 6.26 Beoordelingsschema lutum (%) op het zelfreinigend en bufferend vermogen.

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	< 25
Matig	25 – 35
Goed	> 35

Grondwatertrap

Tabel 6.27. Beoordelingsschema grondwatertrap.

Gt ¹	Grasland op zand	Grasland op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
II	slecht	slecht	n.v.t.	n.v.t.
II,b	slecht	slecht	n.v.t.	n.v.t.
III	slecht	slecht	slecht	slecht
III,b,c	slecht	matig	slecht	matig
IV	matig	matig	matig	matig
V	slecht	matig	slecht	matig
V,b	matig	matig	matig	matig
VI	goed	goed	goed	goed
VII	goed	goed	goed	goed
VII,o,opd	goed	goed	goed	goed

Beheer

Tabel 6.27. Beoordelingsschema management.

Management	Gras op zand	Gras op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
<i>Ploegen</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Bemesten</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Pesticiden</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Totaal</i>	Goed	Goed	Matig	Matig

Nitraat

Tabel 6.27b Beoordelingsschema nitraat (mg/l) op het zelfreinigend en bufferend vermogen..

Beoordeling	Alle percelen
Slecht	>60
Matig	40-60
Goed	<40

Fosfaatverzadiging

De waardering van de P-verzadiging: hangt af van grondsoort en grondwatertrap en is gebaseerd op de resultaten van Schoumans (2004).

- Klei: FVG >25 & Gt is 'I','II','IIB','III','IIIB') → slecht,
- Klei: FVG >25 & Gt is 'V','VB','VI','VII','VIII') → matig,
- Zand en niet klei of veen & pH < 6 & FVG >25 & Gt is ('I','II','IIB','III','IIIB') → slecht
- Zand en niet klei of veen & pH < 6 & FVG >25 & Gt is ('V','VB','VI','VII','VIII')→ matig
- Veen & FVG >10 → slecht
- Alle andere situaties is de waardering goed

6.6 Waterregulatie

Grondwatertrap

Tabel 6.33. Beoordelingsschema grondwatertrap.

Gt	grza	grkl	boza	bokl
I	matig	slecht	slecht	slecht
II	matig	slecht	slecht	slecht
IIIB	matig	matig	slecht	slecht
III	matig	matig	slecht	slecht
IIIB	goed	matig	matig	matig
IV	goed	goed	goed	goed
V	matig	matig	matig	matig
VB	matig	matig	matig	matig
VI	matig	matig	matig	matig
VII	matig	slecht	matig	matig
VIII	slecht	slecht	slecht	matig

Dichtheid

Tabel 6.34. Beoordelingsschema bodemdichtheid (kg/dm³).

Beoordeling	Grasland	Bouwland
Goed	< 1,3	< 1,4
Matig	1,3 – 1,5	1,4 – 1,6
Slecht	> 1,5	> 1,6

KSat

Tabel 6.35. Klassegrenzen KSat-waardering (mm/dag).

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 80
Matig	80 – 90
Ged	> 90

Waterberging

Tabel 6.36. Klassegrenzen waardering waterberging (mm).

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 175
Matig	175 – 350
Goed	> 350

Ontwatering

Tabel 6.37. Klassegrenzen waardering ontwatering vis grondwatertrap (Gt).

Gt	grza	grkl	boza	bokl
<i>I</i>	slecht	slecht	slecht	slecht
<i>II</i>	slecht	slecht	slecht	slecht
<i>II/B</i>	slecht	slecht	slecht	slecht
<i>III</i>	slecht	slecht	slecht	slecht
<i>III/B</i>	matig	matig	matig	matig
<i>IV</i>	matig	matig	matig	matig
<i>V</i>	slecht	slecht	slecht	slecht
<i>VB</i>	matig	matig	matig	matig
<i>VI</i>	matig	matig	matig	matig
<i>VII</i>	goed	goed	goed	goed
<i>VIII</i>	goed	goed	goed	goed

6.7 Klimaatfunctie

Organische stof

Tabel 6.28. Beoordelingsschema organische stof (%).

Beoordeling	Percelen op zand	Percelen op klei
Slecht	< 3,0	< 2,0
Matig	3,0 – 5,0	2,0 – 4,0
Goed	> 5,0	> 4,0

Zuurgraad

Tabel 6.29. Beoordelingsschema zuurgraad.

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 3,5 & > 6,2
Matig	3,5 – 4,0
Goed	4,0 – 6,2

Lutum

Tabel 6.30. Klassegrenzen lutum-waardering.

Beoordeling	Alle landbouwpercelen
Slecht	< 12
Matig	12 – 15
Goed	> 15

Beheer

Tabel 6.31. Beoordelingsschema management.

Management	Gras op zand	Gras op klei	Bouwland op zand	Bouwland op klei
<i>Ploegen</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Bemesten</i>	Goed	Goed	Matig	Matig
<i>Pesticiden</i>	Nvt	Nvt	Nvt	Nvt
<i>Totaal</i>	Goed	Goed	Matig	Matig

Grondwatertrap

Tabel 6.32. Beoordelingsschema grondwatertrap

Gt	grza	grkl	boza	bokl
I	slecht	slecht	slecht	slecht
II	slecht	slecht	slecht	slecht
IIB	slecht	slecht	slecht	slecht
III	slecht	slecht	slecht	slecht
IIIB	matig	slecht	matig	slecht
IV	matig	matig	matig	matig
V	slecht	slecht	slecht	slecht
VB	matig	matig	matig	matig
VI	goed	goed	goed	goed
VII	goed	goed	goed	goed
VIII	goed	goed	goed	goed

7. Referenties

- Haas M.J.G. de, A.M.D van Rotterdam-Los en D.W. Bussink. (2014). *Ontwikkeling bodemvruchtbaarheid en ruwvoer kwaliteit van grasland in Nederland*.
- Hanegraaf, M. C., den Ouden, J. B., Termorshuizen, A. J., Visser, A., Schöll, L. van, & A. Guldemon. (2013). Bodemvitaliteit in landbouw- en natuurgebieden in de provincie Noord-Brabant. *NMI, Rapport 13*, 115.
- Platform Bodembeheer Brabant. (2011). *Omgaan met regionaal verhoogde concentraties van zware metalen in het grondwater in Noord-Brabant*.
- Reijneveld, A., van Wensem, J., & Oenema, O. (2009). Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.007>
- Rutgers, M., Van Wijnen, H. J., Schouten, A. J., Mulder, C., De Zwart, C., Posthuma, L., De Goede, R. G. M. (2012). Bodembiodiversiteit op de kaart van Noord-Brabant. *RIVM, Rapport 60*, 111.
- Schouwman, O. F. (2004). *Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra-rapport 730.4*. Wageningen. Retrieved from <https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/raptme017.pdf>

Bijlage 1. Achtergrond statistische analyse

Organische stof

Het toegepaste model is: $\log(OS) = \text{periode} + \text{landgebruik} + \text{bodem} + (1 | \text{postcode}:\text{bodem}:\text{landgebruik}) + \epsilon$

De log getransformeerde analyseresultaten (tabel i.2) voor organische stof laten zien dat de 3 perioden significant van elkaar verschillen. Periode 1 (1988-1991) is significant hoger dan periode 2 (2001-2003). Periode 3 is significant hoger dan periode 2 en 3.

Zandgrond heeft een significant lager gehalte aan organische stof dan klei. Op grasland is het beeld vergelijkbaar met dat van bouwland. Wel is op grasland het gehalte aan organische stof significant hoger ligt dan op bouwland. Omgerekend naar oorspronkelijk schaal zijn de veranderingen in organische stof gehalte gering (maar wel significant) en is de significante stijging in organische stof van de derde periode $\leq 0.1\%$ absoluut.

Tabel i.1. De modelparameters voor organische stof.

modelparameter	estimate	se	t-waarde
(Intercept)	1,373675	0,015595	88,08
periode2	-0,00457	0,002127	-2,15
periode3	0,017341	0,001593	10,88
grondoverig	-0,04712	0,038962	-1,21
grondzand	-0,25677	0,01842	-13,94
luseGLD	0,37086	0,017838	20,79

Tabel i.2. De modelparameters omgerekend naar het gemiddelde os-gehalte (%) per grondsoort en grondgebruik.

Periode	bouwland			grasland		
	klei	overig	zand	klei	overig	zand
1988-1991	3,95	3,77	3,06	5,72	5,46	4,43
2001-2003	3,93	3,75	3,04	5,70	5,43	4,41
2013-2017	4,02	3,83	3,11	5,82	5,56	4,50

PAL (grasland)

Het toegepaste model is: $\log(PAL) = \text{periode} + \text{grond} + (1 | \text{postcode}) + \epsilon$

De log getransformeerde analyseresultaten (tabel ii.2) voor PAL laten zien dat de 3 perioden significant van elkaar verschillen. Periode 1 (1988-1991) is significant lager dan periode 2 (2001-2003). Periode 3 is significant hoger dan periode 2, maar de stijging is miniem (< 1 PAL eenheid omgerekend naar oorspronkelijk schaal). Grasland op zandgrond heeft een significant hogere PAL dan klei (15-18 eenheden) tabel i.2.

Tabel ii.1. De modelparameters voor PAL.

fixed	Estimate	se	t-waarde
(Intercept)	3,480785	0,012769	272,59
periode2	0,186697	0,004557	40,97
periode3	0,20062	0,003352	59,84
grond	0,385126	0,006405	60,13

Tabel ii.2. De modelparameters omgerekend naar de gemiddelde PAL waarde per grondsoort.

Periode	klei	zand
1988-1991	35,24	47,75
2001-2003	35,97	48,73
2013-2017	35,04	47,47

Pw (bouwland)

Het toegepaste model is: $\log(Pw) = \text{periode} * \text{grond} + (1 | \text{postcode}) + \epsilon$

De log getransformeerde analyseresultaten (tabel iii.1) voor Pw laten zien dat periode 2 significant hoger is dan periode 1 en 3 (tabel iii.2). De absolute afwijking is echter < 1 Pw eenheid (terug getransformeerd naar oorspronkelijke schaal) (Tabel iii.2). De stijging in periode 2 vond vooral plaats op de zandgronden. In periode 3 wijkt de Pw niet significant af van periode 1, zowel voor zand als klei.

Tabel iii.1. De modelparameters voor PAL.

fixed	estimate	se	t-waarde
(Intercept)	3,562213	0,011052	322,3
periode2	0,020356	0,003628	5,6
periode3	-0,00583	0,006165	-0,9
grondzand	0,485329	0,005026	96,6
periode2:grondzand	0,042256	0,004294	9,8
periode3:grondzand	-0,01284	0,006973	-1,8

Tabel ii.2. De modelparameters omgerekend naar de gemiddelde Pw-waarde per grondsoort.

Periode	klei	zand
1988-1991	35,24	57,26
2001-2003	35,97	60,96
2013-2017	35,04	56,20