



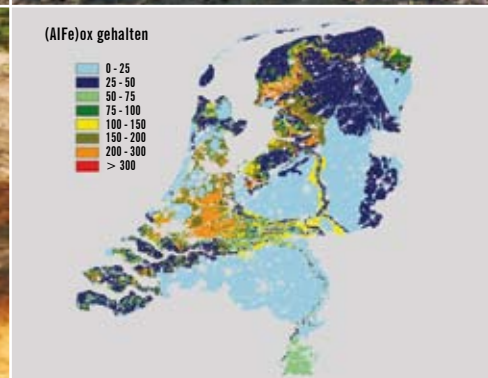
ALTERRA

WAGENINGEN UR

Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE model

Schatting van het ammonium oxalaat extraheerbare aluminium- en ijzergehalte

E.M.P.M. van Boekel



Alterra-rapport 1831, ISSN 1566-7197

Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE-model

In opdracht van LNV, Directie Landbouw, in het kader van Mineralen en Milieu, thema KRW en maatregelen

Projectcode [BO-05-004]

Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE model

Schatting van het ammonium oxalaat extraheerbare aluminium- en ijzergehalte

E.M.P.M. van Boekel

REFERAAT

E.M.P.M. Van Boekel, 2009. Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE-model. Schatting van het ammonium oxalaat extraheerbare aluminium- en ijzergehalte. Wageningen, Alterra-rapport 1831.

77 Blz.; 33 fig.; 15 tab.; 7 ref.

De aluminium- en ijzeroxalaat gehalten spelen een belangrijke rol bij het voorspellen van de fosforverliezen naar het oppervlaktewater. Het nauwkeurig schatten van deze gehalten in de ondergrond is noodzakelijk om op de lange termijn effecten goed te kunnen kwantificeren. Met behulp van Landelijke Steekproef Kaarteenheden en het Bodemkundig Informatiesysteem zijn per grondsoort en geologische afzettingen regressievergelijkingen opgesteld voor het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte op basis van het lutum en/of humusgehalten. Vervolgens zijn de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de ondergrond van de STONE-plots opnieuw geschat. De geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de nieuwe STONE-schematisering zijn significant lager dan de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de huidige schematisering, waardoor het fosfaatbindend vermogen lager wordt. Dit heeft vervolgens effect op de fosforbelasting naar grond- en oppervlaktewater op de lange termijn.

Trefwoorden: Fosfaatuitspoeling, Geochemie, Ondergrond, STONE, Bodemschematisering

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra vestrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

[Alterra-rapport 1831/maart/2009]

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Achtergrond	15
3 Methodiek	19
3.1 Database	19
3.1.1 LSK	19
3.1.2 BIS	19
3.2 Analyse	20
3.2.1 Grondsoort	20
3.2.2 Geologische formatie	21
3.3 Calibratie en validatie	23
3.4 STONE-schematisering	24
4 Resultaten	27
4.1 Calibratie	27
4.1.1 Grondsoort	27
4.1.2 Geologische formatie	30
4.2 Validatie	35
4.2.1 Grondsoort	35
4.2.2 Geologische formatie	39
4.3 Synthese	43
5 STONE-schematisering	45
5.1 Grondsoort	45
5.2 Geologische formatie	48
5.3 Synthese	51
6 Conclusie	55
6.1 Calibratie en validatie	55
6.2 STONE-schematisering	57
Literatuur	61
Bijlage 1 Ruimtelijk verdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in de ondergrond voor de laag tussen 2-4m-mv en tussen 4-13m-mv	63
Bijlage 2 Geschatte en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond met behulp van de BIS-database per grondsoort en geologische formatie	65
Bijlage 3 Cumulatieve frequentieverdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte voor de overige lagen op basis van de grondsoort en geologische formatie	71
Bijlage 4 Ruimtelijke verdeling van het geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in de ondergrond op basis van de grondsoort en geologische formatie	75

Woord vooraf

Het traceren van fosfaatbronnen in het landelijk gebied is belangrijk voor het schatten van de effectiviteit van maatregelen die gericht zijn op het realiseren van doelen voor de Kader Richtlijn Water. In de ondergrond van de bodem bevindt zich een voorraad fosfaat die bijdraagt aan de eutrofiering van het oppervlaktewater. Over de omvang en de mobiliteit van deze voorraad is weinig bekend. Vanuit het fosfaatonderzoek aan bovengronden is wel bekend dat de voorraad gecorreleerd is met de voorraad $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$.

STONE wordt behalve voor ex-ante evaluaties van het mestbeleid en jaarlijkse rapportages van de fosfaatvrucht naar het oppervlaktewater ook gebruikt voor het onderscheiden van de omvang van verschillende fosfaatbronnen. Voor een meer adequate schatting van de verschillende bronnen ligt een verbetering van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond, zoals deze in de STONE schematisering is beschreven, voor de hand. De beschrijving van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte in de STONE versies 2.0 t/m 2.3 is gebaseerd op een ‘zwakke’ correlatie tussen Al_2O_3 en lutum en daar waar deze ontbeken op basis van expert judgement.

Het onderzoek in dit rapport beschrijft de methode waarmee met gegevens van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden en het Bodemkundig Informatie Systeem een verbeterde schatting van het ammonium-oxalaat extraheerbare aluminium- en ijzergehalte in de ondergrond van de STONE-schematisering kan worden verkregen. Tevens worden geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gepresenteerd die in een vervolgfase van het onderzoeksproject in STONE zullen worden ingevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd door Erwin van Boekel en werd begeleid door Piet Groenendijk, Caroline van der Salm en Oscar Schoumans.

Samenvatting

De geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat aan aluminium- en ijzermineralen in landbouwgebieden is afgelopen decennia zodanig toegenomen dat fosforverliezen naar het oppervlaktewater optreden. Het STONE model is o.a. voor het berekenen van deze fosfaatverliezen op nationale schaal ontwikkeld. Nederland is in STONE opgedeeld in verschillende ruimtelijke eenheden (6405 plots). Voor alle plots zijn de bodemfysische en bodemchemische eigenschappen, waaronder het lutum- en humus, Al_{ox} en Fe_{ox} gehalten, geschat. Om de P-belasting van het oppervlaktewater goed te kunnen voorspellen is het van belang dat de schatting van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten zo nauwkeurig mogelijk is, omdat in de ondergrond de omvang van de P-ophoping bepaald wordt door het Al_{ox} - en Fe_{ox} gehalte (chemisch evenwicht). Dit bepaalt tevens de bufferende werking van de bodem op langere termijn.

In dit onderzoek is de mogelijkheid onderzocht om het ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten aluminium en ijzer in de Nederlandse ondergrond te schatten aan de hand van het lutum- en organische stofgehalte. In deze studie wordt er a priori vanuit gegaan dat er een lineair verband bestaat tussen het lutum- en humusgehalte en het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte. Per grondsoort en per geologische formatie zijn aparte lineaire regressievergelijking opgesteld. Voor het bepalen van de regressievergelijkingen is gebruik gemaakt van de dataset van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). In deze dataset is per laag de grondsoort en geologische formatie vastgelegd. Voor de validatie van de regressievergelijkingen is gebruik gemaakt van data uit het Bodemkundige Informatie Systeem (BIS).

Op basis van de calibratie en validatie wordt vervolgens beoordeeld of het zinvol is om de lineaire regressievergelijking toe te passen bij het schatten van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Het criterium hierbij is dat de correlatie tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten groter dan 0,50 moet zijn (in deze studie verder aangeduid als een ‘sterke’ correlatie). Wanneer niet aan dit criterium wordt voldaan ($R^2 < 0,50$); ‘zwakke’ relatie), worden de mediane $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0m$ -mv gebruikt.

Grondsoort

In Tabel A zijn voor de verschillende grondsoorten de correlatiecoëfficiënt (R^2) weergegeven.

Tabel A. Correlatiecoëfficiënt (R^2) voor de verschillende grondsoorten

	Calibratie	Validatie
Zandgrond	0,24	0,09
Veengrond	0,70	0,85 ¹
Kleigrond	0,66	0,55
Leemgrond	0,55	0,70 ¹
Nederland	0,63	0,20

¹ gering aantal waarnemingen

- Bij het voorspellen van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in leemgronden is de regressiecoëfficiënt voor humus niet significant ($P > 0,05$). Voor zandgronden is de regressiecoëfficiënt voor lutum niet significant. Voor deze gronden zijn de regressievergelijkingen opnieuw bepaald waarbij de niet-significante parameters zijn weggelaten.
- De relatie tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte in klei- veen- en leemgronden is bij zowel de calibratie als validatie ‘sterk’ ($R^2 > 0,50$). Voor zandgronden wordt er echter een ‘zwak’ verband gevonden tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het humusgehalte.
- Het aantal waarnemingen in de LSK en BIS-database is voor de veen- en leemgronden beperkt, waardoor de R^2 sterk kan worden beïnvloed door meetlocaties met ‘afwijkend’ lutum-, humus- of $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten.

Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat voor klei, leem- en veengronden zowel bij de calibratie als bij de validatie wordt voldaan aan het gestelde criterium en de regressievergelijkingen toegepast kunnen worden voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de STONE-plots.

Voor zandgronden wordt een ‘zwakke’ relatie gevonden, waardoor het niet zinvol is om voor deze gronden de regressievergelijking toe te passen. Voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor STONE-plots met een zandprofiel wordt de mediaan van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte uit de LSK-database gebruikt.

Geologische formatie

In Tabel B zijn voor de verschillende grondsoorten de correlatiecoëfficiënt (R^2) weergegeven.

Tabel B. Correlatiecoëfficiënt (R^2) voor de verschillende grondsoorten

	Calibratie	Validatie
Marien	0,53	0,18 (0,52)
Fluviatiel holocene	0,65	-
Fluviatiel pleistoceen	0,11 (0,24)	-
Eolisch zand	0,12	0,08
Eolisch löss	0,62	0,04
Glaciaal	0,22	0,05

- Door het geringe aantal waarnemingen kunnen de regressievergelijkingen voor de fluviatiel holocene afzettingen en de fluviatiel pleistocene afzettingen niet worden gevalideerd. Bovendien is de R^2 tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gevoelig voor locaties met ‘afwijkend’ lutum-, humus- en $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten. Bij het interpreteren van de resultaten moet hier mee rekening worden gehouden.
- De regressiecoëfficiënt voor het lutumgehalte is bij de eolische zandgronden, mariene- en glaciële afzettingen niet significant. Voor fluviatiel pleistocene afzettingen is er geen significant verband tussen het humusgehalte en het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten.

- De relatie tussen de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte is sterker voor geologische afzettingen met een hoog lutumgehalte dan voor geologische afzettingen met een laag lutumgehalte.
- Voor fluviatiel holocene afzettingen wordt een ‘sterke’ relatie ($R^2 > 0,50$) gevonden. Ook voor mariene afzettingen wordt een ‘sterke’ relatie gevonden wanneer 1 waarneming wordt weggelaten.
- De relatie tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte voor eolische zand en lössafzettingen, glaciale afzettingen en fluviatiel pleistocene afzettingen zijn ‘zwak’ ($R^2 < 0,50$).

De regressievergelijkingen voor de mariene en fluviatiel holocene afzettingen kunnen toegepast worden voor het voorspellen van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Hierbij moeten de volgende opmerkingen geplaatst worden:

- De regressievergelijking voor fluviatiel holocene afzettingen kan niet gevalideerd worden;
- De R^2 tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor mariene afzettingen bij de validatie ($R^2 = 0,18$) voldoet niet aan het gestelde criterium. Wanneer echter 1 waarneming wordt verwijderd wordt wel voldaan aan het criterium, namelijk een R^2 van 0,52.

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de ondergrond van de STONE-plots zijn opnieuw geschat door gebruik te maken van de regressievergelijkingen of de mediaan uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte van $> 1,0\text{m-mv}$.

De geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten zijn vergeleken met de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten zoals deze in de huidige STONE-schematisering zijn toegekend. De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

- De regressievergelijkingen kunnen niet worden toegepast voor plots met een (zeer) hoog humusgehalte (humus $> 20\%$), omdat anders onrealistisch hoge $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten worden berekend. Dit geldt voornamelijk voor kleigronden, veengronden en mariene afzettingen.
De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten van plots met een hoog humusgehalte ($> 20\%$) zijn opnieuw geschat waarbij het humusgehalte op maximaal 20% gezet is.
- De cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten komen redelijk goed overeen met de cumulatieve frequentieverdeling van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database. Dit is indirect het gevolg van het percentage van de STONE-plots waarvoor mediane waarden zijn gebruikt. Bij de indeling op basis van grondsoort is dit percentage 55%, bij de indeling op basis van de geologische formatie is dit percentage 61%. Wanneer mediane waarden gebruikt worden voor het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten zijn er geen regionale verschillen binnen geologische formaties zichtbaar.

- Er zijn duidelijke regionale verschillen zichtbaar wanneer het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten wordt geschat op basis van grondsoort of geologische formatie. Dit geldt voornamelijk voor het Zuidwestelijk en Noordelijk kleigebied, de Achterhoek, rivierengebied en het lössgebied. Voor het zandgebied zijn er geen ruimtelijke verschillen zichtbaar. De mediaan van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor zandgronden in de LSK-database is 19 mmol kg^{-1} , voor eolische zandafzettingen is dit 17 mmol kg^{-1} .
- De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de nieuwe schematisering per grondsoort en geologische formatie zijn veel lager dan de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de huidige schematisering (Tabel C). Dit geldt zowel voor het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gebaseerd op basis van de grondsoort als op basis van de geologische formatie.

Tabel C. Areaal gewogen gemiddelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten (mmol kg^{-1}) in de Nederlandse ondergrond voor de laag tussen 1-2m-mv in de huidige en nieuwe STONE-schematisering.

Grondsoort	Huidig	Nieuw
Nederland	176	46
Zandgrond	129	19
Kleigrond	257	44
Veengrond	144	96
Löss	84	6
Geologische formatie		
Nederland	176	36
Moerig materiaal	63	178
Mariene afzettingen	234	61
Holocene fluviatiele afzettingen	435	90
Pleistocene fluviatiele afzettingen	76	19
Eolische zandafzettingen	116	17
Eolische lössafzettingen	80	51
Glaciale afzettingen	168	31

Zowel de regressievergelijkingen voor grondsoort als voor geologische formatie kunnen worden toegepast voor het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte in de ondergrond voor de STONE-plots. De voorkeur gaat hierbij (voorlopig) uit naar de regressievergelijkingen die zijn opgesteld op basis van de geologische formatie omdat op basis van deze indeling rekening wordt gehouden met niet alleen verschillen in grondsoort, maar ook in herkomst en wijze waarop de formatie is afgezet.

1 Inleiding

Binnen het mestbeleid van de Ministeries van VROM, V&W en LNV spelen de uitspoeling van nitraat naar het grondwater en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater een grote rol. Het mestbeleid van afgelopen decennia was voornamelijk gericht op het verlagen van nitraatverliezen. In het huidige mestbeleid spelen ook fosforverliezen een belangrijke rol. De geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat aan ijzer- en aluminiummineralen is in veel landbouwgebieden zodanig toegenomen, dat uitspoeling van fosfor naar grond- en oppervlaktewater verwacht kan worden (Groenendijk *et al.*, 2005). Om deze uit- en afspoeling te berekenen is het model STONE ontwikkeld (Wolf *et al.*, 2003). STONE kan gebruikt worden om de impact van bemestingsalternatieven op deze nutriëntenverliezen te beschrijven. Daarnaast kan STONE gebruikt worden om een schatting te maken van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem. Bij het bepalen van de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatspoeling spelen o.a. de ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten aluminium en ijzer een rol (Schoumans, 2004). Om de P-belasting van het grond- en oppervlaktewater goed te kunnen voorspellen, is het dus van belang dat de Al_{ox} - en Fe_{ox} gehalten in de bodem bekend zijn. De Al_{ox} - en Fe_{ox} gehalten in de ondergrond zijn niet voor heel Nederland bekend, waardoor voor veel locaties een schatting gemaakt moet worden. Het is dan ook van belang dat deze schatting zo nauwkeurig mogelijk is, omdat dit de lange termijneffecten m.b.t. fosforuitspoeling bepaalt. Het lutum-, humus- en $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering (Kroon *et al.*, 2000) zijn afgeleid door Griffioen *et al.* (2000). Het organisch stofgehalte in de ondergrond in de huidige STONE-schematisering is recentelijk aangepast (Boekel, 2009).

In dit rapport wordt met behulp van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK; Finke *et al.*, 2001) getracht om een nauwkeurige schatting te maken van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond met behulp van regressievergelijkingen, opgesteld op basis van het lutum- en/of humusgehalte. Vervolgens worden deze vergelijking gevalideerd door gebruik te maken van data uit het Bodemkundige Informatie Systeem (BIS). Voor het wel of niet toepassen van de regressievergelijking worden een aantal criteria opgesteld. Wanneer niet aan deze criteria voldaan wordt, zijn voor het schatten van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten de mediaan van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte uit de LSK-database gebruikt. Uiteindelijk worden de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE-plots opnieuw geschat door gebruik te maken van regressievergelijkingen of van mediane waarden uit de LSK-database en vergeleken met de huidige $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten, om vast te stellen hoe groot de verschillen zijn.

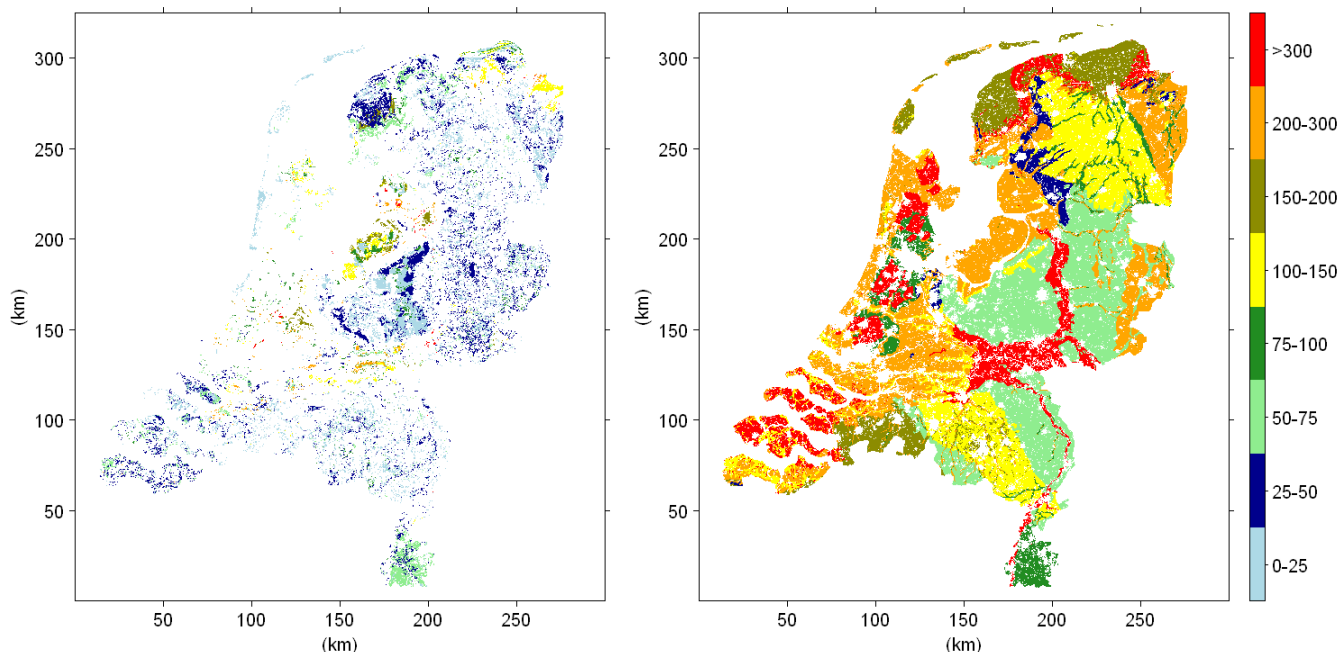
2 Achtergrond

De $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten binnen de huidige STONE-schematisering zijn bepaald met data uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) en soms uit aanvullende bronnen. De schematisatie van de chemie van de ondergrond is gebaseerd op indelingen in hydrotypen en de regionale variatie daarbinnen. Vervolgens zijn deze geparametriseerd op basis van beschikbare geochemische analyses en expert judgement. Bij de schematisatie moet echter wel rekening worden gehouden met het volgende; de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten zijn gebaseerd op een pragmatische vertaling van totale gehalten aan aluminium en ijzer. Het aandeel van Al_{ox} t.o.v. het totale aluminiumgehalte ligt tussen de 10% en 15%, voor Fe_{ox} ligt deze bijdrage tussen de 20% en de 50%. Uiteindelijk is gekozen voor een percentage van 10% voor Al_{ox} en 25% voor Fe_{ox} (Kroon *et al.* 2001).

Naast bovengenoemde aanname moet ook rekening gehouden worden met het feit dat voor ongeveer de helft van de hydrotypen geen analyses beschikbaar zijn. Voor deze hydrotypen zijn de totale gehalten aan aluminium en ijzer geschat. Het totale aluminiumgehalte is geschat op basis van het lutumgehalte. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende formule (Kroon *et al.* 2001):

$$\% \text{ lutum} = 3 * \% Al_2O_3 - 8 \quad (1)$$

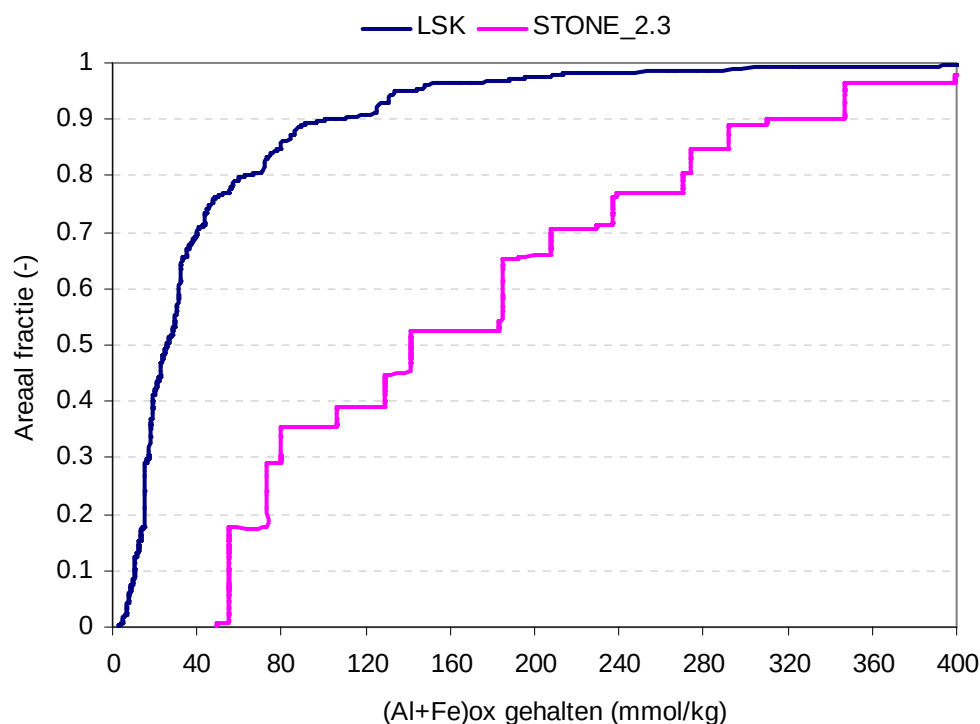
De $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten van de STONE-schematisering kunnen vergeleken worden met de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database (Figuur 1).



Figuur 1. $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) in de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0m$ -mv (links) en het $(Al+Fe)_{ox}$ gebalte in de laag tussen 1- 2m-mv in de huidige STONE-schematisering (rechts).

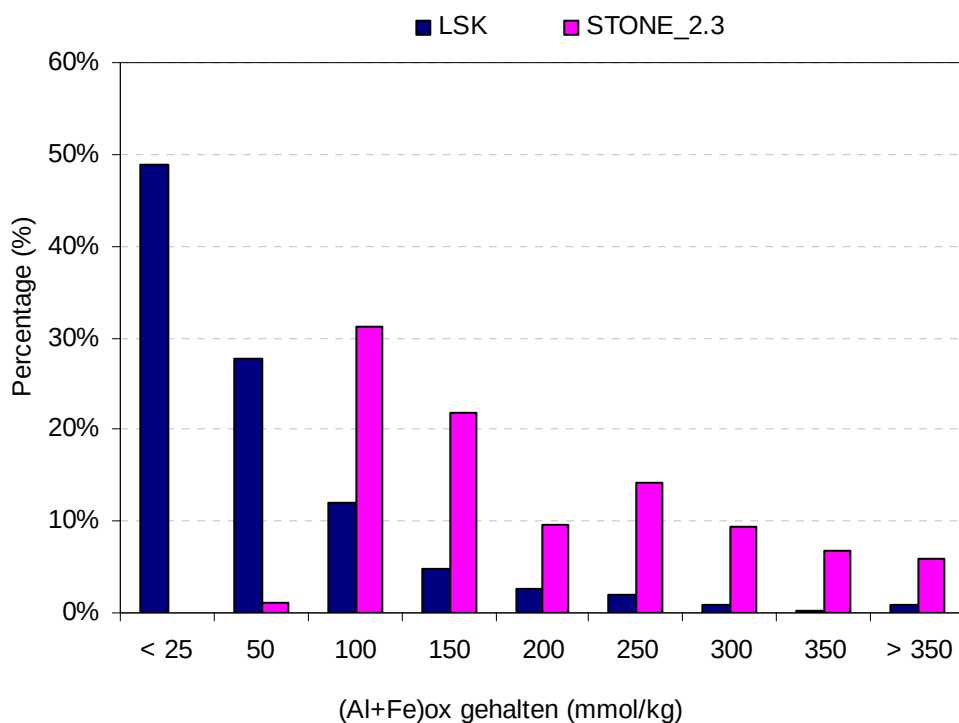
In Bijlage 1 staan de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor Nederland weergegeven voor de overige lagen.

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de LSK-database zijn redelijke landsdekkend bepaald, waarin de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten variëren tussen 0 en 700 mmol kg⁻¹. De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de STONE-schematisering voor de laag tussen 1-2m-mv variëren tussen de 50 en de 650 mmol kg⁻¹, waarin de hoge $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voornamelijk te vinden zijn in de kleigebieden (Zeeland, West- en Noord-Nederland en rond de grote rivieren). In Figuur 2 is de cumulatieve frequentieverdeling weergegeven van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv en de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering voor de laag tussen 1-2m-mv.



Figuur 2. Cumulatieve frequentieverdeling van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de gehalten uit de LSK-database met bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv en voor de laag tussen 1-2m-mv in de huidige STONE-schematisering.

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de STONE 2.3 zijn beduidend hoger dan de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de LSK -database. In Figuur 3 is de frequentieverdeling van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten weergegeven per klasse.



Figuur 3. Frequentieverdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond in de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0m$ -mv en voor de laag tussen $1-2m$ -mv in de huidige STONE-schematisering.

Uit Figuur 3 blijkt dat er in de STONE-schematisering geen $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten lager dan 25 mmol kg^{-1} onderscheiden worden, terwijl uit de LSK-database blijkt dat voor bijna 50% van de waarnemingen dit het geval is. Ook in de klasse tussen $25-50 \text{ mmol kg}^{-1}$ is het verschil erg groot. Daarnaast heeft bijna 50% van de STONE-plots een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte hoger dan 150 mmol kg^{-1} , terwijl dit in de bestaande database voor maar 6% van de waarnemingen het geval is. De geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de STONE-schematisering zijn, wanneer de LSK-database representatief wordt geacht voor heel Nederland, vrij hoog ingeschat.

3 Methodiek

3.1 Database

3.1.1 LSK

Voor het voorspellen van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond is in dit rapport gebruik gemaakt van de Landelijke Steekpoef Kaarteenheden (LSK). De LSK-database is een verzameling bemonsteringspunten die verdeeld zijn over Nederland op basis van de grondwatertrap en de grondsoort. De bemonstering heeft plaatsgevonden in de periode tussen 1992 en 1998. Van de bemonsterde punten zijn de belangrijkste bodemeigenschappen bepaald, waaronder het lutum- en humusgehalte, de GHG en GLG. Daarnaast zijn de gehalten aan oxalaat extraheerbaar P, Al en Fe bepaald. De LSK-database is de enige steekproef voor heel Nederland waarin Al_{ox} en Fe_{ox} op grotere diepte gemeten zijn. In totaal bestaat de database uit ongeveer 6500 waarnemingen van verschillende bodemhorizonten uit totaal ca 1300 profielen.

Selectieprocedure

Uit de LSK-database is een selectie gemaakt op grond van onderstaande criteria;

- Humus- en/of lutumgehalte $> 0\%$;
- bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m-mv}$;
- $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte $< 350 \text{ mmol kg}^{-1}$.

Uit de LSK-database zijn alleen de waarnemingen geselecteerd, waarvoor het humusgehalte of het lutumgehalte bekend zijn. Vervolgens zijn alleen de waarnemingen geselecteerd met een bemonsteringsdiepte van minimaal 1,0m-mv. Als laatste is er voor gekozen om de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten ($> 350 \text{ mmol kg}^{-1}$) voor 5 locaties uit de database te verwijderen, aangezien verondersteld wordt dat dit voor de Nederlandse ondergrond onrealistisch hoge gehalten zijn en waarschijnlijk betrekking hebben op ijzeroerbanken. De overgebleven waarnemingen (936) zijn verder geanalyseerd. Deze database wordt in dit rapport verder aangeduid met LSK_100.

3.1.2 BIS

Sinds 1960 verzamelt Alterra op systematische wijze gegevens van de Nederlandse ondergrond (tot 1,20m-mv). De waarnemingen bestaan uit het beschrijven van het bodemprofiel en het bepalen van fysische en chemische bodemeigenschappen. Hierbij moet gedacht worden aan het organisch stofgehalte, bulkdichtheid en de vochtkarakteristiek. Ook zijn op veel locaties de gehalten aan Fe, Al, P en zware metalen gemeten.

De verkregen informatie is vervolgens opgeslagen en wordt gebruikt voor een groot scala aan toepassingen op het gebied van inrichting en bescherming van het landelijk gebied.

De BIS-database bestaat uit meer dan 1500 waarnemingen verspreid over heel Nederland met gegevens over het Al_{ox} en Fe_{ox} gehalte. Voor deze database is dezelfde selectieprocedure toegepast als op de LSK-database. Deze database wordt in het vervolg aangeduid met BIS_100. Door de selectieprocedure toe te passen blijven er echter maar 126 waarnemingen over. Er is in deze studie dan ook voor gekozen om voor de validatie, naast BIS_100, ook waarnemingen te gebruiken, waarbij geen rekening gehouden is met de bemonsteringsdiepte. Deze database wordt in onderstaand rapport aangeduid met BIS_totaal en bevat in totaal 568 waarnemingen.

3.2 Analyse

3.2.1 Grondsoort

De monsterpunten uit de LSK- en BIS-database kunnen worden ingedeeld op basis van 4 verschillende grondsoorten; zandgrond, veengrond, kleigrond en leemgrond. Binnen deze hoofdgroepen kan er nog een onderverdeling gemaakt worden. Zo wordt binnen de zand- en kleigronden onderscheid gemaakt tussen kalkrijk en kalkarm. Moerige gronden, in zand- of kleiprofiel, worden tot de veengronden gerekend. In dit rapport wordt met deze onderverdeling geen rekeningen gehouden. Er wordt alleen onderscheid gemaakt tussen de 4 hoofdgroepen. Het aantal metingen in de LSK-database in zand- en kleigronden met een bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m}$ is veel groter dan het aantal metingen in veen- en leemgronden (Tabel 1). Ook in de BIS-database zijn het aantal waarnemingen in zand- en kleigronden groter dan in veen- en leemgronden, maar de verschillen zijn kleiner dan bij LSK_100.

Tabel 1. Aantal waarneming per grondsoort voor de verschillende databases met een bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m}$.

Grondsoort	Aantal punten	Aantal punten	Aantal punten
	LSK_100	BIS_100	BIS_totaal
Nederland	936	126	568
Zandgrond	572	76	262
Kleigrond	265	28	155
Veengrond	64	15	101
Leemgrond	35	7	50

In Tabel 2 zijn voor LSK_100 en BIS_100 per grondsoort de mediaan, 10-percentiel en 90-percentiel weergegeven voor het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte, lutum- en humusgehalte.

Tabel 2. Mediaan, 10-percentiel en 90-percentiel voor het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte, lutum- en humusgehalte in de LSK- en BIS-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv per grondsoort.

	Totaal		Zand		Klei		Veen		Leem	
$(Al+Fe)_{ox}$	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>
mediaan	24	30	19	27	48	52	19	26	51	61
10-percentiel	9	10	8	10	16	12	8	13	25	42
90-percentiel	99	93	44	89	198	104	73	35	75	137
Lutum										
mediaan	3,0	4,0	2,0	3,1	18,0	12,0	2,0	4,7	13,0	19,5
10-percentiel	1,0	1,8	1,0	1,5	3,0	2,3	1,0	3,2	7,3	17,9
90-percentiel	24,0	23,4	10,0	13,4	45,0	62,6	12,8	17,1	15,0	21,4
Humus										
mediaan	0,9	0,2	0,5	0,2	2,4	0,4	1,0	0,6	1,7	0,1
10-percentiel	0,3	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	0,4	0,1	1,1	0,0
90-percentiel	6,0	1,5	1,3	1,0	24,9	2,4	6,7	3,4	1,9	0,2

De mediaan van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS-database is voor alle gronden hoger dan voor de LSK-database. Voor het 10^{de} en 90^{ste} percentiel is dit echter niet overal het geval. Met name voor de 90-percentiel waarden zijn er grote verschillen zichtbaar. Ook het lutumgehalten van de monsterpunten zijn in de BIS-database hoger dan in de LSK-database. Het humusgehalte van de monsterpunten uit de BIS-database zijn over het algemeen juist lager dan voor de monsterpunten uit de LSK-database. Dit geldt voornamelijk voor de klei- en leemgronden.

3.2.2 Geologische formatie

Naast de verschillende grondsoorten kunnen de kaartenheden ook ingedeeld worden op basis van de geologische formatie. Binnen deze formaties kunnen zes hoofdgroepen onderscheiden worden (Tabel 3).

Tabel 3. Aantal waarnemingen per geologische hoofdformatie.

Geo-code	Beschrijving	Aantal punten		
		LSK_100	BIS_100	BIS_totaal
100	Moerig materiaal	37	2	59
200	Mariene afzettingen (holoceen)	159	12	84
300	Fluviatile afzettingen	123	11	88
400	Eolische afzettingen	524	72	247
500	Glaciale afzettingen	68	10	40
600	Overige afzettingen	25	19	50

In de tabel is, naast een beschrijving van de hoofdgroepen, ook de verdeling van het aantal waarnemingen over de verschillende geologische formaties gegeven. Het aantal waarnemingen in LSK_100 voor eolische afzettingen zijn veel groter vergeleken met het aantal waarnemingen in de andere formaties. In de BIS-database zijn de verschillen in aantal metingen tussen de verschillende geologische formaties kleiner. Ook hier is het aantal waarnemingen in de eolische afzettingen het grootst.

Bovenstaande hoofdformaties kunnen nog onderverdeeld worden in subformaties. De bijbehorende beschrijvingen en het aantal waarnemingen per subformatie in LSK_100 zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4. Aantal waarnemingen per geologische subformatie in de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv.

Geo-code	Beschrijving	Aantal waarnemingen
110	Geen herkenbare plantenresten	4
120	Bosveen, eutroof broekveen	2
130	Zeggeveen, rietzeggeveen, mesotroof broekveen	21
140	Rietveen, rietzeggeveen	2
152	Overig veenmosveen	2
160	Sedimentair veen	1
190	Overige veensoorten	5
210	Getijdenafzetting; zout, brak	4
211	Getijdenafzetting; jong (Duinkerke)	125
212	Getijdenafzetting; oud (Calais)	20
230	Onderwaterafzetting	10
320	Holocene afzetting Rijn of Maas	4
321	Holocene afzetting Rijn	35
322	Holocene afzetting Maas	12
330	Pleistocene afzetting Rijn of Maas	10
331	Laat-Pleistocene afzetting	39
332	Midden-vroeg-Pleistocene afzetting	12
340	Afzetting overige rivieren	11
410	Dekzand	228
411	Jong dekzand	109
412	Oud dekzand	63
413	Fluvio-periglaciaal dekzand	56
421	Loss dek	30
422	Loss in lokale depressies	17
431	Jong kustduinzand	6
440	Rivierduinzand	2
450	Landduinzand	6
490	Overige	7
510	Keileem	35
520	Keizand	17
530	Smeltwaterafzetting	3
531	Smeltwaterafzetting (zand)	13
610	Hellingafzettingen	1
620	Colluvium (loss)	3
631	Gestuwde afzetting van Rijn en Maas	11
632	Gestuwde afzetting van Oostelijke rivieren	3
633	Gestuwde afzetting (Tertiaire afzettingen)	1
691	Overig (Geogeen)	4
692	Overige (kunstmatig)	1
693	Antropogeen Heterogeen	1

Het aantal waarnemingen per subformatie loopt sterk uiteen. Er worden in totaal 40 subformaties onderscheiden met een aantal metingen, variërend tussen de 1 en 150. Voor de meeste subformaties is het, door het geringe aantal waarnemingen, niet mogelijk om een (betrouwbare) analyse uit te voeren.

Er is daarom gekeken naar de mogelijkheid om verschillende subformaties samen te voegen. Voor het wel of niet samenvoegen van formaties is gebruik gemaakt van een aantal criteria;

- de subformaties moeten in dezelfde geologische hoofdformatie voorkomen;
- de mediane en gemiddelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten mogen niet teveel van elkaar afwijken;
- Daarnaast is rekening gehouden met de grondsoort van de subformaties. Zo wordt er bij de eolische afzettingen onderscheid gemaakt tussen zandgronden en lössgronden;
- Als laatste is een T-toets uitgevoerd om bovenstaande keuzes te kunnen verantwoorden. Het probleem hierbij is echter dat voor een groot aantal subformaties te weinig waarnemingen beschikbaar zijn, waardoor het resultaat van de T-toets onbetrouwbaar wordt. Om deze reden zijn de uitkomsten van de T-toets niet doorslaggevend geweest om bepaalde subformaties wel of niet samen te voegen.

3.3 Calibratie en validatie

De LSK-database is gebruikt voor het opstellen van regressievergelijkingen waarbij het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voorspeld wordt op basis van het humus- en lutumgehalte. In deze studie is er vanuit gaan dat er een lineair verband bestaat tussen het humus- en lutumgehalte en het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten. De regressievergelijking ziet er dan als volgt uit:

$$(Al+Fe)_{ox} = a * \%humus + b * \%lutum + c \quad (2)$$

Wanneer de regressiecoëfficiënten voor humus en/of lutum niet significant zijn ($P > 0,05$), wordt de lineaire regressievergelijking opnieuw bepaald met alleen het lutum- of humusgehalte. Vervolgens zijn de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten en is de relatie (R^2) tussen beide parameters bepaald.

De BIS-database (BIS-100 en BIS_totaal) wordt vervolgens gebruikt om de lineaire regressievergelijkingen met bijbehorende parameters voor de verschillende grondsoorten en geologische formaties te valideren. Vervolgens is de relatie tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten bepaald.

Op basis van de calibratie en validatie kan beoordeeld worden of het zinvol is om de lineaire regressievergelijking toe te passen voor het schatten van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Wanneer een ‘zwakke’ relatie gevonden wordt tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten, is het niet zinvol om de regressievergelijking toe te passen.

Voor het wel of niet toepassen van de regressievergelijkingen is het volgende criterium gebruikt:

- De relatie tussen de gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de calibratie en validatie moet 'sterk' zijn. In deze studie betekent dit een R^2 van minimaal 0,50.

Wanneer een 'zwakke' of 'matige' correlatie gevonden wordt ($R^2 < 0,50$), wordt de regressievergelijking niet toegepast. Voor grondsoorten en geologische formaties die niet aan het gestelde criterium voldoet, worden de mediane $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten van metingen uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m-mv}$ gebruikt.

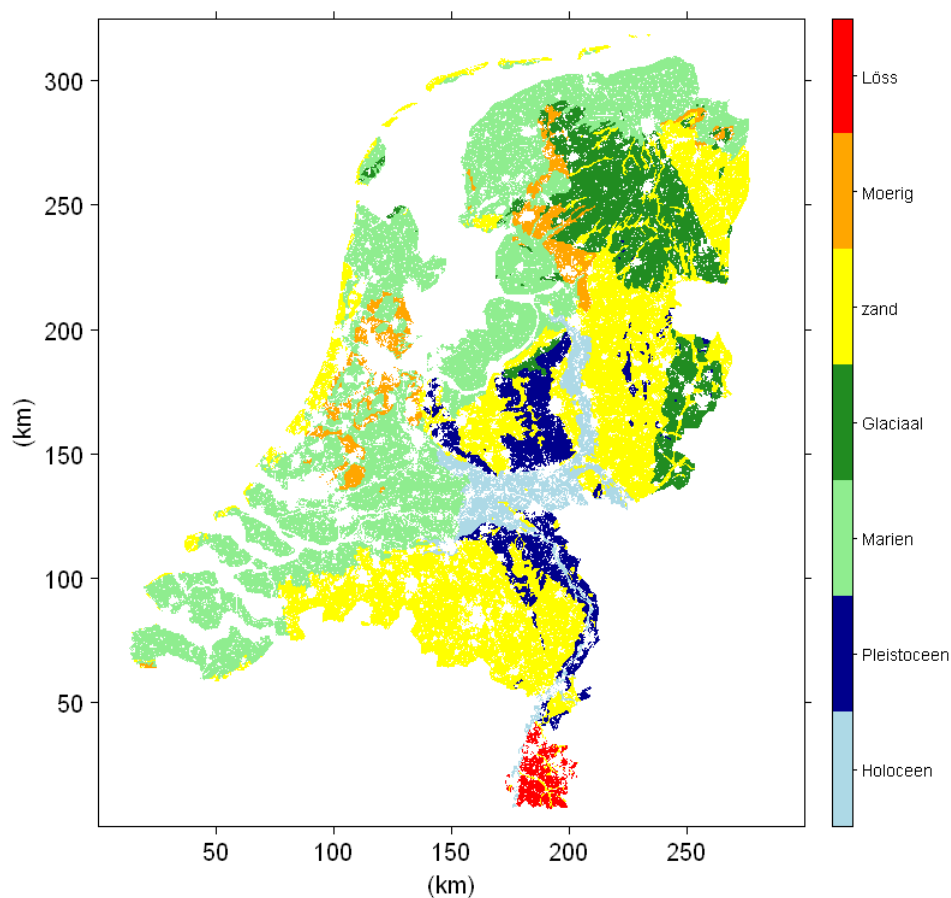
3.4 STONE-schematisering

Ook de STONE-plots kunnen worden ingedeeld op basis van de grondsoort en geologische formatie. De indeling op basis van grondsoort kan 1 of 1 worden overgenomen, de indeling op basis van de geologische formatie kan echter niet direct gemaakt worden. Om tot een indeling te komen zijn de hydrotypen, die per plot bepaald zijn, vertaald naar geologische formatie. In Tabel 5 zijn de hydrotypen weergegeven met bijbehorende vertaling naar geologische formatie.

Tabel 5. Hydrotipe binnen de STONE-schematisering.

Hydrotipe	Geologische formatie
Betuwe komgronden	Fluviatiel Holocene afzetting
Betuwe stroomruggronden	Fluviatiel Holocene afzetting
Dekzand profiel	Eolische zandafzetting
Duinstrook	Eolische zandafzetting
Eem en/of Keileemprofiel	Eolische zandafzetting
Keileem profiel	Glaciale afzetting
Keileem-Peeloo profiel	Glaciale afzetting
Löss profiel	Eolische lössafzetting
Nuenengroep profiel	Eolische zandafzetting
Oost-Nederland profiel	Glaciale afzetting
Open Profiel	Fluviatiel Pleistocene afzetting
Peeloo profiel	Eolische zandafzetting
Singraven-beekdalen	Eolische zandafzetting
Stuwwallen	Fluviatiel Pleistocene afzetting
Tegelen/Kedichem profiel	Eolische zandafzetting
Westland-C profiel	Mariene afzetting
Westland-DC profiel	Mariene afzetting
Westland-DHC profiel	Mariene afzetting
Westland-DH profiel	Mariene afzetting
Westland-D profiel	Mariene afzetting
Westland-HC profiel	Veen
Westland-H profiel	Veen

In Figuur 4 is de ruimtelijke verdeling van de geologische formaties over Nederland weergegeven.



Figuur 4. Ruimtelijke verdeling van de geologische formaties over Nederland.

De verdeling van de STONE-plots over de verschillende geologische formaties is in Tabel 6 weergegeven.

Tabel 6 Verdeling van de STONE-plots over de verschillende geologische formaties.

Geologische formatie	Aantal plots	%
Moerige afzettingen	250	4
Mariene afzettingen	2055	32
Fluviatiel Holocene afzettingen	415	6
Fluviatiel Pleistocene afzettingen	378	6
Eolische zandafzettingen	2343	37
Eolische lössafzettingen	20	0,3
Glaciale afzettingen	944	15

70% van de STONE-plots wordt als een mariene- of eolische zandafzetting geclassificeerd. Ook het aantal plots met een glaciale afzetting is groot (15%). De overige formaties komen maar beperkt voor.

De verdeling van de STONE-plots over de geologische formaties beïnvloed voor een belangrijk deel het resultaat wanneer de geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots vergeleken worden met de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de LSK-database. Wanneer de regressievergelijkingen voor de mariene en eolische zandgronden namelijk niet aan het criterium voldoen worden voor deze afzettingen de mediane waarden uit de LSK-database gebruikt. Dit betekent dan dat aan ongeveer 70% van de STONE-plots een $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte wordt toegekend dat gelijk is aan de mediane waarden uit de LSK-database. Binnen een geologische formatie wordt aan de STONE-plots dan ook dezelfde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten toegekend, waardoor er binnen de geologische afzettingen geen regionale verschillen ontstaan.

4 Resultaten

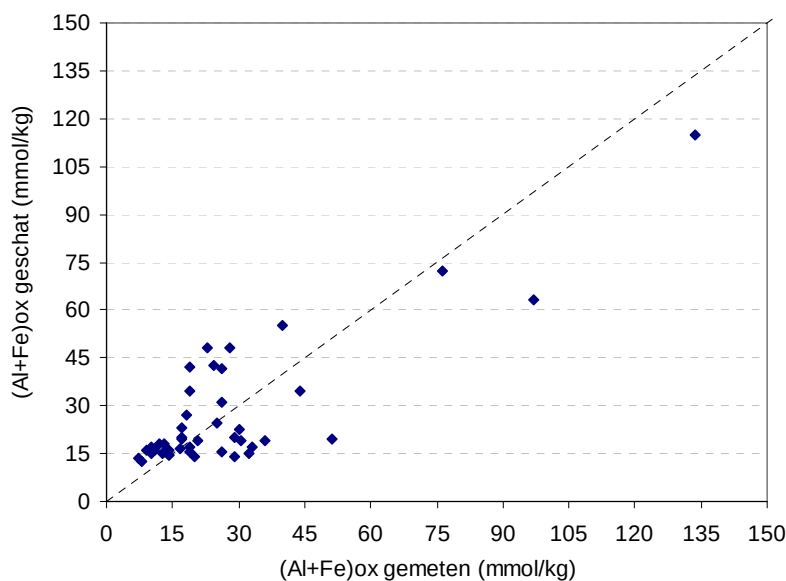
4.1 Calibratie

4.1.1 Grondsoort

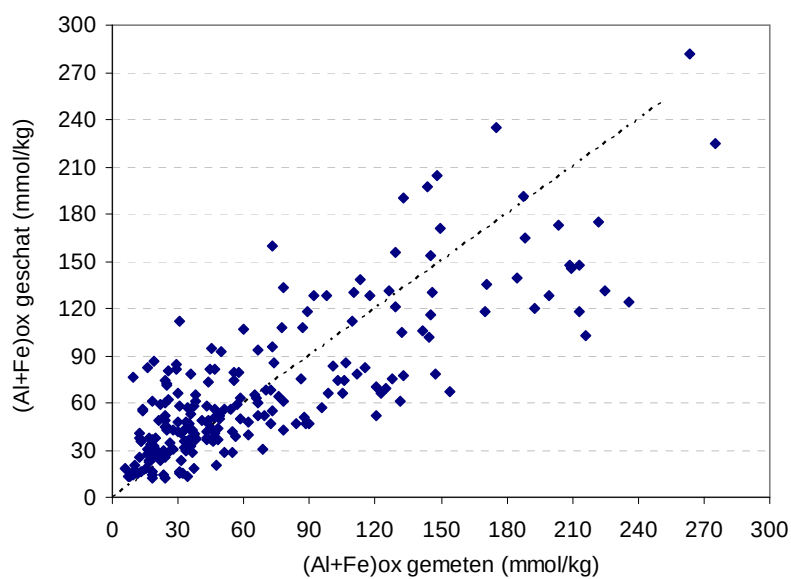
Met behulp van de LSK-database zijn regressievergelijkingen opgesteld om het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de Nederlandse ondergrond te schatten voor 4 grondsoorten waarbij gebruik gemaakt is van lineaire regressievergelijkingen.

Uit de analyse van de regressiecoëfficiënten blijkt dat het lutumgehalte voor zandgronden geen significante rol speelt ($P > 0,05$). Bij leemgronden is het humusgehalte niet significant.

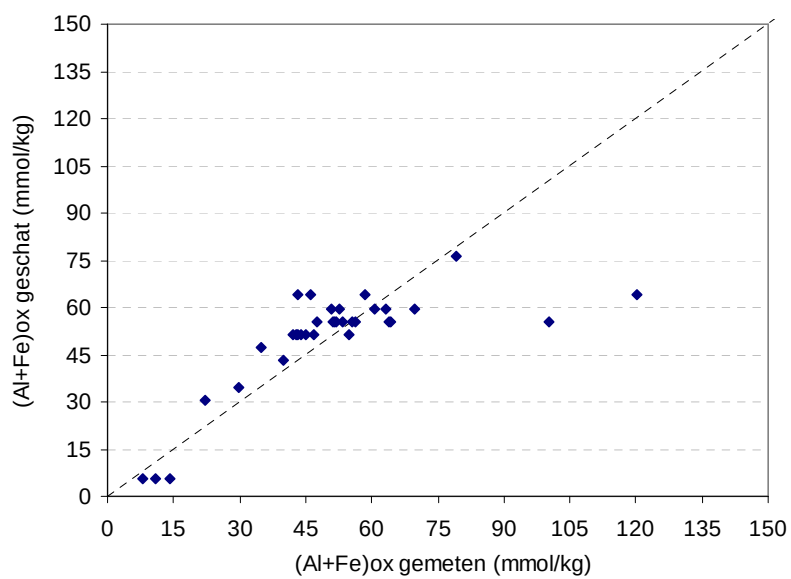
In Figuur 5 t/m 9 staan per grondsoort de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten (mmol kg^{-1}) uitgezet tegen de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten die, op basis van het lutum- en/of humusgehalte, voorspeld worden, Tabel 7 geeft de gehanteerde regressieparameters.



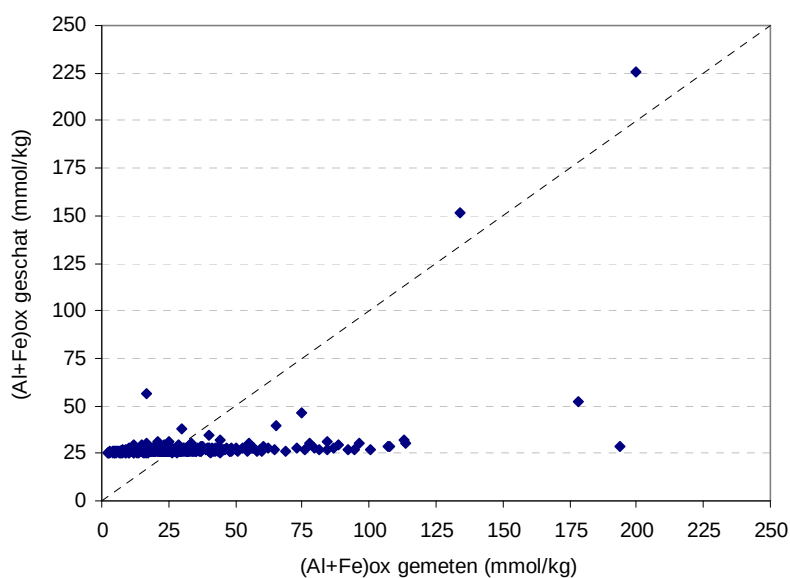
Figuur 5. Gemeten en geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten (mmol kg^{-1}) voor de ondergrond in veengronden



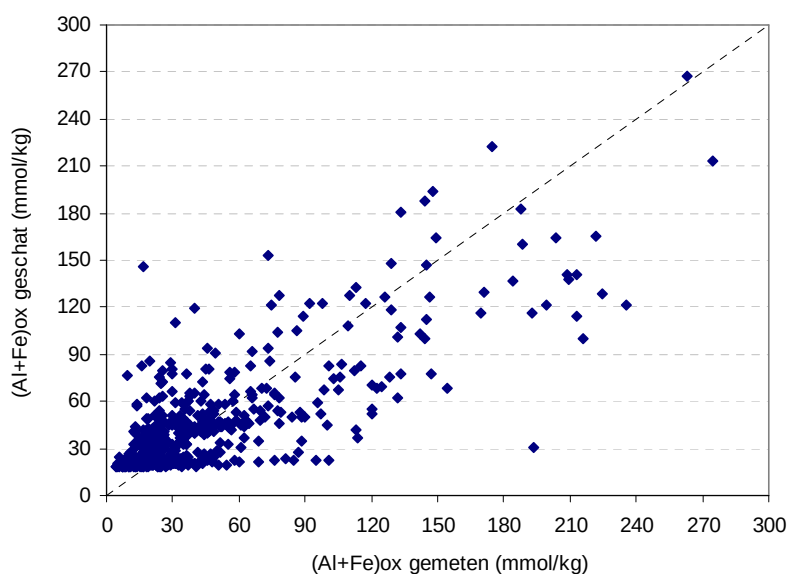
Figuur 6. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in kleigronden.



Figuur 7. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in leemgronden.



Figuur 8. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in zandgronden.



Figuur 9. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond voor Nederland.

In Tabel 7 staan per grondsoort de regressiecoëfficiënten van de regressievergelijking en de R^2 weergegeven. Tevens staan het aantal monsterpunten weergegeven waarmee de regressievergelijking uiteindelijk bepaald is.

Tabel 7. Aantal waarnemingen, regressiecoëfficiënten en R^2 per grondsoort.

Coëfficiënt	Veengrond	Kleigrond	Leemgrond	Zandgrond	Nederland
Aantal	44	218	34	417	563
a	7,61	8,99	-	2,11	8,36
b	1,99	1,38	4,15	-	1,21
c	7,65	8,04	1,61	25,18	14,98
R^2	0,70	0,66	0,55	0,24	0,63

Voor klei- veen- en leemgronden wordt een ‘sterke’ relatie gevonden ($R^2 > 0,50$) tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten en voldoen dus aan het gestelde criterium. Bij leemgronden lijkt het verband tussen het lutum- en $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten echter niet lineair. Wanneer echter de twee waarnemingen met een hoog $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten worden weggelaten, wordt er wel een lineair verband gevonden. Voor zandgronden wordt een ‘zwakke’ relatie gevonden ($R^2 = 0,24$). Bij veengronden moet echter een kanttekening geplaatst worden. De ‘sterke’ relatie wordt voornamelijk bepaald door de 3 waarnemingen met een hoog $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten (figuur 5). Wanneer deze waarnemingen worden weggelaten, wordt een ‘zwakke’ relatie gevonden ($R^2 = 0,15$). Bij zandgronden geldt min of meer hetzelfde. Wanneer de 2 waarnemingen met een hoog voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten worden weggelaten, wordt een R^2 van 0,18 gevonden.

Voor de veen- en leemgronden geldt daarnaast dat het aantal waarnemingen beperkt is t.o.v. het aantal waarnemingen in zand- en kleigronden.

4.1.2 Geologische formatie

De kaartenheden kunnen ook ingedeeld worden op basis van de geologische formatie. Allereerst is gekeken naar de mogelijkheid om de verschillende subformaties samen te voegen op basis van de criteria die beschreven zijn in paragraaf 3.2.2. Uiteindelijk blijven er een zevental groepen over, waarvoor voldoende informatie beschikbaar blijft om een regressieanalyse te kunnen uitvoeren. In Tabel 8 staan per groep het aantal waarnemingen voor de verschillende databases weergegeven.

Tabel 8. Aantal waarnemingen per geologische eenheid voor de verschillende databases

Geo-code	Geologische afzetting	Aantal LSK	Aantal BIS_100	Aantal BIS_totaal
100	Moerige gronden	37	2	59
211 + 212	Marien	145	11	72
321 + 322	Fluviatiel (Holocene)	47	-	31
330 t/m 332	Fluviatiel (Pleistoceen)	61	2	18
410 t/m 413	Eolische (zand)	456	51	157
421	Eolische (löss)	30	4	33
510 + 520	Glaciaal	52	10	37
Totaal		828	80	407

In Tabel 9 zijn voor de verschillende geologische formaties de mediaan, 10-percentiel en 90-percentiel gegeven voor het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte, lutum- en humusgehalte. De overige geologische formaties worden in dit rapport verder niet behandeld.

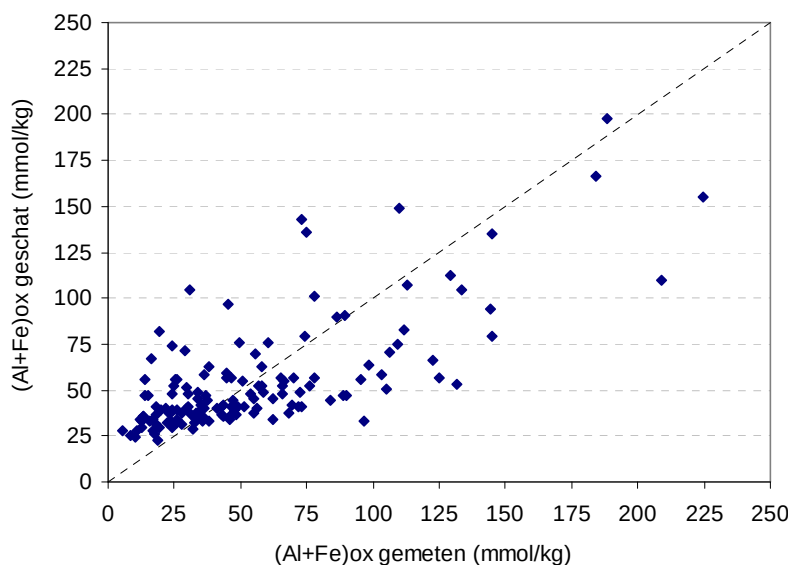
Tabel 9. Mediaan, 10-percentiel en 90-percentiel voor metingen uit LSK en BIS met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv per geologische formatie.

	Moerig		Marien		Holoceen		Pleistoceen		Zand		Löss		Glaciaal	
$(Al+Fe)_{ox}$	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>	<i>LSK</i>	<i>BIS</i>
mediaan	178	68	43	20	101	-	19	24	17	25	51	51	31	36
10-percentiel	37	66	16	11	18	-	8	9	8	12	39	36	18	31
90-percentiel	280	70	110	95	206	-	44	39	40	86	65	105	48	59
Lutum														
mediaan	5,0	3,9	17,0	8,9	35,5	-	1,0	2,9	2,0	3,3	13,0	20,1	12,0	15,4
10-percentiel	5,0	2,7	8,1	2,1	11,2	-	1,0	2,8	1,0	1,6	10,9	18,6	1,0	8,1
90-percentiel	5,0	5,1	30,0	30,1	55,0	-	6,5	3,0	3,0	5,4	15,0	20,9	14,1	19,6
Humus														
mediaan	60,0	15,0	2,0	0,9	3,2	-	0,6	0,2	0,5	0,3	1,7	0,1	1,1	0,1
10-percentiel	18,6	11,1	0,9	0,2	0,7	-	0,3	0,2	0,3	0,1	1,5	0,0	0,6	0,0
90-percentiel	84,8	10,1	6,3	2,0	11,3	-	1,4	0,2	1,1	2,4	1,9	0,2	1,4	0,3

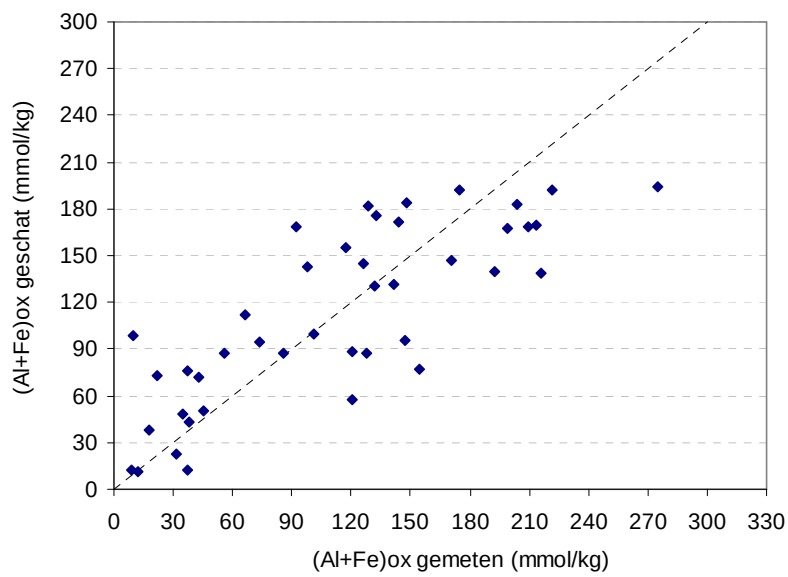
De verschillen in $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten per geologische formatie tussen de LSK- en BIS-database is groot. Ook de variatie in lutum- en humusgehalte is aanzienlijk. Voor de fluviatiel holocene en pleistocene afzettingen zijn in de BIS-database weinig of geen waarnemingen beschikbaar.

Per geologische formatie zijn lineaire regressievergelijkingen opgesteld. Voor moerige gronden blijkt zowel het humusgehalte als het lutumgehalte niet significant te zijn, waardoor voor deze afzetting geen regressievergelijking opgesteld kan worden.

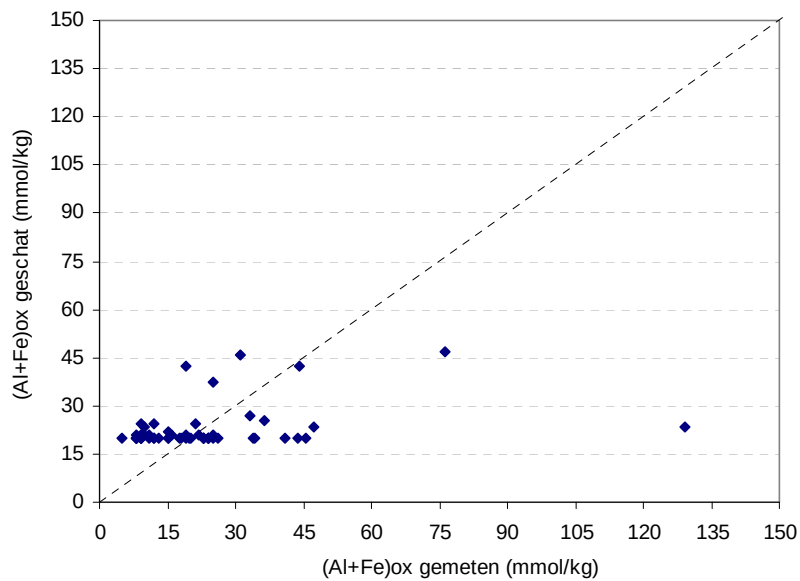
In Figuur 10 t/m 15 zijn voor de overige formaties de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uitgezet tegen de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten.



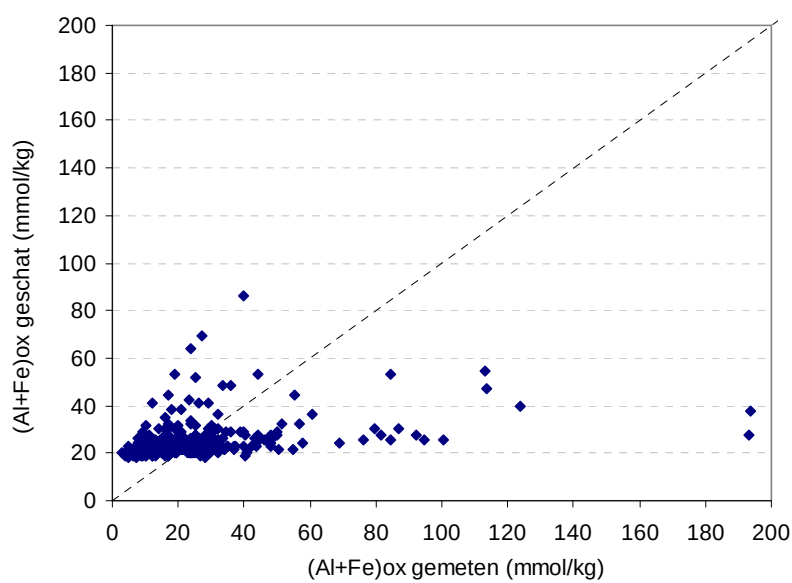
Figuur 10. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in mariene afzettingen.



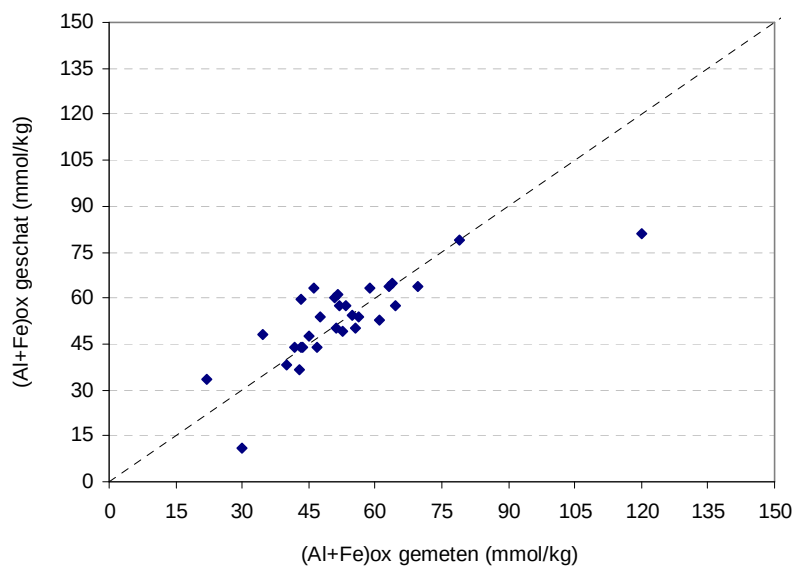
Figuur 11. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in fluviaal holocene afzettingen.



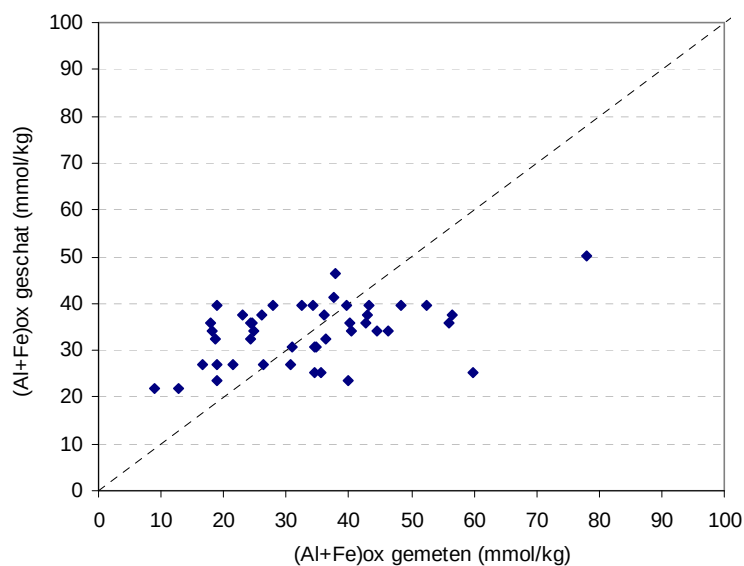
Figuur 12. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in fluviaal pleistocene afzettingen.



Figuur 13. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in eolische zandafzettingen..



Figuur 14. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in eolische lössafzettingen.



Figuur 15. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in glaciële afzettingen.

In Tabel 10 staan voor de geologische formaties de regressiecoëfficiënten en de R^2 gegeven. Tevens zijn het aantal monsterpunten gegeven waarmee de regressievergelijking bepaald is en de mediane waarden van het lutumgehalte.

Tabel 10. Regressiecoëfficiënten en R^2 voor de verschillende geologische afzettingen.

Coëfficiënt	Marien	Fluviatiel (Holoceen)	Fluviatiel (Pleistoceen)	Eolisch (zand)	Eolisch (löss)	Glaciaal
Aantal waarnemingen	143	42	56	341	30	45
a	11,27	4,76	-	12,17	36,32	17,74
b	-	2,36	1.18	-	2.80	-
c	21.95	6,64	18.58	16,74	-44,37	14,64
R^2	0,53	0,65	0,11 (0.24)	0,12	0.62	0.22
lutumgehalte (%)	18	36	1,0	1,0	13	12

De relatie tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten is het grootst is voor geologische afzettingen met een hoog lutumgehalte en het laagste voor de afzettingen met een laag lutumgehalte. Voor mariene-, fluviatiel holocene- en eolische lössafzettingen wordt een R^2 gevonden $> 0,50$. De relatie voor de overige geologische formaties is 'zwak' ($R^2 < 0,50$).

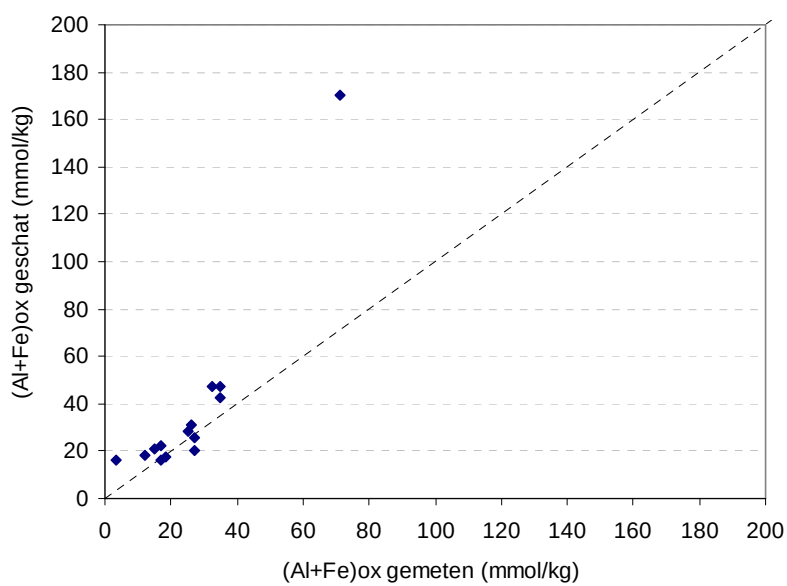
Voor eolische lössafzettingen wordt een negatieve waarde voor parameter c berekend. Bij het toepassen van de regressievergelijking kunnen hierdoor negatieve waarden verkregen worden, waardoor de regressievergelijking in een aantal gevallen waarschijnlijk niet kan worden toegepast.

4.2 Validatie

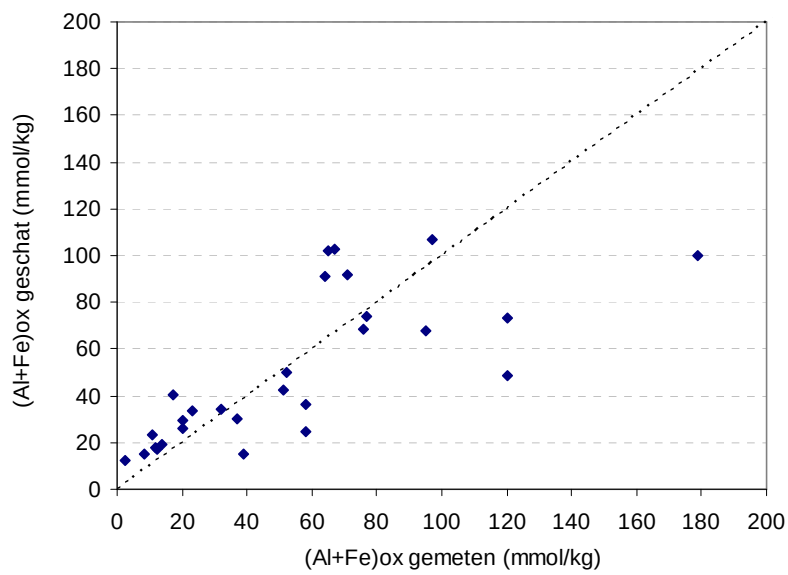
In paragraaf 4.1 zijn lineaire regressievergelijkingen opgesteld, waarmee het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte in de ondergrond geschat kunnen worden op basis van lutum- en/of humusgehalte. Hierbij is gebruik gemaakt van de LSK-database. Vervolgens kunnen de regressievergelijkingen per grondsoort en geologische formatie gevalideerd worden door gebruik te maken van de BIS-database.

4.2.1 Grondsoort

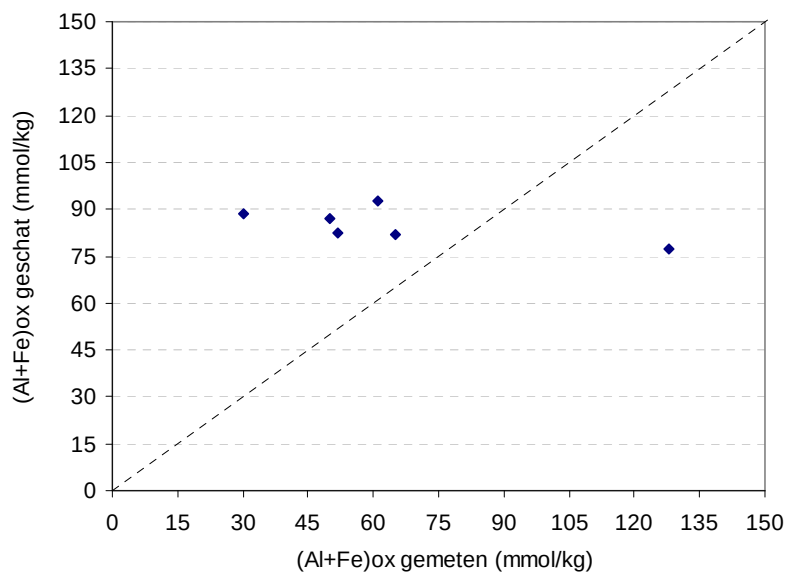
In Figuur 16 t/m 20 zijn per grondsoort de voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uitgezet tegen de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit BIS_100.



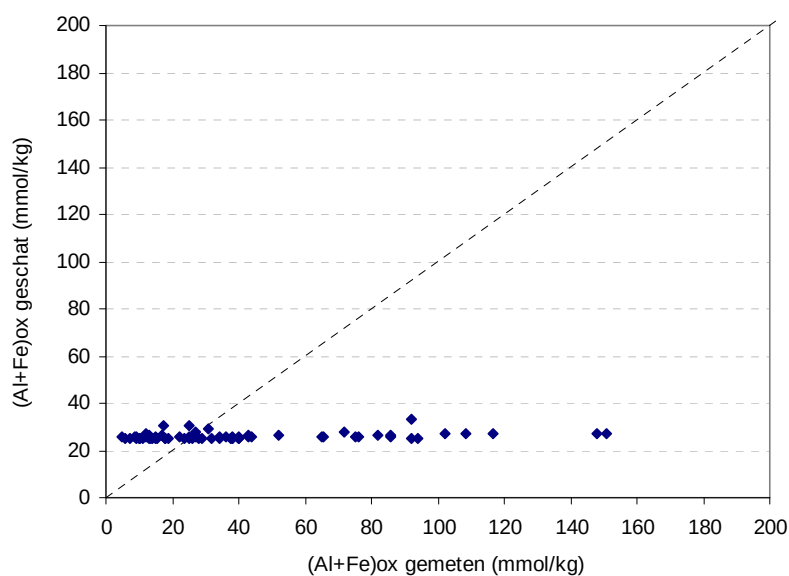
Figuur 16. Gemeten en geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten (mmol kg^{-1}) voor de ondergrond in veengronden.



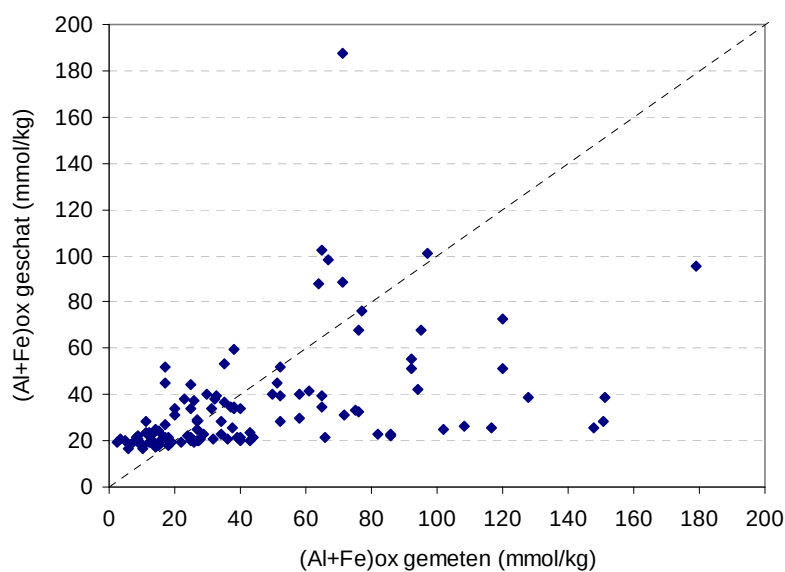
Figuur 17. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in kleigronden.



Figuur 18. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in leemgronden.



Figuur 19. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in zandgronden.



Figuur 20. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond voor Nederland.

De resultaten, waarbij geen rekening gehouden is met de bemonsteringsdiepte (BIS_totaal), staan in Bijlage 2. In Tabel 11 staat per grondsoort de R^2 weergegeven tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor BIS_100 en BIS_totaal. Daarnaast is voor de volledigheid ook de R^2 gegeven voor de voorspelde en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in LSK_100.

Tabel 11. R^2 tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten per grondsoort met behulp van de opgestelde regressievergelijkingen.

	LSK_100	BIS_100	BIS_totaal
Zandgrond	0,24	0,09	0,04 (0,24)
Veengrond	0,70	0,85 ¹	0,67
Kleigrond	0,66	0,55	0,38
Leemgrond	0,55	0,70 ¹	0,11 ¹
Nederland	0,63	0,20	0,32

¹ onbetrouwbaar door het geringe aantal waarnemingen

Zandgronden

Voor zandgronden wordt een (zeer) ‘zwakke’ relatie gevonden tussen de voorspelde en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten. Dit geldt zowel voor BIS_100 als BIS_totaal.

Uit figuur 19 valt op dat de spreiding van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten zeer gering is. De geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten liggen allemaal onder de 35 mmol kg⁻¹, terwijl dit voor de gemeten waarnemingen maar voor 60% is. Het toepassen van de regressievergelijking voor zandgronden resulteert voornamelijk tot een onderschatting van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten.

Veengronden

De relatie tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor BIS_100 op veen is ‘sterk’ ($R^2 = 0,85$). Hierbij moet echter opgemerkt worden dat het aantal metingen (14) vrij beperkt is.

Kleigronden

Ook voor kleigronden wordt een ‘sterke’ relatie gevonden tussen de voorspelde en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit BIS_100. De correlatie tussen de voorspelde en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte uit de BIS_totaal is beduidend lager dan voor BIS_100.

Leemgronden

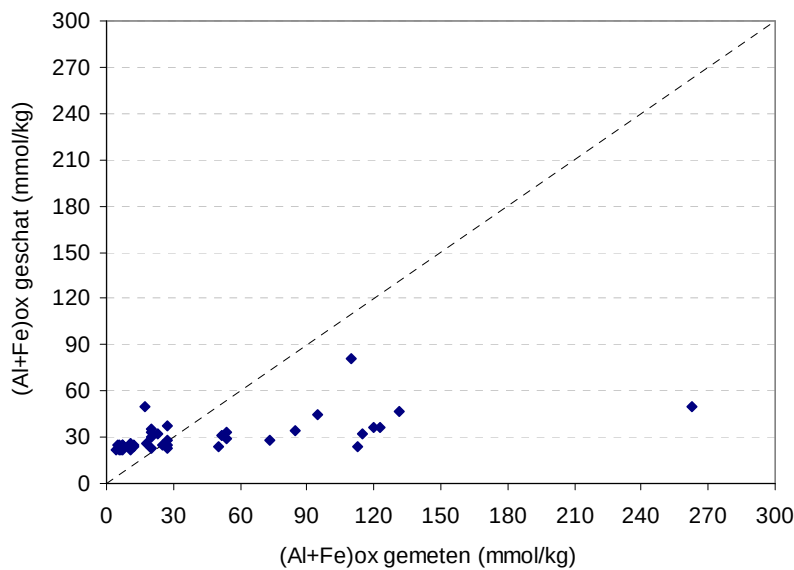
De correlatie tussen de voorspelde en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit BIS_100 is ‘sterk’ ($R^2 = 0,70$). Ook hierbij geldt dat het aantal waarnemingen beperkt is voor een betrouwbare validatie.

Nederland

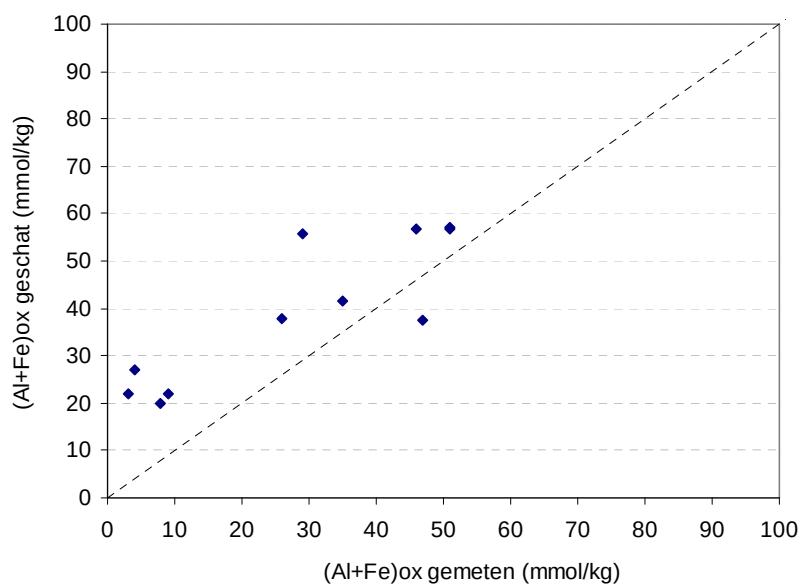
Uit Figuur 20 blijkt dat voor locaties met een hoog gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten (voornamelijk zandgronden) te laag zijn. De R^2 tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor BIS_100 is beduidend lager dan de R^2 die gevonden wordt voor LSK_100. Dit kan deels verklaard worden doordat de verdeling van de monsterpunten over de verschillende grondsoorten tussen beide databases verschillend is. 47% van de monsterpunten uit de LSK-database liggen in zandgronden, terwijl dit percentage in de BIS-database 58% bedraagt. Aangezien de relatie tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor zandgrond ‘zwak’ tot zeer ‘zwak’ is, heeft dit effect op de correlatie tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de totale database.

4.2.2 Geologische formatie

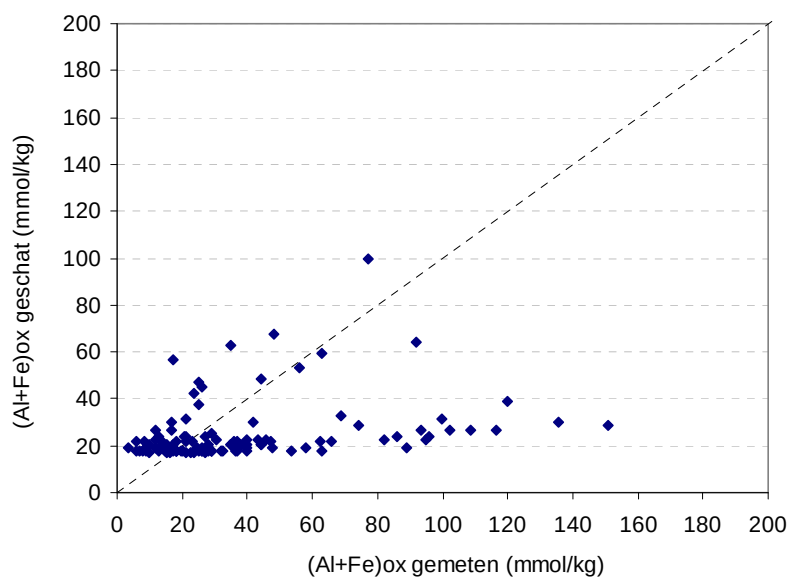
De waarnemingen uit LSK_100 zijn ook ingedeeld op basis van de geologische afzetting. Dezelfde indeling is toegepast op de BIS_100 database. Er zijn voor de meeste subformaties echter maar een beperkt aantal waarnemingen beschikbaar. Voor de fluviatiel holocene afzettingen zijn in BIS_100 zelfs geen waarnemingen beschikbaar. Daarom is er voor gekozen om ook waarnemingen te gebruiken waarbij de bemonsteringsdiepte < 1,0m-mv bedraagt (BIS_totaal). De correlatie tussen de gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit BIS_totaal zijn in onderstaande Figuren 21 t/m 25 weergegeven. In Bijlage 2 staan de correlaties, voor zover aanwezig, voor BIS_100 weergegeven.



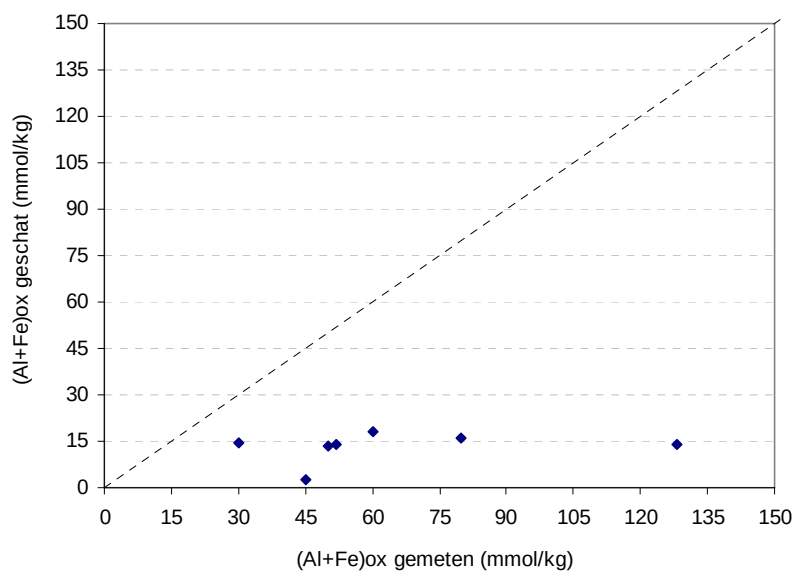
Figuur 21. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in mariene afzettingen.



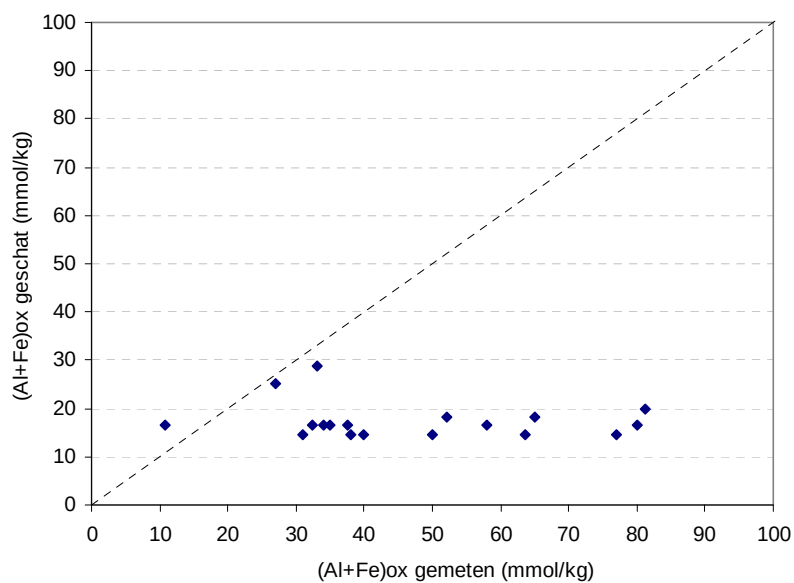
Figuur 22. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in fluviaal pleistocene afzettingen.



Figuur 23. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in eolische zandafzettingen.



Figuur 24. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in eolische lössafzettingen.



Figuur 25. Gemeten en geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) voor de ondergrond in eolische lössafzettingen.

Het toepassen van de regressievergelijkingen per geologische formatie op de BIS-database resulteert over het algemeen tot een lagere R^2 tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten (Tabel 12).

Tabel 12. R^2 per geologische afzettingen voor de verschillende databases.

	LSK_100	BIS_100	BIS_totaal
Marien	0,53	0,18 (0,52)	0,35
Fluviatiel holocene	0,65	-	-
Fluviatiel pleistoceen	0,11 (0,24)	-	0,75
Eolisch zand	0,12	0,08	0,10
Eolisch löss	0,62	0,04	0,05
Glaciaal	0,22	0,05	0,03

Uit de tabel blijkt dat geen van de formaties (m.u.v. Fluviatiel Pleistocene afzettingen in BIS_totaal) voldoet aan het criterium ($R^2 > 0,50$). Door het geringe aantal waarnemingen is de relatie tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten echter gevoelig voor waarnemingen met afwijkende $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte, lutum- en/of humusgehalten. De correlatie tussen gemeten en voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in mariene afzettingen neemt toe van 0,18 naar 0,52 nadat 1 waarneming, met een humusgehalte van 2,5 is verwijderd. Vervolgens wordt dan ook aan het gestelde criterium voldaan. Voor fluviatiel holocene en pleistocene afzettingen zijn in BIS_100 te weinig metingen beschikbaar, waardoor het niet mogelijk is de regressievergelijkingen voor deze geologische formatie te valideren. Opvallend is de lage R^2 voor de eolische lössafzettingen voor de validatie aangezien bij de calibratie een R^2 van 0,62 wordt verkregen. De lage R^2 wordt voornamelijk veroorzaakt doordat het humusgehalte van de locaties uit de BIS_99 (4 waarnemingen!) beduidend lager is dan het humusgehalte voor de metingen in de LSK-database. Voor een aantal locaties is het humusgehalte zelfs 0. Bovendien zijn er echter maar 4 waarnemingen waardoor de validatie niet betrouwbaar is.

4.3 Synthese

Grondsoort

Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat voor klei, leem- en veengronden zowel bij de calibratie als bij de validatie een 'sterke' relatie tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gevonden wordt. De opgestelde regressievergelijkingen met bijbehorende regressiecoëfficiënten voldoen aan het criterium ($R^2 > 0,50$) en kunnen dus gebruikt worden voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de STONE-plots. Kanttekening hierbij is echter het kleine aantal waarnemingen voor leem- en veengronden in de BIS_100 database, waardoor de betrouwbaarheid van de validatie beperkt is.

Voor zandgronden wordt een 'zwakke' relatie gevonden, waardoor het niet zinvol is om voor deze gronden de regressievergelijking toe te passen. Voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor STONE-plots met een zandprofiel wordt de mediaan van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte uit de LSK -database gebruikt.

Geologische formatie

Het aantal waarnemingen voor een aantal geologische formaties is (te) beperkt om een (betrouwbare) validatie uit te voeren. Voor het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten van de STONE-plots in mariene en fluviatiel holocene afzettingen worden de regressievergelijkingen toegepast. Hierbij moeten echter de volgende opmerkingen geplaatst worden:

- De regressievergelijking voor fluviatiel holocene afzettingen is niet gevalideerd;
- De R^2 tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor mariene afzettingen bij de validatie ($R^2 = 0,18$) voldoet niet aan het gestelde criterium. Wanneer echter 1 waarneming wordt verwijderd wordt wel voldaan aan het criterium, $R^2 = 0,52$ voor mariene afzettingen.

Voor het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots op basis van de geologische formatie is gekozen voor onderstaande methode:

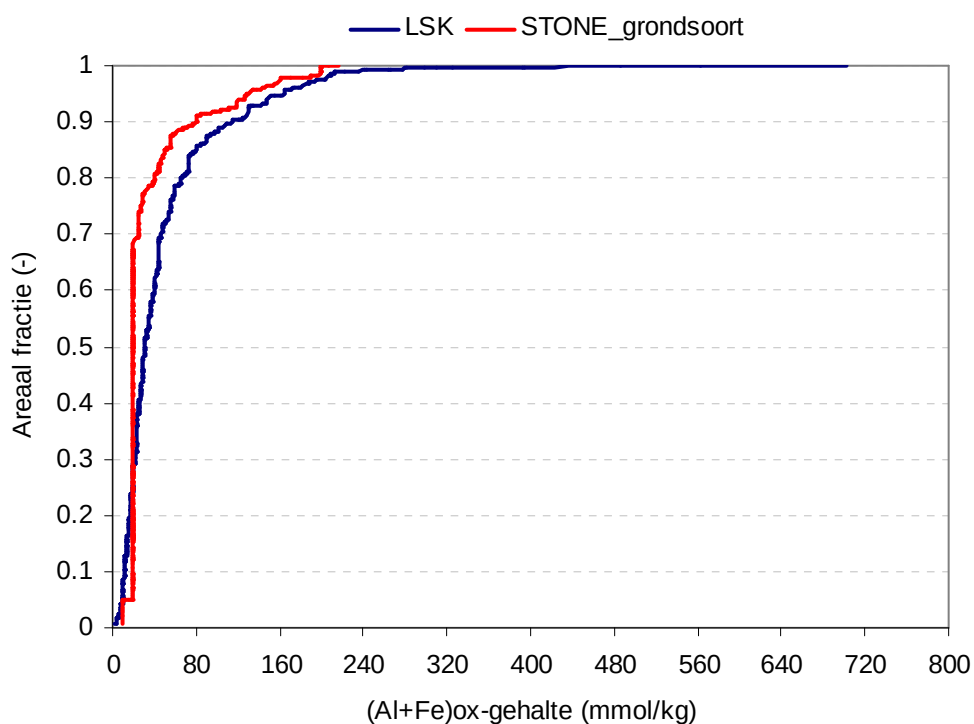
- 1) Toepassen van de regressievergelijkingen:
 - Mariene afzettingen
 - Fluviatiel Holocene afzettingen
- 2) Mediaan van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK+BIS-database:
 - Fluviatiel Pleistocene afzettingen
 - Eolische zandafzettingen
 - Glaciale afzettingen.
 - Eolische lössafzettingen

5 STONE-schematisering

In hoofdstuk 4 zijn regressievergelijkingen opgesteld met behulp van de LSK-database en vervolgens gevalideerd door gebruik te maken van de BIS-database. Hieruit is gebleken dat voor aantal grondsoorten en geologische formaties een ‘sterke’ relatie wordt gevonden tussen het humus- en/of lutumgehalte en het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte. In dit hoofdstuk worden de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte in de ondergrond voor de STONE-plots opnieuw geschat door gebruik te maken van de regressievergelijkingen of de mediaan uit de LSK-database, waarbij de methode is toegepast zoals in paragraaf 4.3 is gegeven. Bij het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten is gebruik gemaakt van de ‘nieuwe’ organisch stofgehalten in de STONE-schematisering (Bockel, 2009).

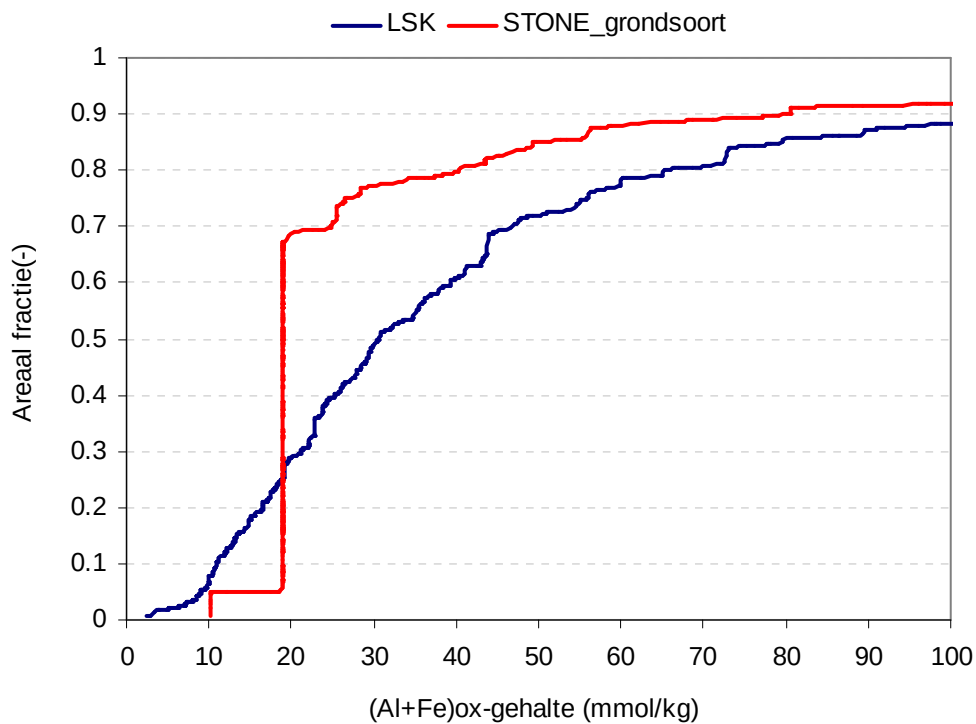
5.1 Grondsoort

De STONE-plots zijn verdeeld in 3 grondsoorten te weten: zandgrond, veengrond en kleigrond, waarbij de lössgronden tot de kleigronden worden gerekend. Voor alle plots zijn het lutum- en humusgehalte bekend. Voor de zandgronden wordt de mediaan gebruikt uit de LSK-database (mediaan = 19 mmol kg^{-1}). Voor de klei- en veengronden kunnen de regressievergelijkingen wel worden toegepast. Bij het toepassen van de regressievergelijking blijkt echter dat onrealistische $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten geschat worden bij hoge organisch stofgehalten ($> 20\%$). Bij het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor deze plots is het organisch stofgehalte op 20% gezet. In Figuur 26 is de cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de STONE-plots voor de laag tussen 1-2m-mv vergeleken met de cumulatieve frequentieverdeling van de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m-mv}$.



Figuur 26. Cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 1-2m-mv en de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0m-mv$.

De cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 1 en 2m-mv komt aardig overeen met de cumulatieve frequentieverdeling voor de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de database. In de nieuwe schematisering heeft 72% een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten lager dan 50 mmol kg^{-1} , in de LSK-database heeft 77% van de meetpunten een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten lager dan 50 mmol kg^{-1} . In Figuur 27 wordt ingezoomd op het eerste gedeelte van de curve.

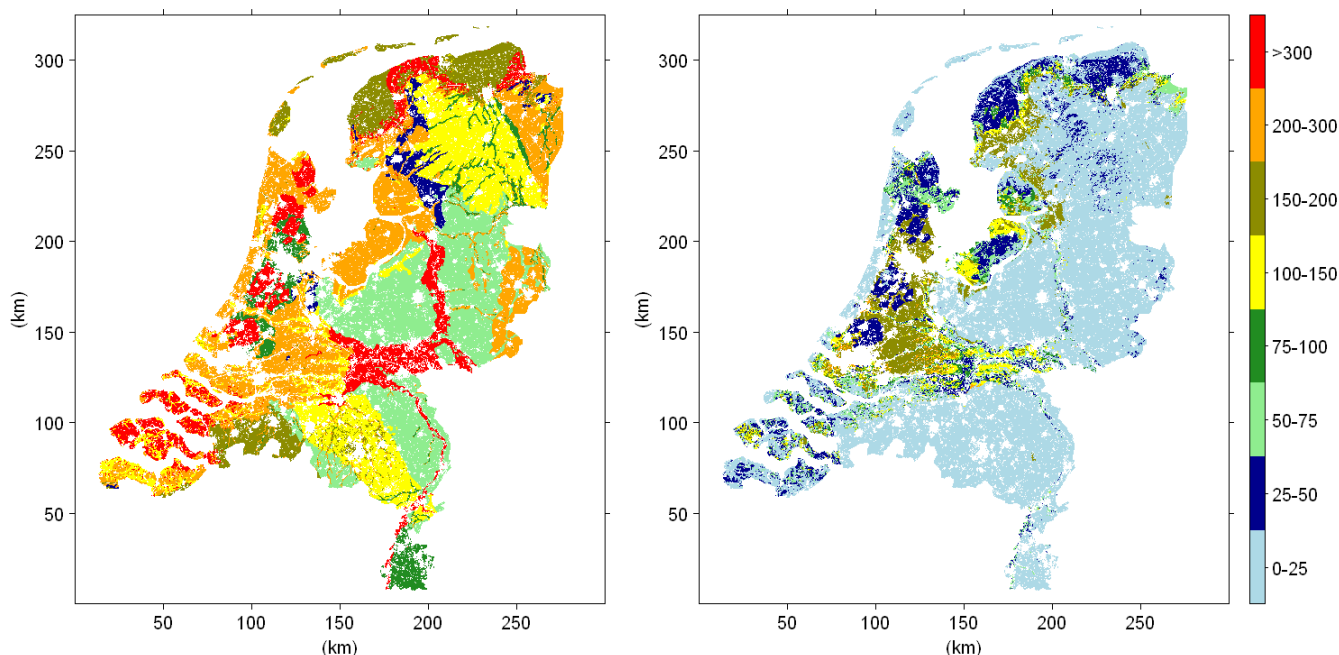


Figuur 27. Cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 1-2m-mv en de gemeten $(AL+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv.

Uit de Figuur blijkt dat het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten aardig goed overeen komt.

In Bijlage 3 staan de cumulatieve frequentieverdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten weergegeven voor de overige lagen.

In figuur 28 is de ruimtelijke verdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor Nederland weergegeven in de huidige schematisering en voor de nieuwe situatie.



Figuur 28. Ruimtelijke verdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) in de ondergrond (1-2m-mv) in de huidige STONE-schematisering (links) en de nieuwe schematisering (rechts).

Uit de Figuur blijkt dat er de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de nieuwe schematisering significant lager zijn. Dit geldt voornamelijk voor Noord- en Zuidwest Nederland, waar in de 'oude' schematisering gehalten van meer dan $150\ mmol\ kg^{-1}$ veelvuldig voorkomen. In de 'nieuwe' schematisering zijn er nagenoeg geen gebieden met een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten hoger dan $150\ mmol\ kg^{-1}$, m.u.v. de veengebieden. De gebieden met een hoog $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten zijn de veengebieden en het rivierengebied. De ruimtelijke verdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in Nederland voor de overige lagen staan in Bijlage 4.

5.2 Geologische formatie

De STONE-plots zijn ook ingedeeld op basis van de geologische formatie. Plots met het hydrotype Westland HC- en H zijn als moerige afzettingen gekarakteriseerd. Voor moerige afzettingen (Geo-code 100) is geen regressievergelijking opgesteld, omdat zowel het lutumgehalte als het humusgehalte niet significant blijkt te zijn. Voor het schatten van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor deze plots wordt de mediaan uit de LSK-database toegepast.

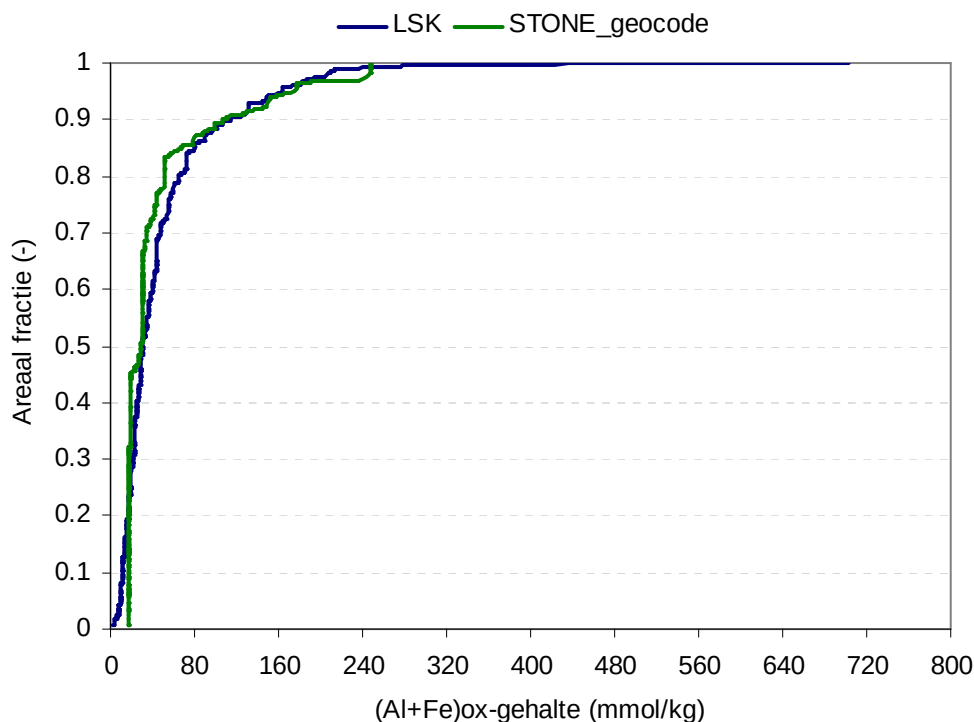
De regressievergelijkingen voor mariene- en fluviatiel holocene afzettingen voldoen aan de gestelde eisen en kunnen worden toegepast. Hierbij moet echter rekening worden gehouden met het feit dat de regressievergelijking voor de fluviatiel holocene afzettingen niet gevalideerd kon worden en voor mariene afzettingen 1 waarneming is weggelaten.

Voor fluviatiel pleistocene afzettingen, eolische zand en lössafzettingen en de glaciële afzettingen worden de mediane waarden uit de database gebruikt (Tabel 13).

Tabel 13 Mediane waarden voor de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 100cm-mv.

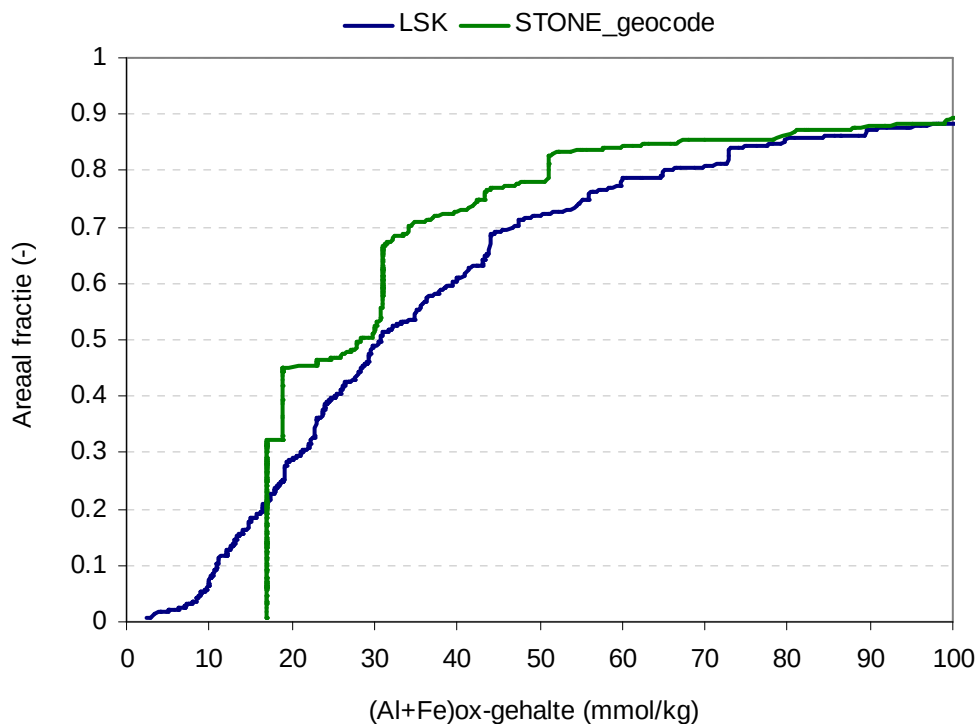
Geologische formatie	Aantal waarnemingen	Mediaan
Moerige afzettingen	37	178
Mariene afzettingen	145	43
Fluviatiel Holocene afzettingen	47	101
Fluviatiel Pleistocene afzettingen	61	19
Eolische zandafzettingen	456	17
Eolische lössafzettingen	30	51
Glaciale afzettingen	52	31

In Figuur 29 wordt de cumulatieve frequentieverdeling voor de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 1 en 2m-mv vergeleken met de cumulatieve frequentieverdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv.



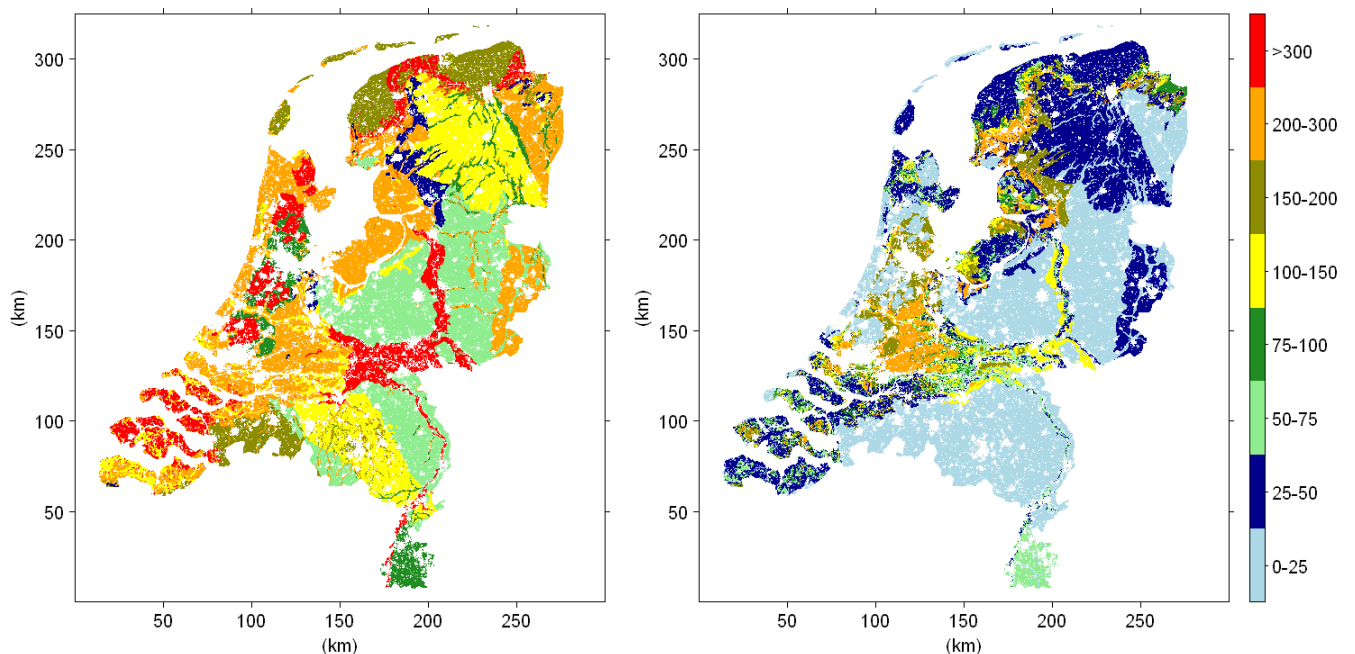
Figuur 29. Cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE-plots in de laag tussen 1-2m-mv en de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte > 1,0m-mv.

De frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten op basis van de geologische formatie komt aardig goed overeen met LSK. Bij het toepassen van de regressievergelijking voor STONE-plots met een humusgehalte > 20% is deze ook op maximaal 20% gezet. Net als bij de indeling op basis van de grondsoort hebben de meeste STONE-plots een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten lager dan 100 mmol kg^{-1} . In Figuur 30 is eveneens ingezoomd op het eerste gedeelte van de curve.



Figuur 30. Cumulatieve frequentieverdeling van de voorspelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de laag tussen 1-2m-mv en de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database met een bemonsteringsdiepte $> 1,0m$ -mv.

Ook in het traject tot 100 mmol kg^{-1} komen beide frequentieverdelingen aardig overeen. 70% van de STONE-plots heeft nu een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten $< 50 \text{ mmol}$, in de LSK-database is dit ongeveer 77%. In Figuur 31 is vervolgens weer de ruimtelijke verdeling van de huidige en nieuwe $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten weergegeven. In Bijlage 4 staan deze voor de overige lagen weergegeven.



Figuur 31. Ruimtelijke verdeling van de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten (mmol/kg) in de ondergrond (1-2m-mv) in de huidige STONE-schematisering (links) en de nieuwe schematisering (rechts) op basis van geologische formatie.

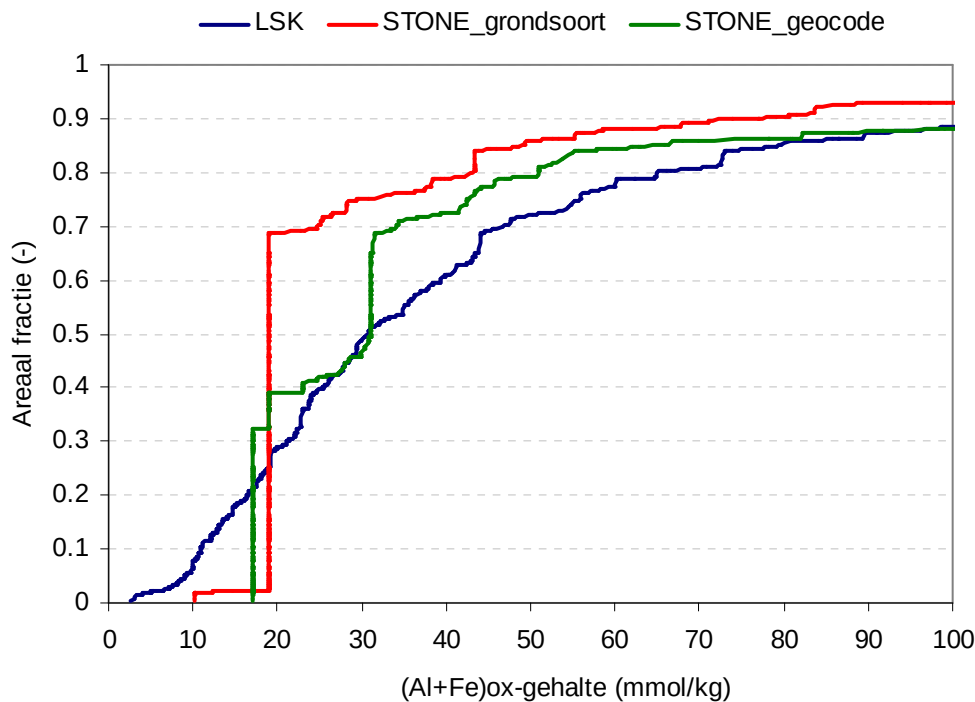
Uit bovenstaande figuren blijkt dat de geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de laag tussen 1 en 2m-mv met de opgestelde regressievergelijkingen significant lager zijn dan het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte in de huidige schematisatie. Ook hier worden voor de veengebieden nog steeds $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten geschat hoger dan 150 mmol kg^{-1} . De gebieden met de hoogste $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de nieuwe schematisering zijn de veengebieden, het lössgebied en het rivierengebied.

5.3 Synthese

In dit hoofdstuk zijn de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots opnieuw geschat door gebruik te maken van regressievergelijkingen of de mediane waarden uit de LSK-database. De STONE-plots zijn hierbij ingedeeld op basis van grondsoort of op basis van geologische formatie. Uit de eerste resultaten blijkt dat de regressievergelijkingen niet kunnen worden toegepast voor STONE-plots met een humusgehalte $> 20\%$. Voor het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor deze plots wordt een organisch stofgehalte van 20% toegekend.

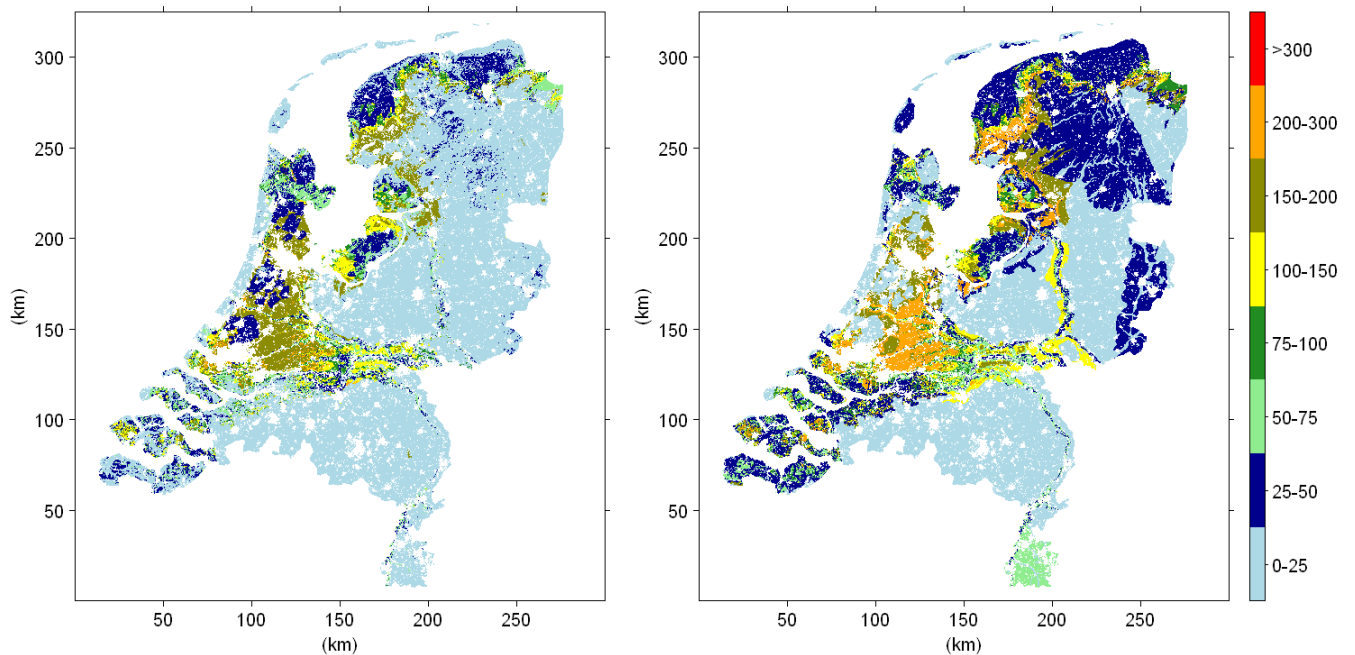
Doordat voor een groot aantal STONE-plots de mediane waarden uit de LSK-database gebruikt zijn, is het niet verwonderlijk dat de cumulatieve frequentieverdelingen aardig goed overeenkomen. Het percentage van de STONE-plots waarvoor de mediane $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gebruikt zijn is bij de indeling in grondsoort ongeveer 55% , bij een indeling op basis van geologische formatie is dit ongeveer 61% . Bovendien zijn er dan geen regionale verschillen zichtbaar binnen geologische afzettingen.

In Figuur 32 zijn de cumulatieve frequentieverdelingen van de geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten weergegeven waarbij de STONE-plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort en op basis van geologische formatie. Tevens is de frequentieverdeling voor de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database gegeven.



Figuur 32. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte voor de laag tussen 1-2m-mv voor de STONE-plots waarbij deze zijn ingedeeld op basis van grondsoort en geologische formatie en voor de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten uit de LSK-database.

De $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de laag tussen 1-2m-mv voor de STONE-plots op basis van de grondsoort en geologische formaties zijn verschillend, hoewel de absolute verschillen niet groot zijn. De geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten van de STONE-plots op basis van de grondsoort zijn over het algemeen lager dan het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten wanneer de indeling op basis van de geologische formatie plaatsvindt. In Figuur 33 is de ruimtelijke verdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten weergegeven op basis van de nieuwe schematisering voor beide varianten, grondsoort en geologische formatie.



Figuur 33. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).

De ruimtelijke verdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten tussen beide schematisaties is beduidend verschillend, hoewel de verschillen over het algemeen niet groter zijn dan 1 klasse. Dit geldt voornamelijk voor de veengebieden het zuidwestelijk- en noordelijk kleigebied, de Achterhoek en het rivierengebied. Het grootste verschil in $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten tussen beide schematisaties is zichtbaar in het lössgebied waar op basis van de grondsoort een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten lager dan 25 mmol kg^{-1} wordt berekend, terwijl op basis van de geologische formatie het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten tussen de 50 en 75 mmol kg^{-1} bedraagt. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat bij het schatten van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten op basis van grondsoort het lössgebied tot de kleigronden gerekend wordt en dat voor de schatting op basis van de geologische formatie de mediaan uit de LSK-database gebruikt is. Voor de zandgronden is er tussen beide schematisaties geen verschil. Zowel op basis van grondsoort (zandgronden) als op basis van geologische formaties (eolische zandafzettingen) worden de mediane waarden uit de LSK-database gebruikt. Voor zandgronden is de mediaan van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten 19 mmol kg^{-1} en voor de eolische zandafzettingen 17 mmol kg^{-1} . Voor beide schematisaties geldt ook dat er, m.u.v. de veengebieden (moerige afzettingen), geen gebieden zijn met een $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten hoger dan 150 mmol kg^{-1} , terwijl in de huidige schematisatie ook in de zand- en kleigebieden regio's zijn met $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten hoger dan 150 mmol kg^{-1} .

De $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de nieuwe schematisering zijn veel lager dan de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige schematisering. Dit betekent dat het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond afneemt en daardoor ook de fosfaatvoorraad. Dit kan uiteindelijk grote gevolgen hebben voor de verwachte fosforbelasting naar het grond- en oppervlaktewater op de lange termijn.

6 Conclusie

In dit onderzoek is de mogelijkheid onderzocht om het ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten aluminium en ijzer in de Nederlandse ondergrond te schatten aan de hand van het lutum- en organische stofgehalte. Per grondsoort en per geologische formatie zijn aparte lineaire regressievergelijkingen opgesteld. Voor het bepalen van de regressievergelijkingen is gebruik gemaakt van de dataset van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK). In deze dataset is per laag de grondsoort en geologische formatie vastgelegd. Voor de validatie van de regressievergelijkingen is gebruik gemaakt van data uit het Bodemkundige Informatie Systeem (BIS).

6.1 Calibratie en validatie

De lineaire regressievergelijking zijn gecalibreerd en gevalideerd door gebruik te maken van de LSK- en BIS-database. Op grond van de resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

Grondsoort

- Bij het voorspellen van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in leemgronden is de regressiecoëfficiënt voor humus niet significant ($P > 0,05$). Voor zandgronden is de regressiecoëfficiënt voor lutum niet significant. Voor deze gronden zijn de regressievergelijkingen opnieuw bepaald waarbij de niet-significante parameters zijn weggelaten.
- De relatie tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte in klei- veen- en leemgronden is ‘sterk’ ($R^2 > 0,50$). Voor zandgronden wordt er echter een ‘zwak’ verband gevonden tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het humusgehalte.
- Het aantal waarnemingen in de LSK en BIS-database is voor de veen- en leemgronden beperkt, waardoor de R^2 sterk kan worden beïnvloed door meetlocaties met ‘afwijkend’ lutum-, humus- of $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten.

Geologische formatie

- Door het geringe aantal waarnemingen kunnen de regressievergelijkingen voor de fluviatiel holocene afzettingen en de fluviatiel pleistocene afzettingen niet worden gevalideerd. Daarnaast is de R^2 tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gevoelig voor locaties met ‘afwijkende’ lutum-, humus- en $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten. Bij het interpreteren van de resultaten moet hier mee rekening worden gehouden.
- De regressiecoëfficiënt voor het lutumgehalte is bij de eolische zandgronden, mariene- en glaciale afzettingen niet significant. Voor fluviatiel pleistocene afzettingen is er geen significant verband tussen het humusgehalte en het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten.

- De relatie tussen de gemeten $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte is sterker voor geologische afzettingen met een hoog lutumgehalte dan voor geologische afzettingen met een laag lutumgehalte.
- Voor fluviatiel holocene afzettingen wordt een ‘sterke’ relatie ($R^2 > 0,50$) gevonden. Ook voor mariene afzettingen wordt een ‘sterke’ relatie gevonden wanneer 1 waarneming wordt weggelaten.
- De relatie tussen het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten en het lutum- en/of humusgehalte voor eolische zand- en lössafzettingen, glaciale afzettingen en fluviatiel pleistocene afzettingen zijn ‘zwak’ ($R^2 < 0,50$).

Op basis van de calibratie en validatie wordt vervolgens beoordeeld of het zinvol is om de lineaire regressievergelijking toe te passen bij het schatten van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Het criterium hierbij is dat de correlatie tussen de gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten groter dan 0,50 moet zijn. Wanneer niet aan dit criterium wordt voldaan, worden de mediane $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database, met een bemonsteringsdiepte $> 1,0\text{m-mv}$, gebruikt.

In tabel 15 is de R^2 gegeven tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de calibratie (LSK_100) en voor de validatie (BIS_100).

Tabel 14. R^2 tussen de gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de calibratie en validatie waarbij de LSK_100 en BIS_100-database gebruikt is.

Grondsoort	Calibratie	Validatie
Zandgrond	0,24	0,09
Kleigrond	0,66	0,55
Veengrond	0,70	0,85
Leemgrond	0,55	0,70
Geologische formatie		
Mariene afzettingen	0,53	0,18 (0,52)
Fluviatiel holocene afzettingen	0,65	-
Fluviatiel pleistocene afzettingen	0,11 (0,24)	-
Eolische zandafzettingen	0,12	0,08
Eolische lössafzettingen	0,62	0,04
Glaciale afzettingen	0,22	0,05

Grondsoort

Voor klei, leem- en veengronden wordt zowel bij de calibratie als bij de validatie voldaan aan het gestelde criterium. De regressievergelijkingen kunnen worden toegepast voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Voor zandgronden wordt een ‘zwakke’ relatie gevonden, waardoor het niet zinvol is om voor deze gronden de regressievergelijking toe te passen. Voor het schatten van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor STONE-plots met een zandprofiel wordt de mediaan van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalte uit de LSK-database gebruikt.

Geologische formatie

De regressievergelijkingen voor de mariene- en fluviatiel holocene afzettingen kunnen toegepast worden voor het voorspellen van het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-plots. Hierbij moeten de volgende opmerkingen geplaatst worden:

- De regressievergelijking voor fluviatiel holocene afzettingen kan niet gevalideerd worden;
- De R^2 tussen gemeten en voorspelde $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor mariene afzettingen bij de validatie ($R^2 = 0,18$) voldoet niet aan het gestelde criterium. Wanneer echter 1 waarneming wordt verwijderd wordt wel voldaan aan het criterium, namelijk 0,52 voor mariene afzettingen.

6.2 STONE-schematisering

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de ondergrond voor de STONE-schematisering zijn in deze studie opnieuw geschat, waarbij de volgende conclusies getrokken kunnen worden:

De regressievergelijkingen kunnen niet worden toegepast voor plots met een (zeer) hoog humusgehalte (humus > 20%), omdat anders onrealistisch hoge $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten worden berekend. Dit geldt voornamelijk voor kleigronden, veengronden en mariene afzettingen.

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten van plots met een hoog humusgehalte (> 20%) zijn opnieuw geschat waarbij het humusgehalte op maximaal 20% gezet is.

De cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten komen redelijk goed overeen met de cumulatieve frequentieverdeling van de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten uit de LSK-database. Dit is indirect het gevolg van het percentage van de STONE-plots waarvoor mediane waarden uit de LSK-database zijn gebruikt. Bij de indeling op basis van grondsoort is dit percentage 55%, bij de indeling op basis van de geologische formatie is dit percentage 61%. Wanneer mediane waarden gebruikt worden voor het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten zijn er geen regionale verschillen binnen geologische formaties zichtbaar.

Er zijn duidelijke regionale verschillen zichtbaar wanneer het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten wordt geschat op basis van grondsoort of geologische formatie. Dit geldt voornamelijk voor het zuidwestelijk en noordelijk kleigebied, de Achterhoek, het rivierengebied en het lössgebied. Voor het zandgebied zijn er geen ruimtelijke verschillen zichtbaar. Dit kan verklaard worden doordat voor de zandgronden als voor de eolische zandafzettingen de mediane waarden uit de database gebruikt zijn die dezelfde orde van grootte heeft respectievelijk 19 mmol kg^{-1} voor zandgronden en 17 mmol kg^{-1} voor eolische zandafzettingen.

De $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten voor de nieuwe schematisering per grondsoort en geologische formatie zijn veel lager dan de $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten in de huidige schematisering (Tabel 16). Dit geldt zowel voor het $(\text{Al}+\text{Fe})_{\text{ox}}$ gehalten gebaseerd op basis van de grondsoort als op basis van de geologische formatie.

Tabel 15 Areaal gevogen gemiddelde $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) in de Nederlandse ondergrond voor de laag tussen 1-2m-mv in de huidige en nieuwe STONE-schematisering.

Grondsoort	Huidig	Nieuw
Nederland	176	44
Zandgrond	145	19
Kleigrond	244	68
Veengrond	180	164
Geologische formatie		
Nederland	176	57
Moerig materiaal	63	178
Mariene afzettingen	234	90
Holocene fluviatiele afzettingen	435	94
Pleistocene fluviatiele afzettingen	76	19
Eolische zandafzettingen	116	17
Eolische lössafzettingen	80	51
Glaciale afzettingen	168	31

Door de lagere $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten neemt het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond af en daardoor ook de fosfaatvoorraad. Dit kan uiteindelijk grote gevolgen hebben voor de verwachte fosforbelasting naar het grond- en oppervlaktewater op de lange termijn, omdat de fosfaathoeveelheden zullen dalen.

Zowel de regressievergelijkingen voor grondsoort als voor geologische formaties kunnen worden toegepast voor het schatten van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in de ondergrond voor de STONE-plots. De voorkeur gaat hierbij (voorlopig) uit naar de regressievergelijkingen die zijn opgesteld op basis van de geologische formatie omdat op basis van deze indeling rekening wordt gehouden met niet alleen verschillen in grondsoort, maar ook in herkomst en wijze waarop de formatie is afgezet. Daarnaast komt de cumulatieve frequentieverdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ook beter overeen met het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de LSK-database.

Aanbevelingen

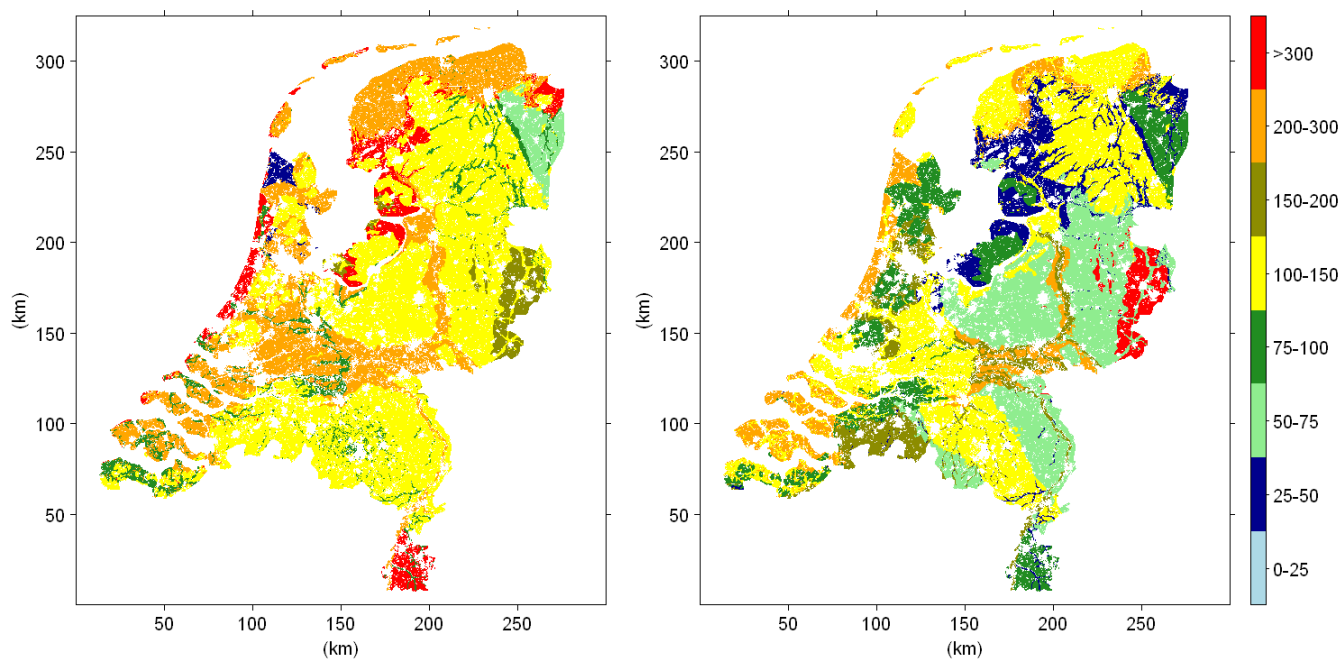
- Voor een aantal grondsoorten en geologische formaties is het aantal waarnemingen beperkt. Het is daarom niet altijd mogelijk om een (betrouwbare) regressievergelijking op te stellen en te valideren. Het is voor de toekomst noodzakelijk om bestaande databases uit te breiden met nieuwe locaties, waarbij alle benodigde fysische en chemische bodemparameters bepaald moeten worden. Het gaat hierbij voornamelijk over de veen- en leemgronden, wanneer de regressievergelijkingen per grondsoort opgesteld worden en voor fluviatiele, glaciale en eolische lössafzettingen wanneer gekeken wordt naar de geologische formatie.

- In deze studie is voor het wel of niet toepassen van de regressievergelijkingen een minimale R^2 van 0,50 noodzakelijk. Dit is een arbitraire keuze geweest. De regressievergelijkingen voor zandgronden en een aantal geologische formaties voldoen niet aan dit criterium. Er moet dan ook verder onderzoek verricht worden naar mogelijkheden om het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor deze locaties goed in te schatten.
- Op basis van de resultaten in dit onderzoek blijkt dat de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering vrij hoog ingeschat zijn. Er wordt dan ook aanbevolen om de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE-plots aan te passen. Het aanpassen van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten resulteert tot veranderingen in het fosfaatbindend vermogen van de ondergrond en daardoor tot veranderingen in fosforbelasting naar grond- en oppervlaktewater op langere termijn.

Literatuur

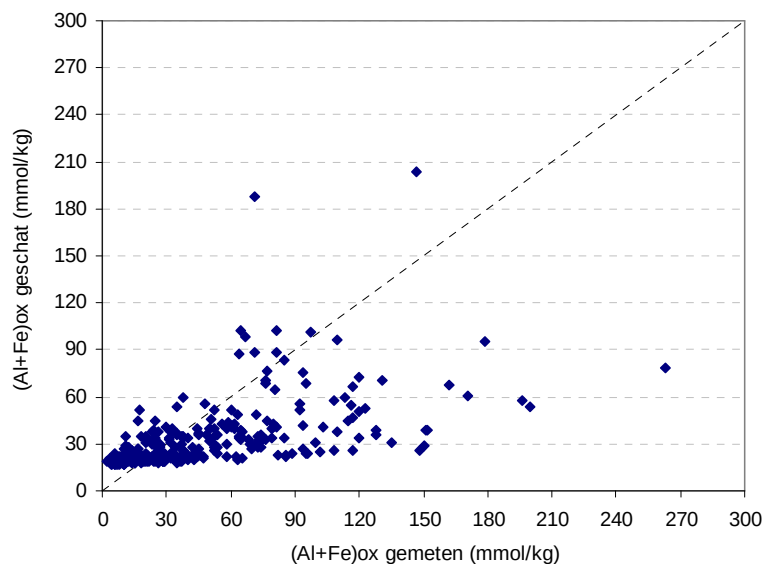
- Boekel, E.M.P.M., 2009. *Geochemische schematisering van de ondergrond in het STONE-model: Organisch stofgehalte*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1830.
- Finke, P.A., J.J. de Gruijter & R. Visschers, 2001. *Status 2001 Landelijke Steekproef Kaartenheden en toepassingen*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 389.
- Griffioen, J., D.J. Huisman, J.H.A. Bosch, F.D. de Lang en H.J.T. Weerts, 2000. Geologische parametrisatie van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van het STONE-model. Delft, NITG-TNO.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud & J. Roelsma, 2005. *Prediction of Nitrogen en Phosphorus leaching to the groundwater and surface waters: Process descriptions of the Animo4.0 model*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 983.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom & A. Beusen, 2001. *Redesign STONE, De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters*. Lelystad, RIZA rapport 2001.017.
- Schoumans, O.F., 2004. *Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland*. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 730.4.
- Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter & H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system Stone for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands*. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 18:597-617

Bijlage 1 Ruimtelijk verdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in de ondergrond voor de laag tussen 2-4m-mv en tussen 4-13m-mv

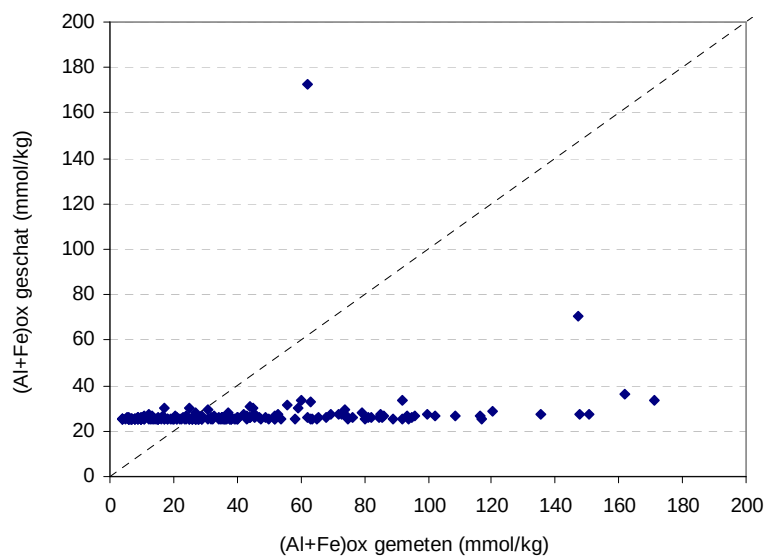


Figuur 34. $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten ($mmol\ kg^{-1}$) in de laag tussen 2-4m-mv (links) en tussen 4-13m-mv (rechts) in de huidige STONE-schematisering

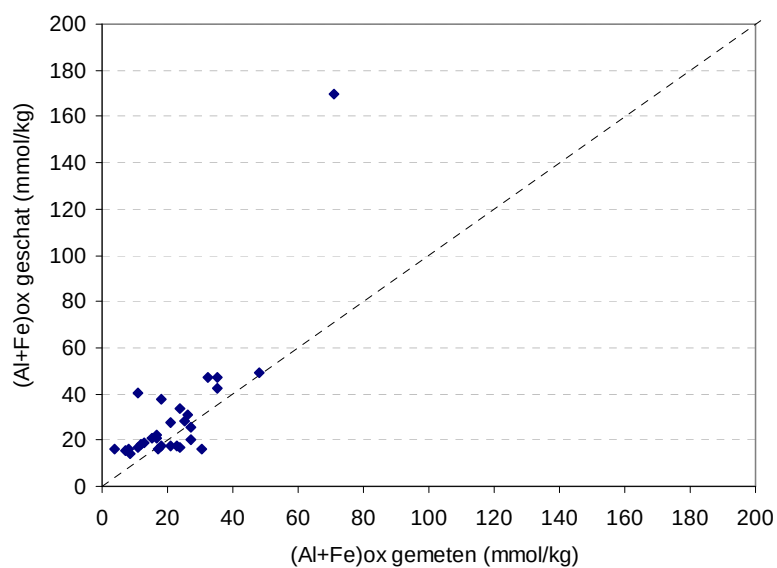
Bijlage 2 Geschatte en gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond met behulp van de BIS-database per grondsoort en geologische formatie



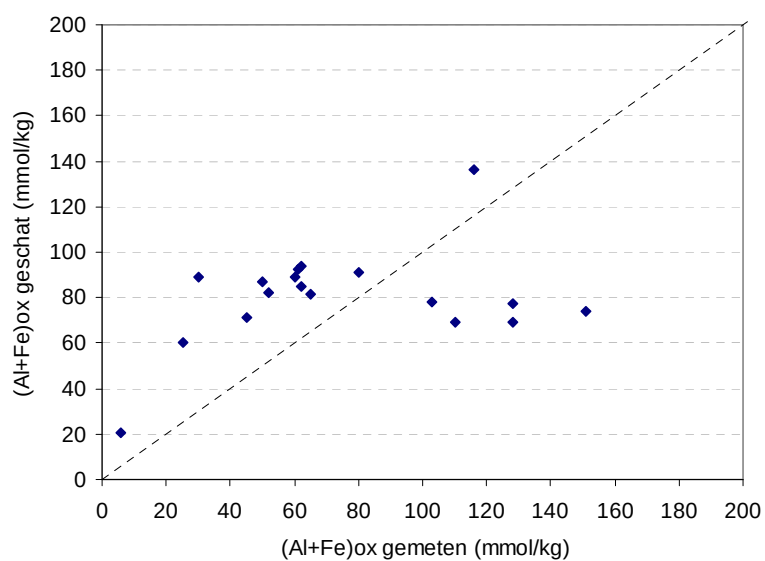
Figuur 35. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor Nederland uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_totaal database.



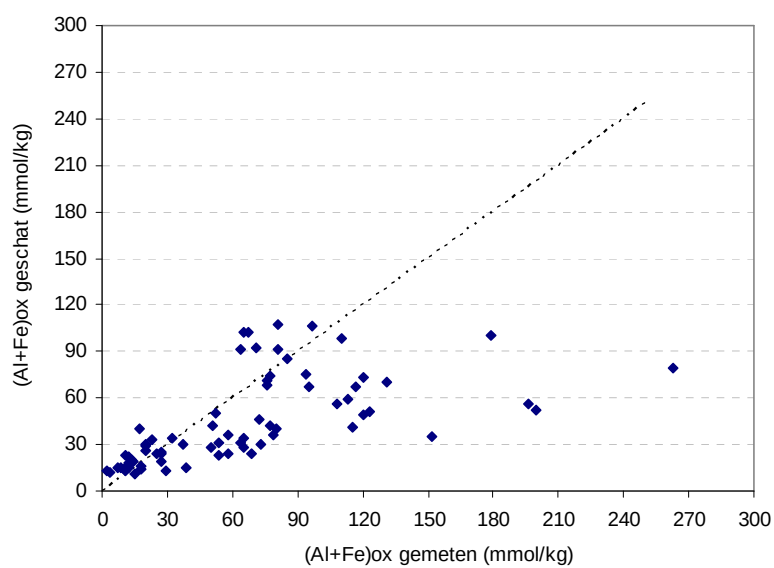
Figuur 36. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor zandgronden uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_totaal database.



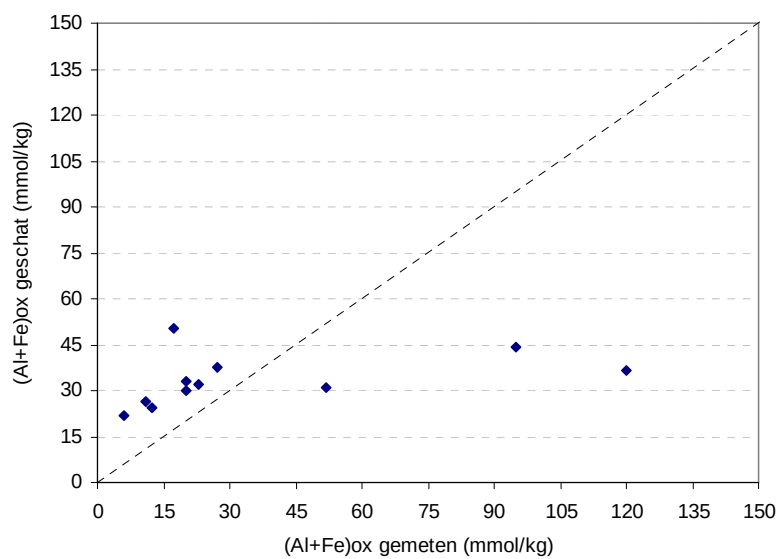
Figuur 37. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor veengronden uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_totaal database.



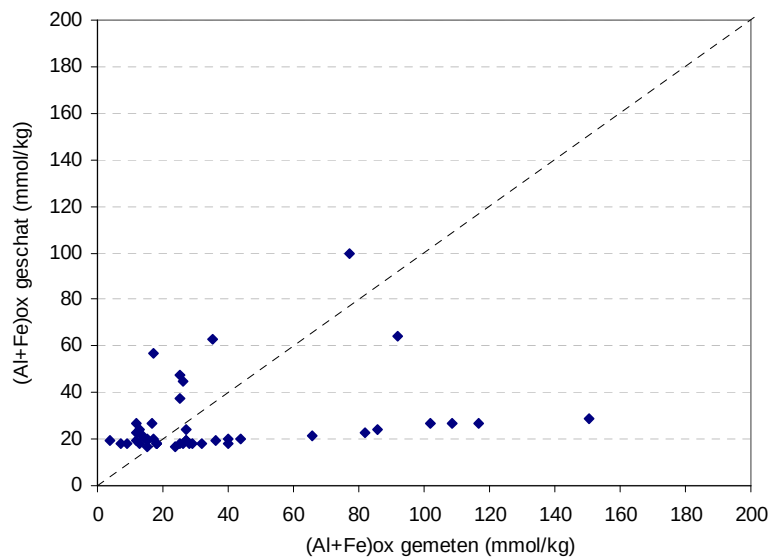
Figuur 38. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor leemgronden uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_totaal database.



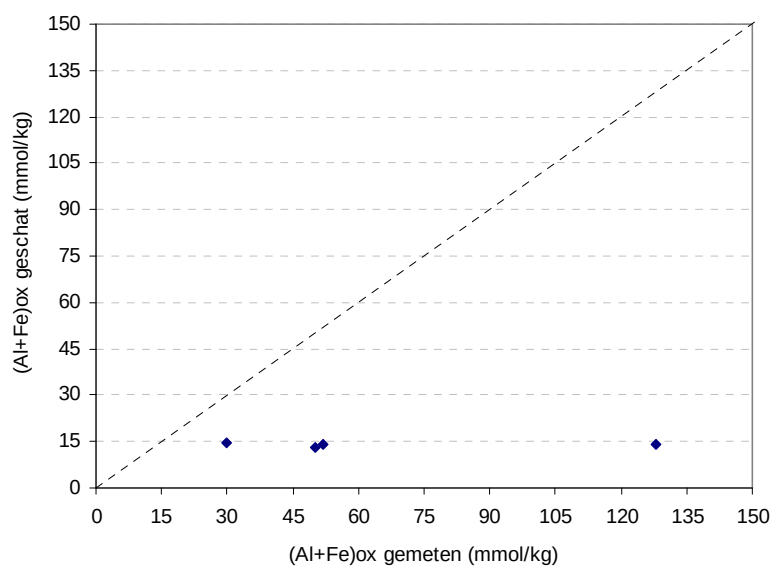
Figuur 39. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor kleigronden uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_totaal database.



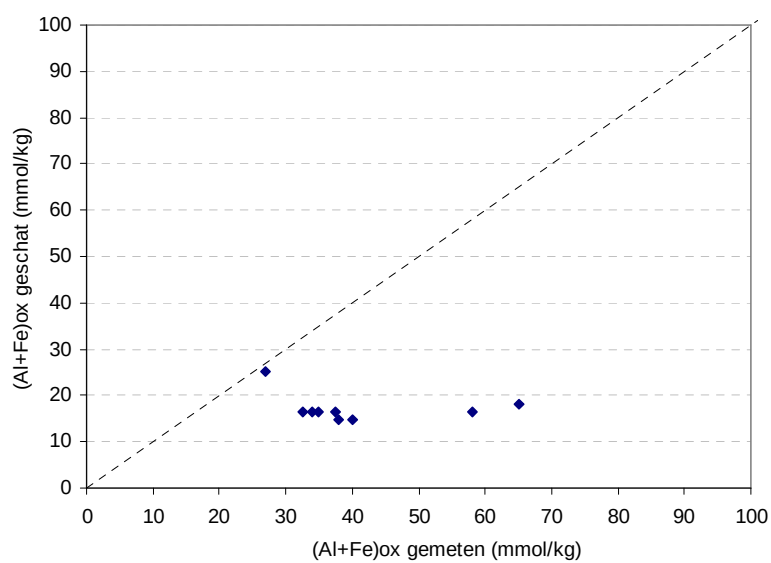
Figuur 40. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor mariene afzettingen uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_100 database.



Figuur 41. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor de eolische zandafzettingen uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_100 database.

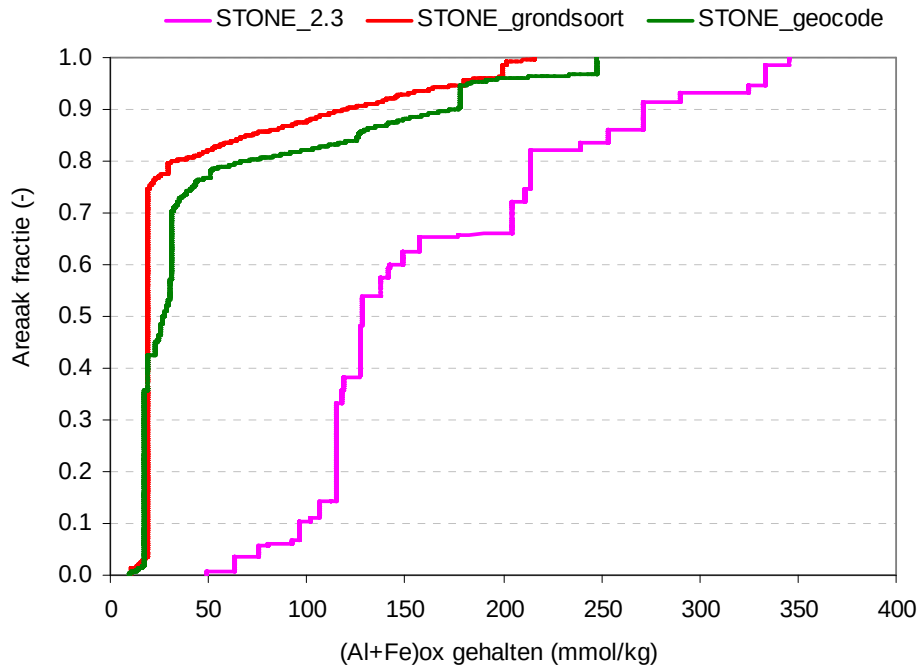


Figuur 42. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor eolische lössafzettingen uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_100 database.

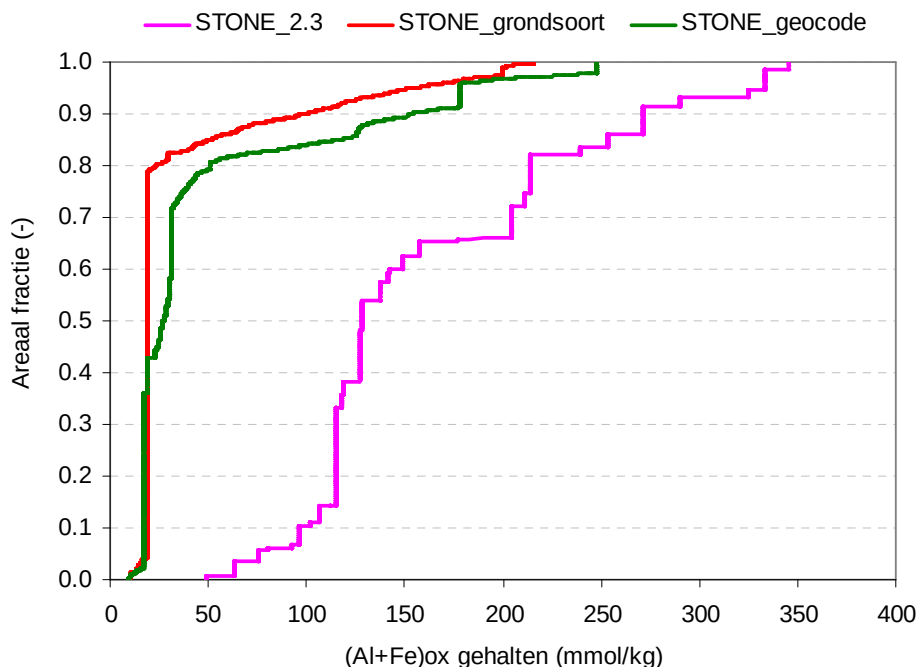


Figuur 43. Geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de ondergrond voor glaciële afzettingen uitgezet tegen de gemeten $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de BIS_100 database.

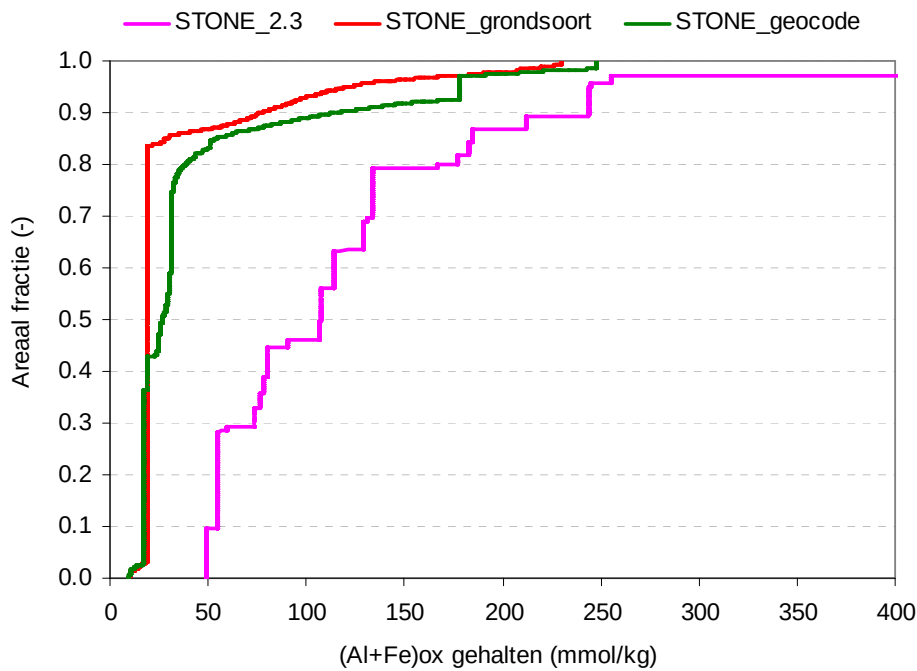
Bijlage 3 Cumulatieve frequentieverdeling van het $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte voor de overige lagen op basis van de grondsoort en geologische formatie



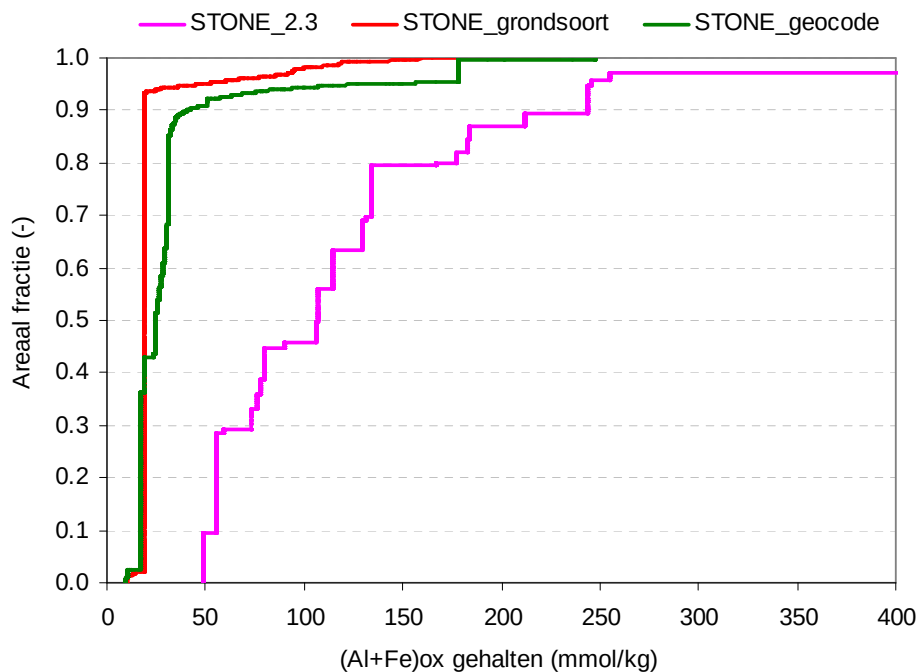
Figuur 44. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 2-3 m-mv op basis van grondsoort en geologische formatie en de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering.



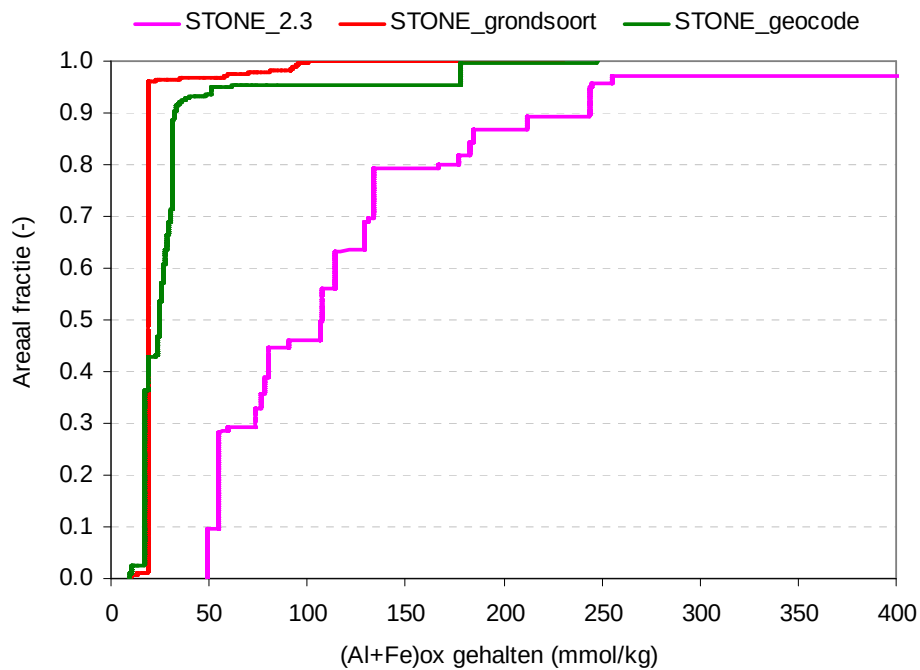
Figuur 45. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 3-4 m-mv op basis van grondsoort en geologische formatie en de $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering.



Figuur 46. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 4-7-mv op basis van grondsoort en geologische formatie en de $(AL+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering.

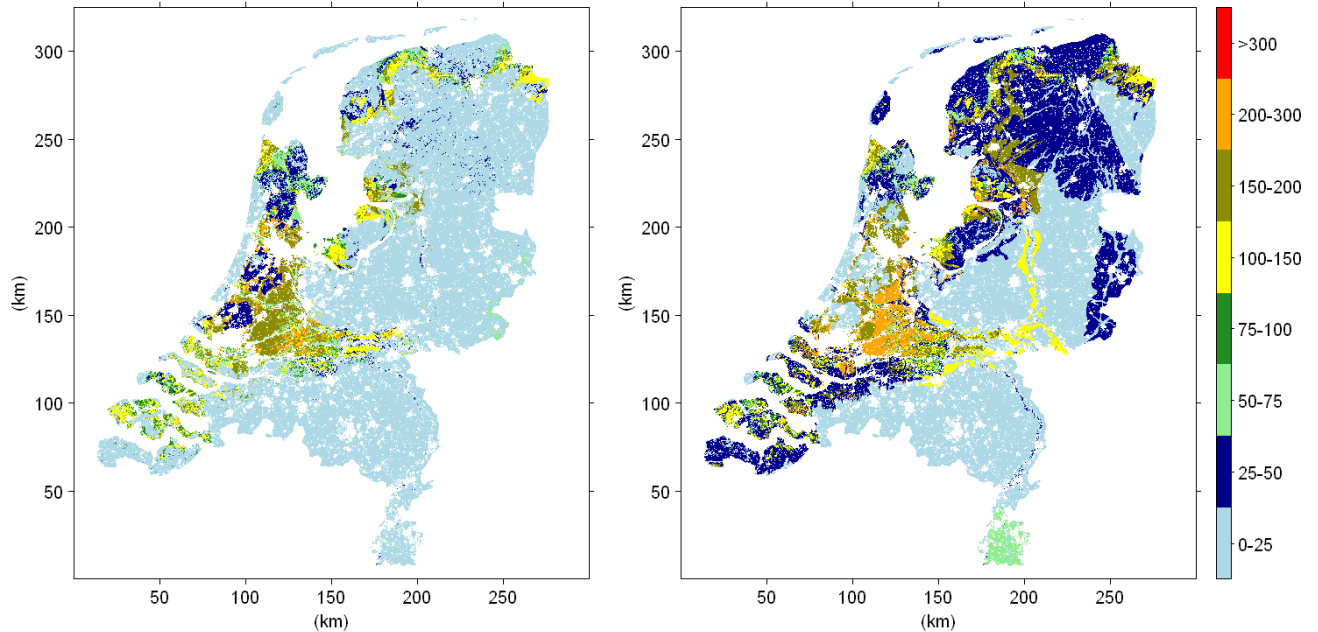


Figuur 47. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 7-9-mv op basis van grondsoort en geologische formatie en de $(AL+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering.

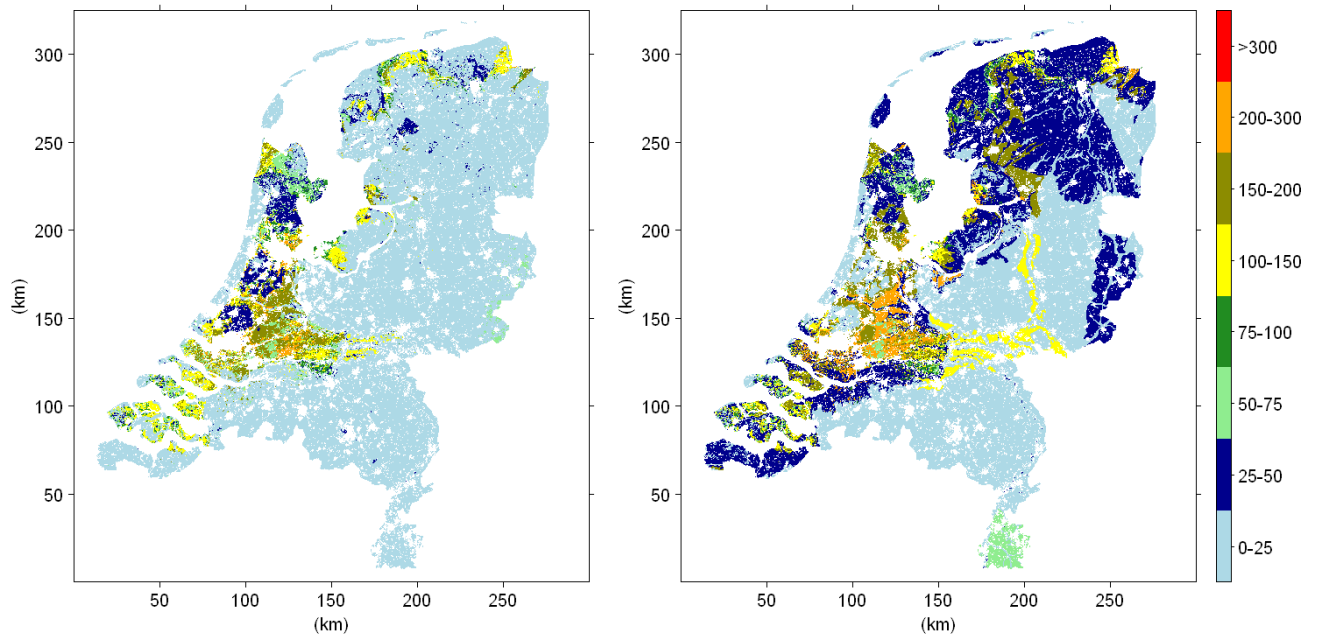


Figuur 48. Cumulatieve frequentieverdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten voor de STONE_plots voor de laag tussen 9-13-mv op basis van grondsoort en geologische formatie en de $(AL+Fe)_{ox}$ gehalten in de huidige STONE-schematisering.

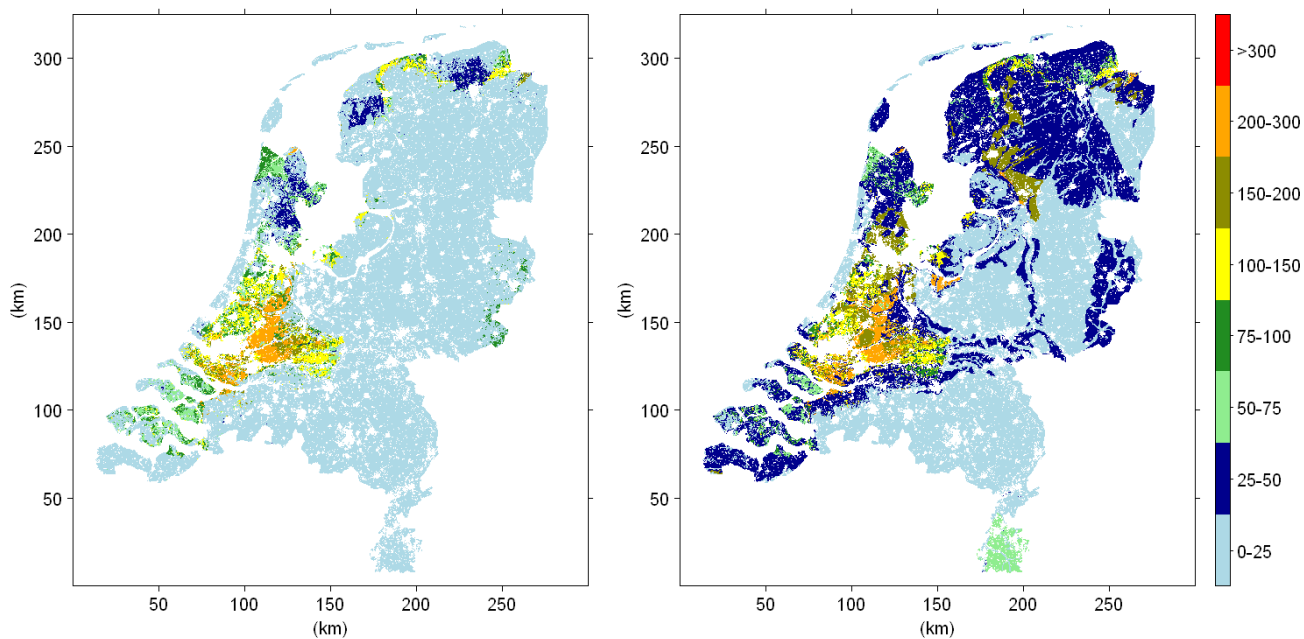
Bijlage 4 Ruimtelijke verdeling van het geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalte in de ondergrond op basis van de grondsoort en geologische formatie



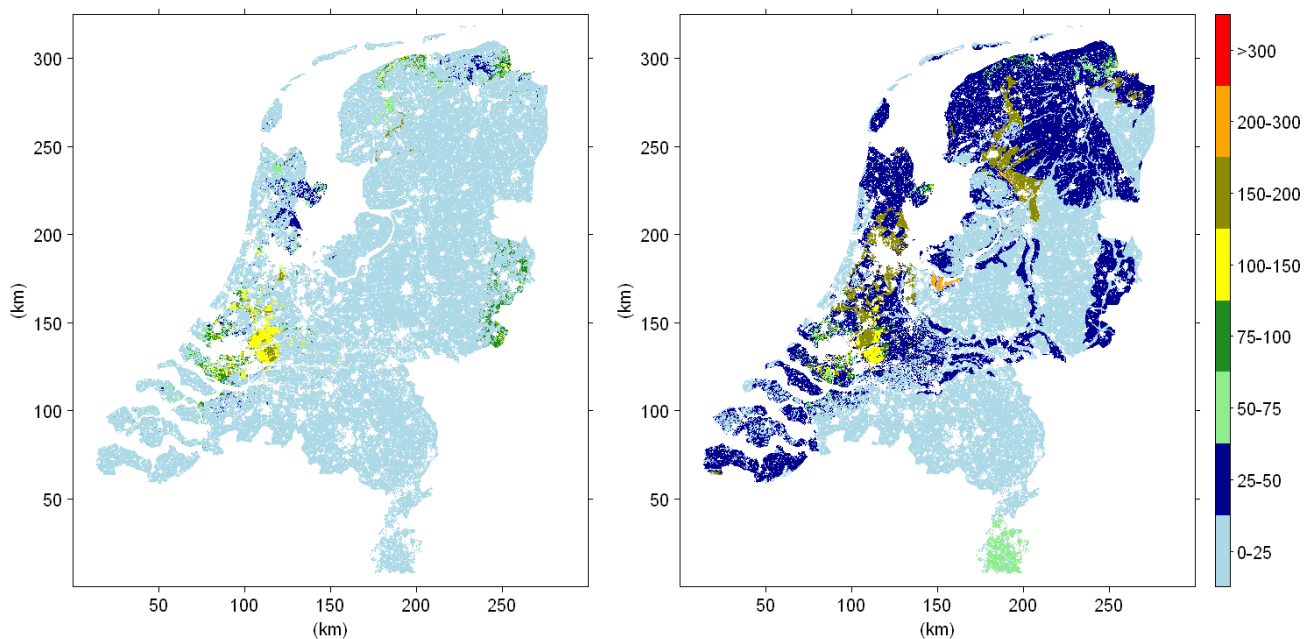
Figuur 49. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 2-3m-mv voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).



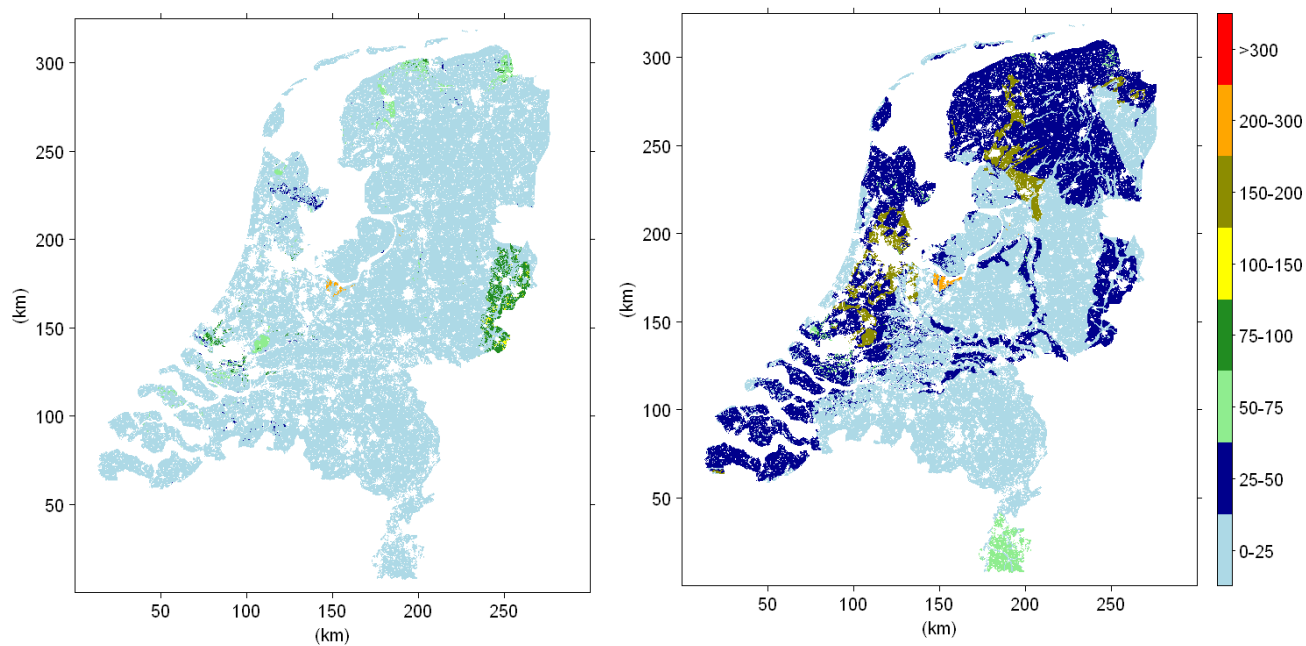
Figuur 50. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 3-4m-mv voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).



Figuur 51. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 4-7-mv voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).



Figuur 52. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 7-9m-mv voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).



Figuur 53. Ruimtelijke verdeling van de geschatte $(Al+Fe)_{ox}$ gehalten in de laag tussen 9-13-mv voor de STONE-plots waarbij de plots zijn ingedeeld op basis van grondsoort (links) en geologische formatie (rechts).