



# Vervolg Nitraatmetingen WML percelen

Yuki Fujita

Dirk Thijssen

Gerard H. Ros

Referaat

**Fujita Y, Thijssen D & GH Ros (2023).** *Vervolg Nitraat Metingen WML-percelen*, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1924.N.22, 39 pp.

Rapport in het kort

In de winter 2021/2022 is in verschillende natuur- en landbouwgebieden de nitraatuitspoeling naar het grondwater gemeten, in percelen die in eigendom zijn van WML. Uit die studie kwam in een oud bos een zeer hoge nitraatuitspoeling naar voren en een verhoogde waarde in een biologisch perceel. In de voorliggende studie is dit verder onderzocht met extra metingen in de winter van 2022/2023. Van de acht gemeten oude bossen hadden drie locaties zeer hoge nitraatconcentraties, mogelijk als gevolg van een hoge mate van stikstofverzadiging (lage C:N ratio in bodem en strooisel) en verontreiniging. Dit laat zien dat oude bossen mogelijk een hoog risico van nitraatuitspoeling hebben. In het biologisch perceel was de nitraatuitspoeling onder verschillende soorten gewassen laag tot matig.

---

© 2023 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

Disclaimer

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

---

Openbaar rapport

digitaal

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting en conclusies</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2 Opzet en uitvoering</b>	<b>4</b>
2.1 Meetlocaties	4
2.1.1 Oude bossen	4
2.1.2 Kleinschalig biologisch perceel	5
2.2 Bemonstering en lab analyse	6
2.2.1 Bemonstering	6
2.2.2 Lab analyses	7
<b>3 Resultaten</b>	<b>9</b>
3.1 Nitraatconcentraties in bossen	9
3.2 Eigenschappen van bovengrond van bossen	11
3.2.1 Eigenschappen van strooisel	11
3.2.2 Bodemeigenschappen bovengrond	12
3.2.3 Atmosferische N depositie	14
3.3 Nitraatconcentraties in kleinschalig biologisch perceel	15
<b>4 Discussie</b>	<b>16</b>
4.1 Oude bossen	16
4.2 Kleinschalig biologisch perceel	19
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>20</b>
<b>6 Literatuur</b>	<b>22</b>
<b>Bijlage I. Meetlocaties</b>	<b>23</b>
<b>Bijlage II. Ammoniumconcentratie</b>	<b>33</b>
<b>Bijlage III. Overige bodem metingen</b>	<b>34</b>



# Samenvatting en conclusies

Waterleidingmaatschappij Limburg N.V. (WML) werkt al jaren aan het verlagen van de nitraatuitspoeling naar het grondwater. De door NMI uitgevoerde studie in de winter van 2021/2022 liet zorgwekkende waarnemingen zien van een zeer hoge nitraatuitspoeling uit een oud bos en een relatief hoge nitraatuitspoeling uit een biologisch perceel, die beide eigendom van WML zijn. In de voorliggende studie zijn in de winter van 2022/2023 opnieuw metingen verricht op dezelfde percelen om i) te onderzoeken of de waargenomen patronen in 2021/2022 geen toeval zijn, en ii) mogelijke factoren te verkennen die de hoge nitraatconcentraties hebben veroorzaakt.

## Nitraatuitspoeling van oude bossen

Eind november 2022 werd de nitraatconcentratie gemeten in het bodemvocht op twee dieptes (130-150 en 230-250 cm-mv) in acht oude (> 25 jaar) bossen, waarvan vijf ook in 2021/2022 waren gemeten. Drie bossen hadden zeer hoge concentraties ver boven de norm van 50 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (308–1315, 74–887 en 110–770 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>), wat bevestigt dat er hoge nitraatconcentraties kunnen voorkomen onder oude bossen. Van de overige vijf oude bossen hadden drie bossen nitraatconcentraties onder de norm (0-47, 0-26, en 0-0 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>), en twee bossen hadden ten minste één monster dat de norm overschreed (36–107, 0–76 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>).

Uit de analyse van de bodem en strooisellaag blijkt dat alle bossen verzuurd (pH < 4,5) waren en een lage C:N-verhouding hadden, wat wijst op een sterke verzuring versneld door langdurige hoge atmosferische N-depositie. De vijf bossen met een relatief lage stikstofuitspoeling hadden een zeer lage pH (<3.5) en er was geen tot weinig NO<sub>3</sub> maar voornamelijk NH<sub>4</sub> in de bodem aanwezig, hetgeen wijst op remming van het nitrificatieproces. De drie bossen met een hoge nitraatuitspoeling hadden een zeer lage C:N ratio in de bodem en strooisellaag en een vrij hoge minerale N-voorraad in de bodem. Het lijkt erop dat in deze bossen veel stikstof beschikbaar komt via mineralisatie en nitrificatie (als gevolg van een hoge N-verzadiging en lage maar niet extreem lage pH), maar weinig stikstof wordt opgenomen door het bos (mogelijk door lage pH, verontreiniging met zware metalen of een ander soort stress zoals Al toxiciteit). Als gevolg daarvan kan er relatief veel nitraat uitspoelen naar het grondwater.

Dit betekent dat, hoewel de meeste bossen een lage nitraatuitspoeling hebben, er verschillende bossen bestaan die gekenmerkt worden door een hoge nitraatuitspoeling. Aangezien bossen een relatief hoge N-voorraad bevatten in de bodem en het strooisel, kan de nitraatuitspoeling in potentie groot zijn.

## Nitraatuitspoeling van een kleinschalig biologisch perceel

De nitraatconcentraties in de bovenste 90 cm van bodem in het biologisch perceel varieerden sterk tussen de verschillende gewasstroken. Alleen onder de gewasstrook met een hoog mestgebruik en een lage N-opname (en daarmee een lage N-benutting) was de nitraatconcentratie hoog (ca. 100 kg N ha<sup>-1</sup>). Als dit in het najaar uitspoelt zal daarmee de norm worden overschreden. De bijdrage van zo'n lokale piek van een gewasstrook aan de uitspoeling uit het hele perceel is waarschijnlijk klein, en het is niet indicatief voor uitspoeling van nitraat in dusdanige mate dat die schadelijk is. Het blijft belangrijk het bemestingsniveau zorgvuldig af te stemmen op de behoefte van de gewassen.



# 1 Inleiding

## Achtergrond en aanleiding

Waterleidingmaatschappij Limburg N.V. (WML) werkt al jaren samen met de agrarische sector aan het verlagen van de nitraatuitspoeling naar het grondwatersysteem. In het kader van het project Duurzaam Schoon Grondwater (DSG) zijn in het verleden diverse metingen uitgevoerd onder landbouwpercelen om inzicht te krijgen in het nitraatgehalte van het bodemvocht. Tot op heden is er echter weinig bekend over de nitraatuitspoeling onder natuurpercelen die in eigendom zijn bij WML als ook die percelen die onder een extensief beheer vallen.

In 2021 heeft het NMI in opdracht van WML onderzoek gedaan naar de nitraatgehaltes onder de wortelzone van 39 natuur- en landbouwpercelen in eigendom van WML (Fujita et al., 2022). Het onderzoek laat zien dat de nitraatconcentratie in het bodemvocht in vrijwel alle percelen onder de norm van  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  lag. Op een oud bosperceel werd echter een zeer hoge nitraatconcentratie ( $> 1000 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) gemeten, terwijl de rest van de oude bospercelen lage tot matige nitraatconcentraties hadden. Daarnaast was er een kleinschalig biologisch akkerbouwperceel met een vrij hoge nitraatconcentratie ( $\sim 80 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ). Hoewel uit dergelijke eenmalige metingen met een beperkt aantal percelen in de studie geen conclusies konden worden getrokken, lijken de hoge nitraatconcentraties een zorgpunt te zijn. Aangezien een groot areaal van de waterwingebieden van WML uit bos bestaat, is het van belang inzicht te krijgen in het potentiële risico op nitraatuitspoeling onder oude bossen.

## Doelstelling

In dit onderzoek wordt nagegaan of de hoge nitraatconcentraties die in 2021/2022 werden waargenomen (een zeer hoge nitraatconcentratie in een oud bosperceel en een matig hoge nitraatconcentratie in een biologisch perceel) een toevalstreffer was of dat deze hoge concentraties vaker voorkomen. Daarnaast wordt onderzocht wat de mogelijke oorzaken zijn van de hoge concentraties onder bossen.

## 2 Opzet en uitvoering

### 2.1 Meetlocaties

#### 2.1.1 Oude bossen

In december 2021 – januari 2022 zijn vijf oude (>25 jaar) bospercelen bemonsterd, waarvan één loofbosperceel zeer hoge nitraatconcentraties liet zien en een ander naaldbosperceel licht verhoogde nitraatconcentraties boven de norm vertoonden (Tabel 1). Al deze vijf oude bospercelen zijn in de winter van 2022/2023 opnieuw gemeten om na te gaan of het waargenomen patroon in 2021/2022 zich opnieuw voordoet. Daarnaast zijn nog drie oude bospercelen bemonsterd om de algemene patronen van oude bospercelen verder te onderzoeken. De drie bossen zijn allemaal loofbossen, gelegen in Hunsel (pf261), IJzeren-Kuilen (pf546) en Groote Heide (pf253). In totaal zijn acht oude bospercelen bemonsterd (Figuur 1). De bossen van IJzeren-Kuilen liggen op lössgrond, de rest op zandgrond. Zie Tabel 3 en Tabel 4 in Bijlage I voor opmerkingen over de ondergroei en bodem.

Tabel 1. Overzicht van de bemonsterde oude bospercelen. Voor de percelen die ook in 2021/2022 zijn gemeten, zijn de nitraatconcentraties in bodemvocht van 2 dieptes weergegeven. Twee waarden in een vak tonen de nitraatconcentratie op twee boorlocaties.

Locatie	bostype	pompstation	NM of Z Limburg	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> 130-150cm	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> 230-250cm
pf446	Naaldbos	Heel	NM	0; 0	2; 0
pf313	Naaldbos	Breehei	NM	44; 18	46; 71
pf575	Loofbos	Groote Heide	NM	0; 31	0; 31
pf253	Gemengd bos	Groote Heide	NM	*	*
pf261	Loofbos	Hunsel	NM	*	*
pf594	Loofbos	IJzeren-Kuilen	Z	86; 418	190; 1303
pf546	Loofbos	IJzeren-Kuilen	Z	*	*
pf385	Gemengd bos	Schinveld	Z	3; 0	0; 34

\*: in winter 2022/2023 niet onderzocht

## 2.1.2 Kleinschalig biologisch perceel

Naast de bospercelen, werd het biologische stadslandbouw perceel (pf18) in Heer-Vroendaal opnieuw bemonsterd. Dit perceel bestaat uit smalle stroken met verschillende soorten gewassen met verschillende bemestingsniveaus. In de vorige metingen (in januari 2022), vertoonde een van de twee meetpunten van 2021/2022 hoge nitraatconcentraties boven de norm (76 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> op 130-150cm diepte en 83 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> op 230-250 cm diepte). In de winter van 2022/2023 zijn 5 meetpunten (2 bestaande meetpunten plus 3 nieuwe meetpunten) gekozen. In overleg met de ondernemer van dit perceel zijn de meetpunten zo gekozen dat een groot bereik van de N-balans (door contrasterende bemesting en opbrengst) binnen het perceel wordt verkregen.

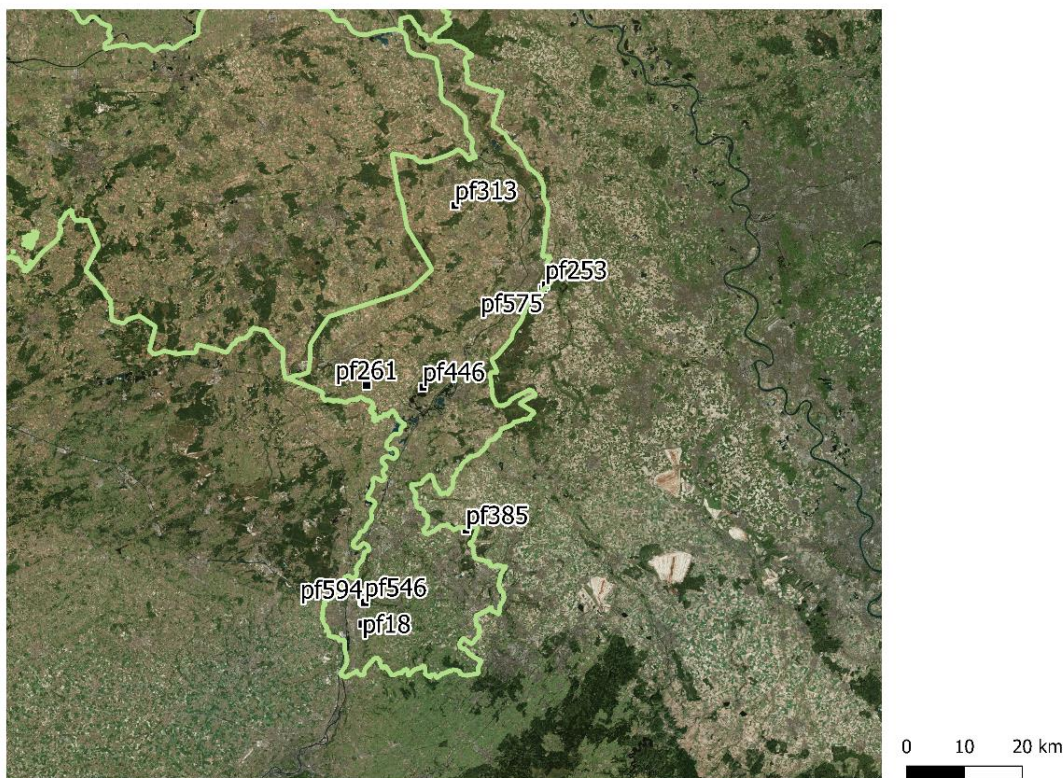
De aanvoer van N in 2022 verschilt tussen gewasstroken, van laag (pf18-5: 0 kg N ha<sup>-1</sup>) tot matig (pf18-1: 115 kg N ha<sup>-1</sup>, pf18-4: 138 kg N ha<sup>-1</sup>) naar hoog (pf18-3: 227 kg N ha<sup>-1</sup>, pf18-2: 231 kg N ha<sup>-1</sup>) (Tabel 2).

Tabel 2. Overzicht van gewasstype en bemesting van het biologisch perceel in de afgelopen 3 jaar.

Locatie	Jaar	Gewas	Bemesting (ton ha <sup>-1</sup> )	Type mest	Aanvoer N totaal (kg N ha <sup>-1</sup> )*
pf18-1	2020	tuinboon	0	geen	0
	2021	Sla	22,2	Rundvee potstalmest	115
	2022	Aardappelen	22,2	Rundvee potstalmest	115
pf18-2	2020	Gras/klaver	4,0	Grasmaaisel 2x p.jaar	110
	2021	Bloemkool	44,4	Rundvee potstalmest	231
	2022	Prei	44,4	Rundvee potstalmest	231
pf18-3	2020	pompoen	25,0	Rundvee potstalmest	130
	2021	Gerst	4,0	rogge ondergewerkt	60
	2022	Kool + nateelt Bloemkool	43,8	Rundvee potstalmest	227
pf18-4	2020	Courgette	26,7	Rundvee potstalmest	138
	2021	tuinboon	17,3	Rundvee potstalmest	90
	2022	Pompoen/suikermaïs	26,7	Rundvee potstalmest	138
pf18-5	2020	Gras/klaver	4	Grasmaaisel 2 x p.jaar	110
	2021	Pompoen	22,2	Rundvee potstalmest	115
	2022	Snijbloem divers	0	geen	0

\* Geschat met de volgende aanname van de N-concentraties in de bemesting; rundvee potstalmest 5,2 kg N ton<sup>-1</sup>, grasmaaisel 27,5 kg N ton<sup>-1</sup>, rogge ondergewerkt 14,9 kg N ton<sup>-1</sup>





Figuur 1. Locaties van meetpunten, 8 bossen en een kleinschalig biologisch perceel (pf18). Groene lijnen zijn provinciegrenzen.

## 2.2 Bemonstering en lab analyse

### 2.2.1 Bemonstering

#### Oude bossen

Eind november 2022 is op elk bosperceel op twee monsterlocaties een nitraatmeting uitgevoerd, conform de DSG-methodiek. Per monsterlocatie is een grondmonster genomen op 130-150 en 230-250 cm onder maaiveld. Als er sprake was van obstakels bij het boren (bv. grind) dan werd de boordiepte iets aangepast. De bodemlagen zijn bemonsterd middels een lans met daaraan een steekbus bevestigd. Deze steekbus werd de bodem ingeduwd, afgedraaid op de juiste diepte, afgedopt en koel bewaard tot de analyse. Voor de 8 geselecteerde bospercelen resulteerde dit in (8 percelen x 2 monsterlocaties) x 2 dieptes = 32 bodemmonsters. Daarnaast zijn op elke monsterlocatie ook de bovengrond en het strooisel bemonsterd. Van de bovengrond is een mengmonster gemaakt door op elke locatie vijf keer te steken met een guts tot een diepte van 30 cm. Het strooisel is bemonsterd door materiaal in een vierkant van 50x50 cm te verzamelen.

#### Kleinschalig biologisch perceel

In het biologisch perceel, zijn bodemlagen in november 2022 op een diepte van 0-30 cm, 30-60 cm en 60-90 cm bemonsterd, in plaats van 130-150 en 230-250 cm. Deze diepten zijn gekozen omdat het door het verschil in gewastype op korte afstand moeilijk zou zijn een verband te leggen tussen de nitraatconcentratie op 150 of 250 cm diepte en de N-balans van het perceel. Minerale N in 0-90 cm na de oogst is ook aangeduid met 'nitraatresidu' in andere studies, en kan worden gebruikt als indicatie van het N-overschot in landbouwpercelen. Er zijn op gewezen dat nitraatconcentratie van 0-90 cm diepte

geen directe voorspeller is van het toekomstige uitspoelingsrisico, en dat goede teeltmaatregelen in het vervolgjaar dat risico kunnen verminderen.

## 2.2.2 Lab analyses

### Oude bossen

#### *Minerale N in bodemvocht*

De steekbussen van 130-150 cm en 230-250 cm diepte bevatten 250 ml aan grond. De steekbussen zijn leeggedrukt en gemengd. Bij de aanwezigheid van grind in het grondmonster zijn deze gezeefd over een zeef van 2mm. Een deel van het bodemmateriaal wordt gesplitst voor een vochtbepaling middels massameting vóór en na droging bij 105 °C. Het grondmonster is geëxtraheerd om zo een vergelijkbare grond-vloeistof-verhouding te hebben voor alle grondmonsters. Voor de extractie is 100 ml 0,01M CaCl<sub>2</sub> en 50 ml bodem gebruikt (een extractieverhouding van 1:2 v:v). Na het samenvoegen is de suspensie één uur geschud, gefiltreerd en geanalyseerd door het laboratorium van Agrocares. Het bodemvochtgehalte is bepaald en het gehalte aan ammonium-N en nitraat-N is geanalyseerd. Conform de DSG-methodiek is vervolgens het gehalte van ammonium en nitraat in het bodemvocht berekend in de eenheid van mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>.

#### *Eigenschappen top laag van de bodem*

De top laag (0-30 cm) van de bosgrond werd geanalyseerd op de volgende parameters:

- pH met CaCl<sub>2</sub> extractie
- 'Beschikbare' concentraties van nutriënten met CaCl<sub>2</sub> extractie
- Concentraties van verschillende elementen met de Mehlich-3 extractie
- CEC en CEC-bezetting door verschillende kationen met de Cohex-methode
- Fosfaatvoorraad via extractie met ammonium lactaat (PAL)
- Zand-, silt- en klei-gehalte, geschat via spectroscopie
- Totale concentraties van verschillende elementen (o.a. C, N, P) via gecombineerde FTIR en XRF-analyse.

De concentraties per kg grond werden vertaald naar de hoeveelheid per ha, door vermenigvuldiging met de bulkdichtheid. De bulkdichtheid werd geschat uit het gehalte aan organische koolstof in de bodem, met behulp van de empirische relatie van Nederlandse bodems (Fujita et al., 2021).

#### *Strooisel*

De strooiselmonsters zijn gedroogd en gemalen en de concentraties van totaal C en totaal N zijn bepaald door het laboratorium van Eurofins. De totale hoeveelheid C en N is berekend door de concentratie (g kg<sup>-1</sup>) te vermenigvuldigen met de hoeveelheid strooisel per oppervlakte (kg ha<sup>-1</sup>).

#### *N mineralisatie van strooisel*

Om de hoeveelheid stikstof te schatten die uit het strooisel vrijkomt door afbraak van het organische materiaal, zijn de strooiselmonsters gedurende 4 weken geïncubeerd in een klimaatkamer bij 23 graden Celsius. Het strooisel was tijdens de incubatieproef aanwezig in polyethyleen zakken, die gasuitwisseling mogelijk maken maar toch waterdicht zijn (Gordon et al., 1987). Het vochtgehalte van

het strooisel werd zo gedurende de gehele incubatieperiode op een constant niveau gehouden, overeenkomend met de situatie in het veld. Voor en na de incubatieperiode is het strooisel geëxtraheerd met 0,01M CaCl<sub>2</sub> (met een extractieverhouding van 1:4 v:v) en zijn de ammonium-N en nitraat-N concentraties bepaald. De mineralisatiesnelheid van het strooisel is berekend als het verschil in minerale N concentraties tussen het tijdstip voor- en na-incubatie.

De mineralisatiesnelheid gebaseerd op de periode van 4 weken werd geëxtrapoleerd naar jaarbasis, met behulp van de temperatuurcorrectieterm van RothC (Coleman & Jenkinson, 1996), het model dat wordt gebruikt om de afbraak van organisch materiaal te simuleren. De temperatuurcorrectieterm van RothC wordt geschreven als:

$$a = \frac{47.91}{1 + e^{\left(\frac{106.06}{T+18.27}\right)}}$$

waarbij *a* de correctie factor en *T* de luchttemperatuur is. De 30-jarige gemiddelde maandtemperatuur van het weerstation De Bilt werd gebruikt.

### **Kleinschalig biologisch perceel**

#### *Minerale N in de bouwvoor*

De bodemmonsters van 3 verschillende dieptes (0-30, 30-60, 60-90 cm -mv) van het biologische perceel zijn geëxtraheerd met 100ml 0,01M CaCl<sub>2</sub> (met een extractieverhouding van 1:2 v:v), één uur geschud, gefiltreerd en geanalyseerd door het laboratorium van Agrocarea. De nitraatconcentraties zijn eerst berekend in de eenheid van mg NO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup>, en daarna omgerekend naar kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, waarbij werd uitgegaan van een bulkdichtheid van 1250 kg m<sup>-3</sup>. De bulkdichtheid kon niet locatie-specifiek worden geschat wegens het ontbreken van metingen van het organisch stofgehalte. Aangezien diepere bodems (bv. 60-90 cm diepte, in vergelijking met 0-30 cm diepte) meestal een lager gehalte aan organische stof (en dus een hogere bulkdichtheid) hebben, zou de berekende hoeveelheid nitraat per hectare in diepere bodems licht onderschat kunnen zijn.



# 3 Resultaten

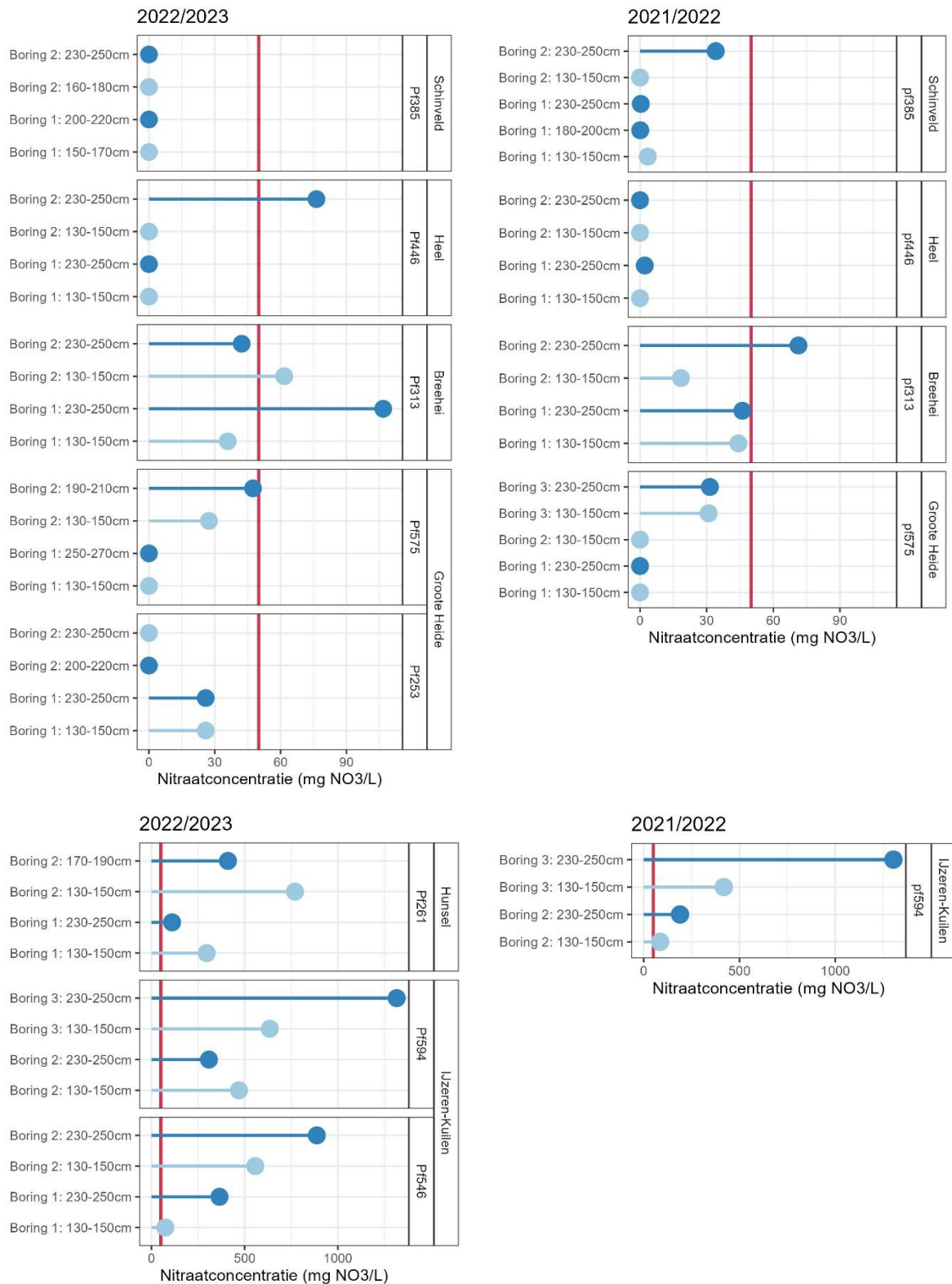
## 3.1 Nitraatconcentraties in bossen

De nitraatconcentraties in bodemvocht van 130-150 cm en 230-250 cm diepte zijn weergegeven in Figuur 2. De ammoniumconcentraties waren verwaarloosbaar: 17 van de 36 monsters hadden concentraties onder de detectiegrens, en de concentraties van de overige 15 monsters waren zeer laag, met een maximale concentratie van  $3,4 \text{ mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$  (zie Figuur 17 in Bijlage II). Daarom worden in onderstaande analyse alleen resultaten van nitraatconcentraties getoond.

De bossen van Schinveld, Heel en Groote Heide hadden zeer lage nitraatconcentraties, met slechts één boring (pf446-2, 230-250 cm diepte) die de nitraatnorm licht overschreed (Figuur 2, linksboven). De meeste van deze bossen zijn ook afgelopen winter gemeten (Figuur 2, rechtsboven) en hadden vergelijkbare nitraatconcentraties.

Het bos van Breehei had intermediaire nitraatconcentraties, rond de norm (Figuur 2 linksboven). Dat was ook zo in de vorige winter (Figuur 2, rechtsboven).

De bossen in IJzeren-Kuilen en Hunsel hadden constant hoge nitraatconcentraties, soms meer dan  $500 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  (Figuur 2, linksonder). Slechts één van de 3 bossen werd ook in het laatste seizoen gemeten (Figuur 2, rechtsonder), maar ook toen waren de nitraatconcentraties zeer hoog. Al de drie bossen met hoge  $\text{NO}_3$  concentraties hadden ondergroei die geassocieerd worden met eutrofe omstandigheden, zoals brandnetels en bramen. Een gedetailleerde beschrijving van de bossen en de bodems is te vinden in Tabel 3 in Bijlage I.



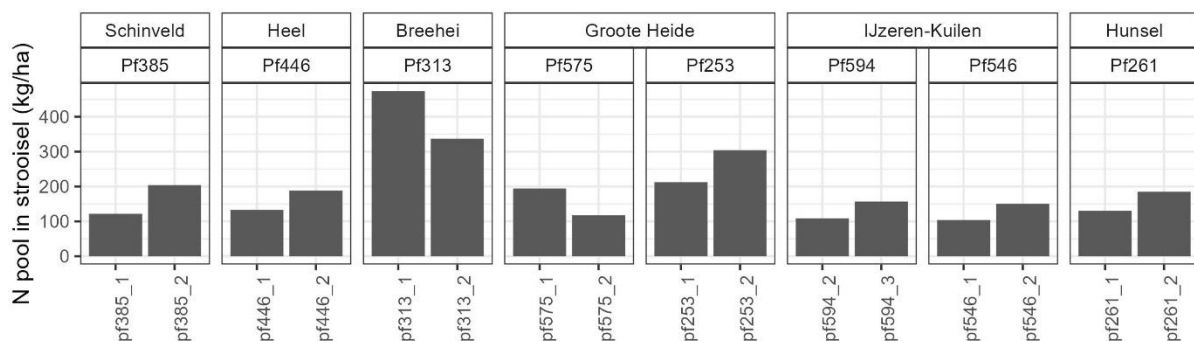
Figuur 2. Nitraatconcentraties in bodemvocht van 130-150 cm en 230-250 cm diepte van oude bos, gemeten in winter 2022/2023 (links) en winter 2021/2022 (rechts). De rode lijn toont de nitraatnorm van 50 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>. Let op: de waarden op de x-as verschillen per grafiek.

## 3.2 Eigenschappen van bovengrond van bossen

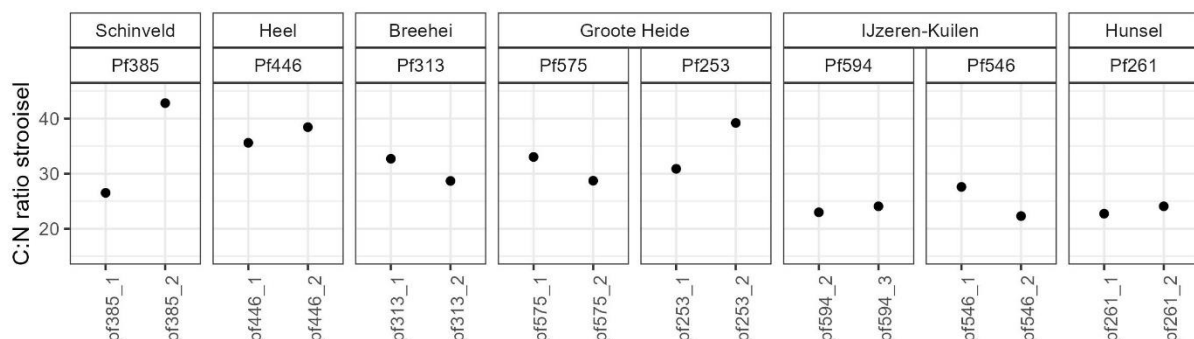
### 3.2.1 Eigenschappen van strooisel

De N-voorraden in de strooisellaag verschillen per locatie, maar de drie bossen met een zeer hoge nitraatuitspoeling (IJzeren-Kuilen en Hunsel) hadden niet bijzonder veel strooisel-N (Figuur 3). De C:N-verhouding van het strooisel was in die bossen vrij laag (Figuur 4). Het risico van NO<sub>3</sub> uitspoeling wordt hoog wanneer de C:N-verhouding van bosbodems of de organische laag lager is dan ca. 25, wat wijst op een sterke verzadiging met N (European Environment Agency, 2023). Deze 3 bossen lijken dus sterk verzadigd met N, mogelijk onder invloed van langetermijneffecten van atmosferische N-depositie (zie hoofdstuk 3.2.3). Waarschijnlijk wordt, anders dan in landbouwsystemen of jonge bossen, de geaccumuleerde N in oude bossen niet gemakkelijk verminderd door opname door planten, omdat zij zich min of meer in een evenwichtstoestand bevinden.

Noch het N-mineraal aanwezig in de strooisellaag (Figuur 5), noch de N-mineralisatiegraad van het strooisel (Figuur 6) was hoog voor de bossen met hoge NO<sub>3</sub>-uitspoeling. Dit is nogal verrassend, aangezien voor strooisel met een lage C:N-verhouding een hogere mineralisatiesnelheid wordt verwacht. Andere factoren, zoals de samenstelling van de micro-organismen, de vochttoestand en de pH speelden hier waarschijnlijk ook een rol.

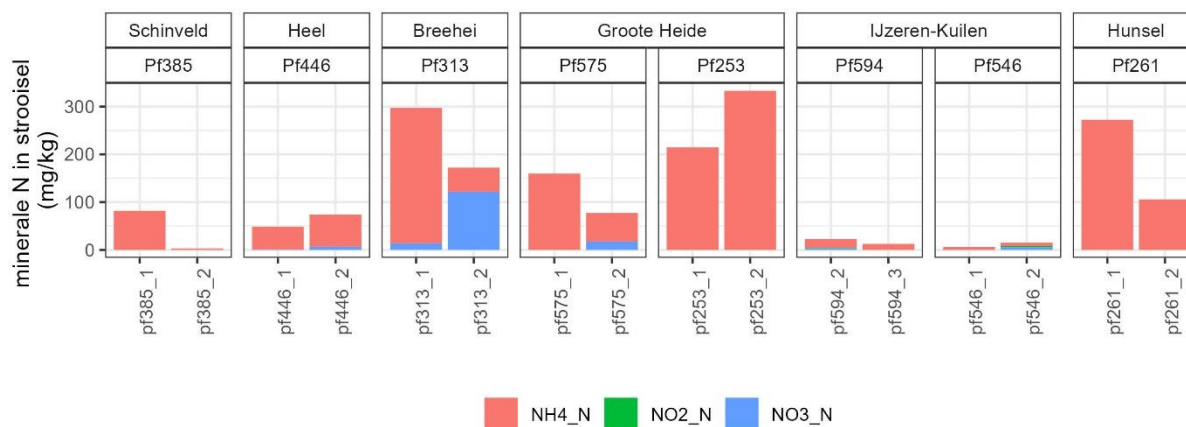


Figuur 3. Totaal gehalte van N in het strooisel.

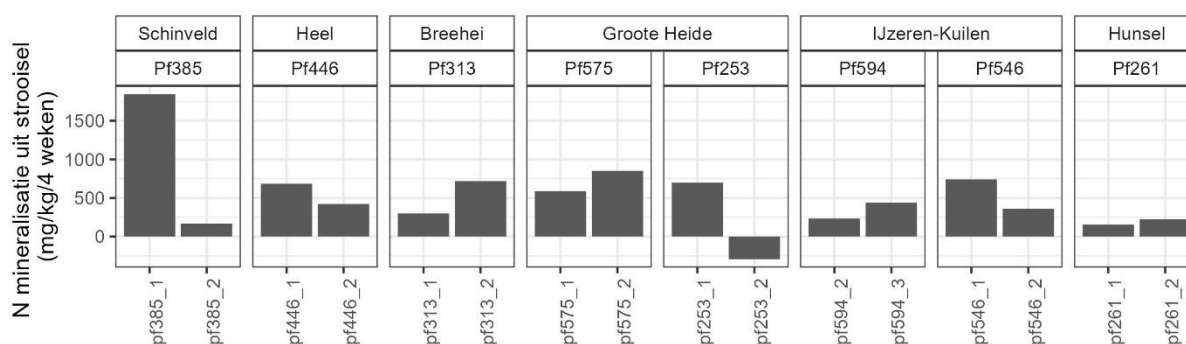


Figuur 4. C:N ratio van het strooisel.





Figuur 5. Minerale N ( $N-NH_4 + N-NO_3 + N-NO_2$ ) in het strooisel, geëxtraheerd met  $CaCl_2$ .



Figuur 6. Netto mineralisatiesnelheid van het strooisel, geïncubeerd in een klimaatkamer van 23 graden Celsius gedurende 4 weken bij veldvochtigheid.

### 3.2.2 Bodemeigenschappen bovengrond

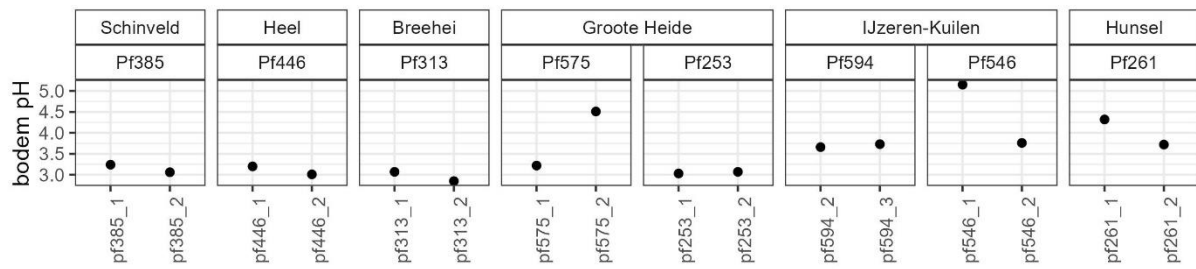
De pH van de bodem is over het algemeen zeer laag, tussen 2,85 en 5,15 (Figuur 7). De meeste (14 van de 16) bodems hadden een lagere pH dan de kritische pH-grens voor bosbodems (4,5; European Environment Agency, 2023). De drie bossen met een hoge  $NO_3$ -uitspoeling hadden een relatief hoge (hoewel nog steeds lage) pH, ten minste boven 3,5. Omdat IJzeren-Kuilen op lössgrond ligt, is de bodem waarschijnlijk iets beter gebufferd dan zandgrond.

De hoeveelheid bodem N is niet bijzonder hoog voor de drie bossen met hoge  $NO_3$ -uitspoeling (Figuur 8), maar hun C:N-verhouding was laag, allemaal onder 20 (Figuur 9), wat opnieuw wijst op een hoge mate van N-verzadiging.

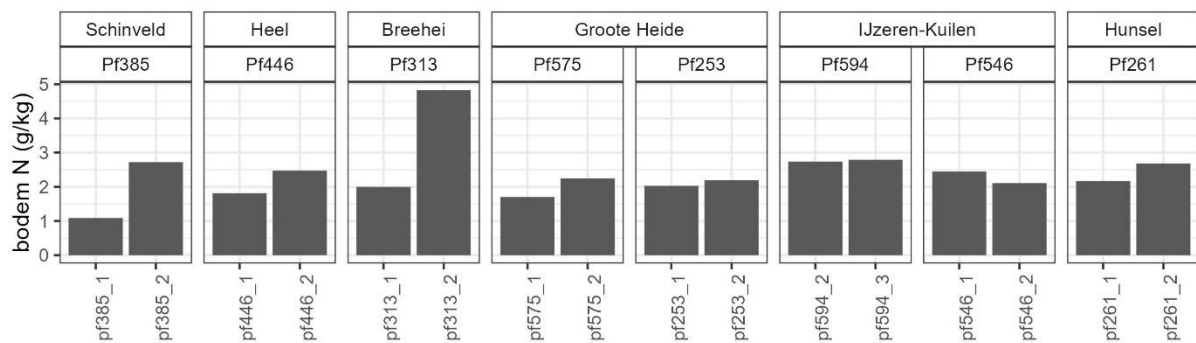
Minerale N in de bovenste laag van de bodem (0-30 cm) is zeer hoog voor bossen met hoge  $NO_3$ -uitspoeling (Figuur 10). In alle bodems met extreem lage pH (<3,5) was bijna geen  $NO_3$  aanwezig maar alleen  $NH_4$ , hetgeen wijst op remming van het nitrificatieproces.

Veel andere in de bodem gemeten parameters zijn opgenomen in Bijlage III. Opvallend was de grote mate waarin de kationenuitwisselcapaciteit (CEC) door aluminium werd bezet en de hoge aluminiumconcentratie voor sommige locaties (Figuur 19, Figuur 20), wat wijst op toxische Al-niveaus voor planten als gevolg van sterke verzuring. Een andere opmerking is een licht signaal van bodemverontreiniging met zware metalen voor alle locaties in IJzeren-Kuilen (pf594 en pf546) en een locatie in Grote Heide (pf575-2), zoals blijkt uit de vrij hoge concentratie van Cu, Zn, Co, Ni, enz. (Figuur 23). De metaalconcentratie kan mogelijk verhoogd zijn door verontreinigingsbronnen in de buurt (zoals

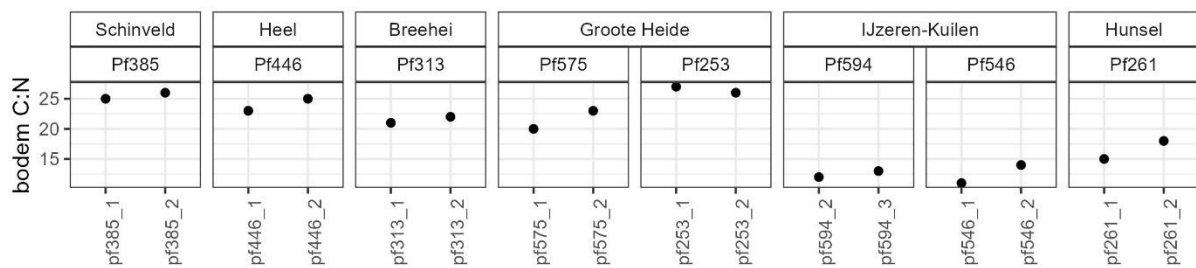
cementindustrie en vliegveld nabij de meetlocaties van IJzeren-Kuilen), maar dat is in deze studie niet verder onderzocht.



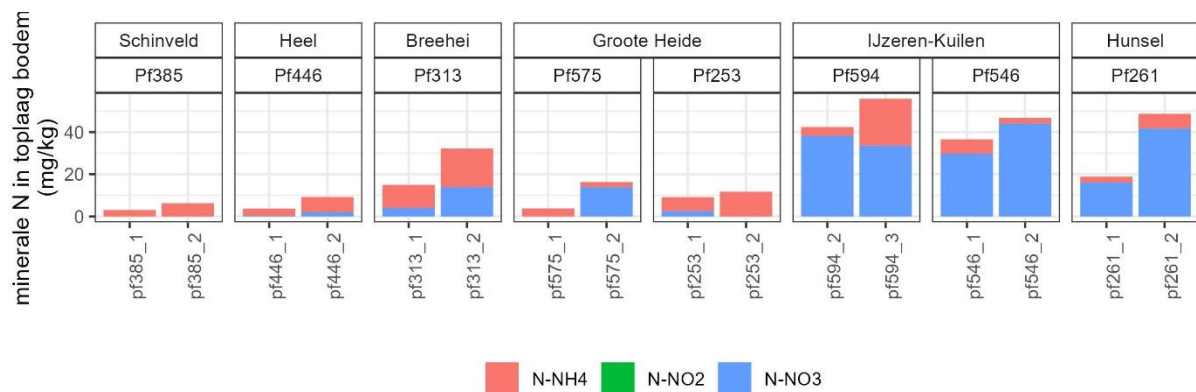
Figuur 7. pH van bodem toplaag, gemeten in  $CaCl_2$  extractie



Figuur 8. Totale N gehalte van bodem toplaag



Figuur 9. C:N ratio van bodem toplaag



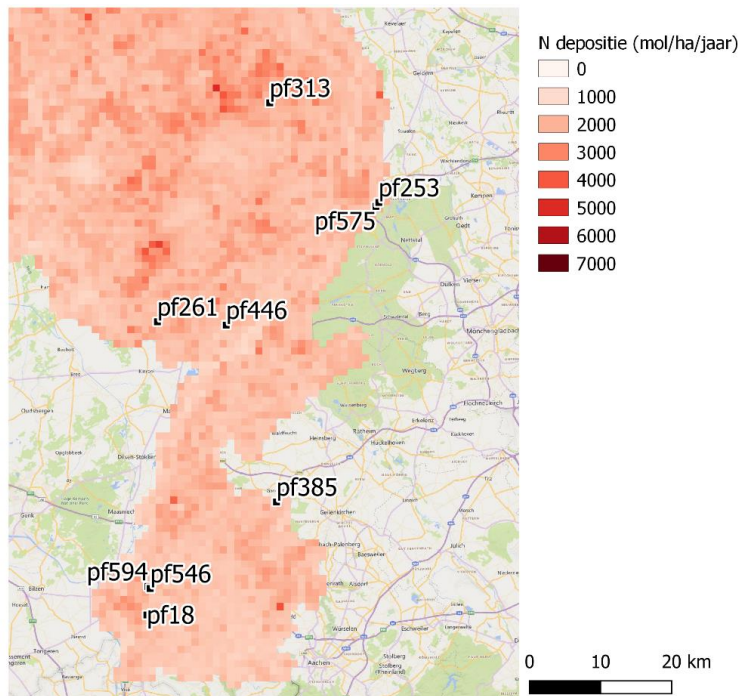
■ N-NH<sub>4</sub> ■ N-NO<sub>2</sub> ■ N-NO<sub>3</sub>

Figuur 10. Minerale N ( $N-NH_4+N-NO_3+N-NO_2$ ) in bodem toplaag

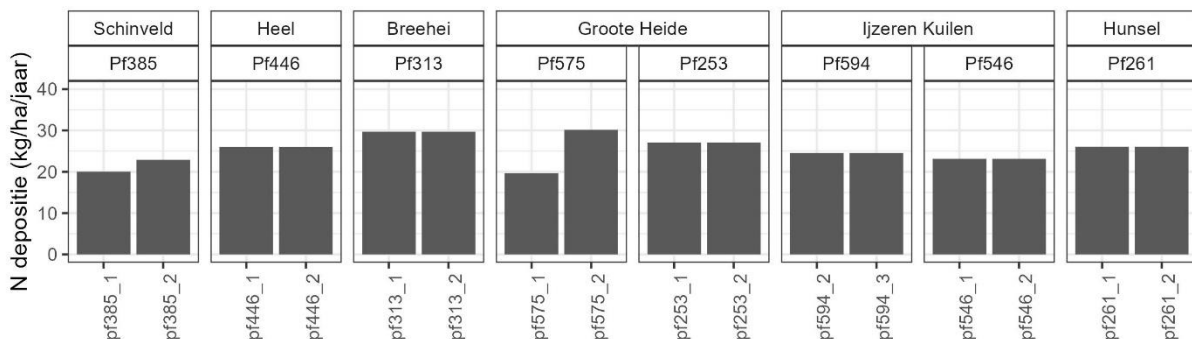
### 3.2.3 Atmosferische N depositie

Het atmosferische N-depositieniveau van het jaar 2021 werd ontleend aan de depositiekaart van het RIVM, met een resolutie van 1 km x 1 km (Figuur 11). De stikstofdepositie varieert tussen 20 en 30 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>, en het verschil tussen de locaties is niet groot (Figuur 12).

Door de grove resolutie van de depositiekaart is het wellicht niet mogelijk de lokale variatie van de N-depositie weer te geven. Bijvoorbeeld bevindt pf594-3 (IJzeren-Kuilen) zich aan de bosrand, zeer dicht bij een drukke snelweg. Zo'n locatie zou waarschijnlijk meer N-depositie ontvangen dan de gemiddelde hoeveelheid voor de 1x1 km-cel.



Figuur 11. Atmosferische stikstofdepositie (NHx + NO<sub>y</sub>, mol ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) van 2021, berekend met het OPS model door RIVM in een resolutie van 1x1 km. 1000 mol ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> is identiek aan 14 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>. Bron: [www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten/cijfers-achter-depositiekaarten/gdn-depositiebestanden-achterliggende-jaren](http://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten/cijfers-achter-depositiekaarten/gdn-depositiebestanden-achterliggende-jaren).



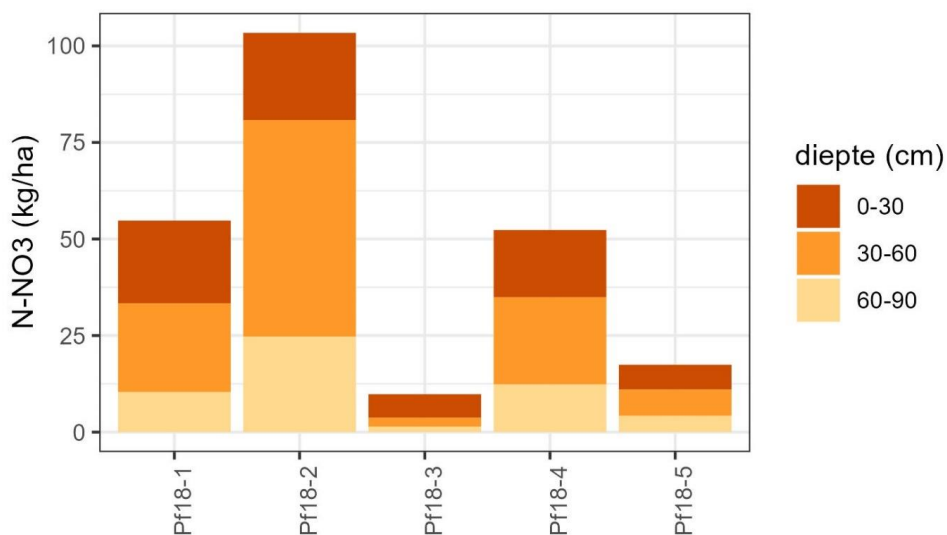
Figuur 12. Atmosferische stikstofdepositie (kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>) van het jaar 2021 voor elke meetlocaties, ontleend aan de depositiekaart van RIVM.



### 3.3 Nitraatconcentraties in kleinschalig biologisch perceel

Figuur 13 toont de nitraatconcentraties in de bodem van 0-90 cm diepte van de 5 onderzochte gewasstroken. De ammonium- en nitrietconcentraties zijn niet weergegeven, omdat de ammoniumconcentratie altijd onder de detectiegrens lag en de nitrietconcentratie zeer laag was (met als hoogste waarde  $0,01 \text{ kg N-NO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ). Merk op dat, in tegenstelling tot het vorige seizoen toen de nitraatconcentratie werd gemeten in het bodemvocht op 1,5 en 2,5 m diepte, de nitraatconcentratie dit jaar werd gemeten in de bovenste lagen van de bodem om de lokale effecten van verschillen in stikstofoverschotten te onderzoeken (Zie methode sectie 2.2.1 voor meer details).

Met uitzondering van de gewasstrook pf18-3 had de hoeveelheid nitraat in de bovenste 90 cm een duidelijk verband met de hoeveelheid mest die dit jaar was toegediend: pf18-2, de gewasstrook met het hoogste mestgebruik, had de hoogste nitraatconcentraties, gevolgd door pf18-1 en pf18-4 (matige mestgebruik) en pf18-5 (laagste mestgebruik). De locatie pf18-3 had zeer lage nitraatconcentraties in de bodem, ongeacht de hoge hoeveelheid toegediende mest. Op het moment van de bemonstering werden de bloemkolen geoogst en bleef de resterende plant staan, waardoor de bloemkool tot het moment van bemonsteren nog stikstof opnam en er weinig minerale N in de grond achterbleef. Bloemkool staat bekend om zijn hoge nutriëntenopname, soms tot  $310 \text{ kg N ha}^{-1}$  opname in een seizoen (Everaarts et al., 1996). Prei (geteeld in pf18-2) heeft daarentegen een laag N opname en laag N benutting vanwege de ondiepere en minder intensieve wortels (Van Der Meer & Spiertz, 1992; Haverkort et al., 1994). Aangezien meer dan de helft van de door bloemkool opgenomen stikstof terecht komt in de bladeren en stengels, zal het inwerken van de residuen in de bodem uiteindelijk de hoeveelheid beschikbare N voor het gewas van het volgende jaar verhogen (Tempesta et al., 2022). Bovendien lag de locatie pf18-2 van half maart tot eind juni braak terwijl een voorjaarbemesting plaatsvond. Dit zijn waarschijnlijk de oorzaken van de hogere nitraatconcentratie in pf18-2 dan pf18-3.



Figuur 13. Nitraatresidu in de bodemlagen op 0-30cm, 30-60cm, en 60-90cm diepte in 5 gewasstroken van het kleinschalige biologische perceel. Mestgebruik was hoog (pf18-2 en pf18-3), matig (pf18-1, pf18-4) en laag (pf18-5). Zie Tabel 2 voor de hoeveelheid mest en het gewasstype van elke strook.

# 4 Discussie

## 4.1 Oude bossen

In deze studie is de nitraatuitspoeling gemeten in acht oude bossen die gelegen zijn in waterwingebieden van WML. Drie bossen vertoonden zeer hoge  $\text{NO}_3$ -concentraties. De huidige metingen uit de winter van 2022/2023 bevestigen daarmee de resultaten van vorig jaar. De andere gemeten bossen hadden echter lage tot middelhoge nitraatconcentraties, onder of rond de norm.

De gemeten nitraatconcentraties zijn soms extreem hoog, tot meer dan  $1000 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ . De berekening is gevoelig voor de hoeveelheid bodemvocht. Omdat het vochtgehalte van sommige bodems zeer laag was, kan een kleine fout in de vochtmeting zorgen voor een grote onzekerheid in de berekende  $\text{NO}_3$ -concentraties. Wanneer een bodem bijvoorbeeld een laag vochtgehalte van 3% heeft, kan een weegfout van 1 g resulteren in een ongeveer 3 keer hogere berekende  $\text{NO}_3$ -concentratie. Echter, alle monsters met een hoge nitraatconcentratie ( $>500 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) hadden een bodemvochtgehalte groter dan 10%. Voor dit bereik veroorzaakt een weegfout van 1 g slechts een verhoging van ca. 20% van de berekende  $\text{NO}_3$ -concentratie. Weegfouten kunnen daarmee dus niet de hoge concentraties boven de  $1000 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  verklaren. Dit betekent dat er daadwerkelijk hoge nitraatconcentraties kunnen voorkomen onder boscystemen. Een hoge nitraatuitspoeling in Nederlandse bossen werd ook eerder waargenomen, hoewel het niveau niet zo extreem was als in deze studie. Eerdere studies laten concentraties zien die op kunnen lopen tot  $281 \text{ mg L}^{-1}$  in Veluwe (De Jong & Tietema, 2020), en tot circa  $500 \text{ mg L}^{-1}$  in Oost Gelderland (Mulder et al., 1991).

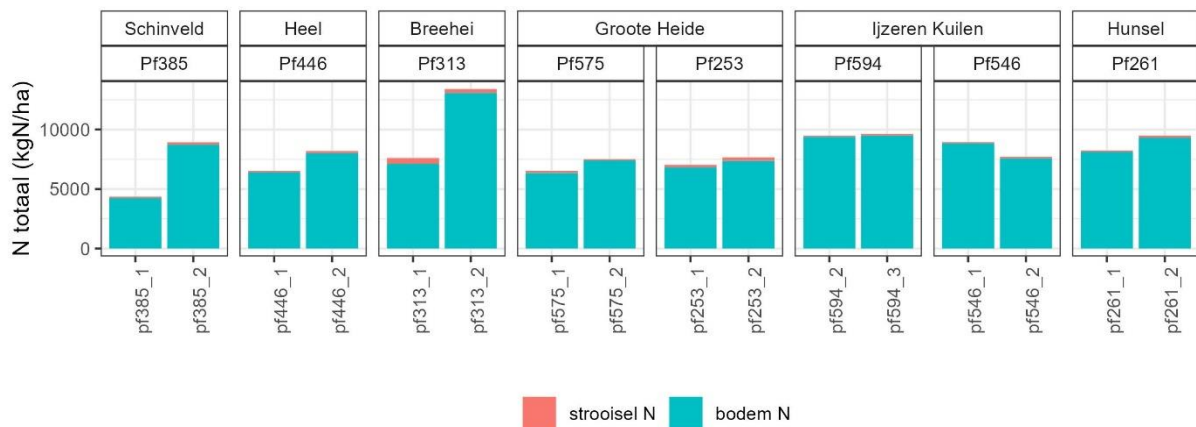
De accumulatie van atmosferische stikstofdepositie over de laatste decennia is waarschijnlijk een van de oorzaken van de hoge nitraatuitspoeling. Deze depositie zorgde daarmee voor verdergaande verzuring van de bosbodem. Ook de lage C:N-verhouding in de bodem wijst erop dat de bossen verzadigd zijn met stikstof. In tegenstelling tot landbouwsystemen waar stikstof door de oogst wordt afgevoerd, wordt in bossen, vooral oude bossen waar de boomgroei in evenwicht is, de stikstof opgeslagen in de bodem.

Om na te gaan of de gemeten  $\text{NO}_3$  uitspoeling in een realistisch bereik ligt, is de totale hoeveelheid N in de strooisellaag en de bodem van het bos berekend en uitgedrukt in kg per hectare (Figuur 14). Er zij op gewezen dat dit een ruwe schatting is, aangezien het strooisel op elke locatie slechts eenmaal is bemonsterd, en de bulkdichtheid van de bodem is geschat met een empirische relatie. Niettemin is het duidelijk dat het grootste deel van de stikstof in de bodemlaag aanwezig is, en de verschillen in de totale N-pool tussen de locaties niet erg groot zijn.

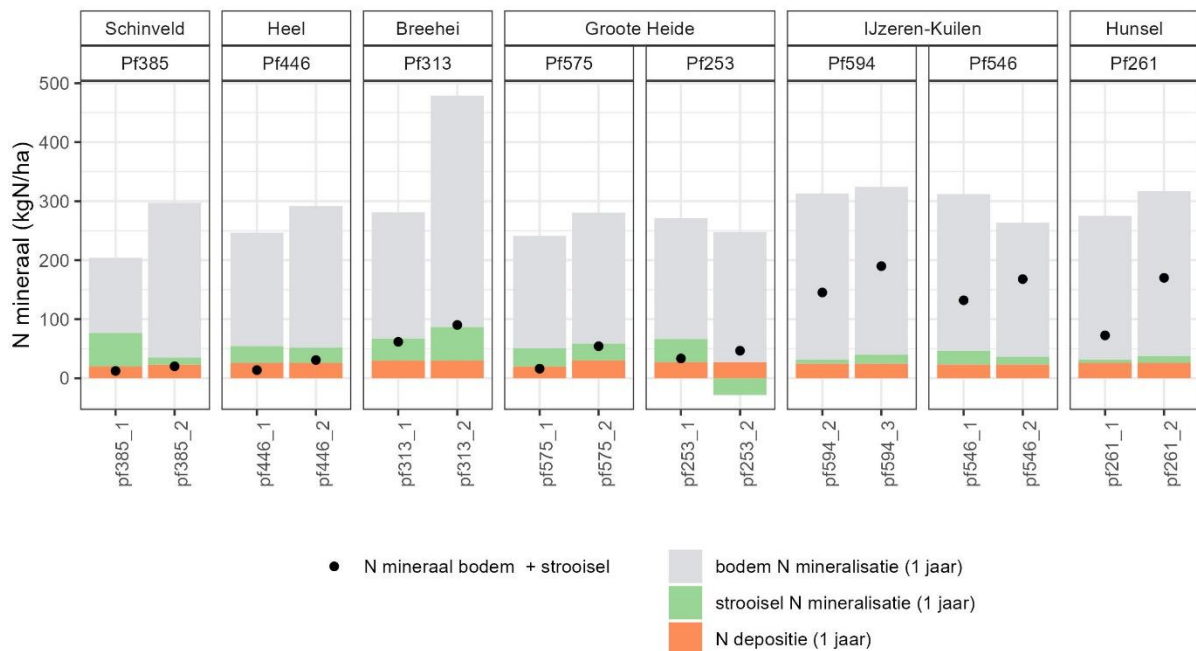
Figuur 15 toont de schattingen van jaarlijkse instroom van mineraal N in de bosbodem, dat wil zeggen het potentiële hoeveelheid stikstof die beschikbaar komt (of kan komen) voor uitspoeling. Deze bestaat uit netto mineralisatie uit de strooisellaag en de bodem topklaag, en atmosferische N-depositie. De mineralisatie uit de bodem was niet gemeten en is slechts een ruwe schatting op basis van bodem N totaal, met een aanname van 3% afbraak per jaar.

Wat is de mogelijke (maximale) hoeveelheid N-uitspoeling in deze bossen, en komt dat overeen met de gemeten (zeer hoge)  $\text{NO}_3$ -uitspoeling? Stel je de extreme situatie voor dat planten nauwelijks nutriënten

opnemen vanwege de verontreiniging met zware metalen en/of de Al-toxiciteit, of andere stressfactoren (bv. droogte). Dan hebben de drie bossen met de zeer hoge nitraatuitspoeling jaarlijks ongeveer 300 kg mineraal N per hectare over. Met een conservatieve aanname van 200 mm grondwateraanvulling per jaar leidt dit tot een gehalte van 150 mg N L<sup>-1</sup> in uitspoelingswater (of 664 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>). Dit is nog steeds niet genoeg om de hoge nitraatuitspoeling van hoger dan 1000 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> te verklaren. Mogelijke ontbrekende bronnen in onze berekening is N-mineralisatie uit diepere bodems. We hebben alleen bodems tot 30 cm diepte gemeten, maar oude bosbodems kunnen organische stof opslaan tot diepere lagen. Een andere mogelijke bron is externe input van N (bv. lokale piek in luchtvervuiling of geloosde spuiwater), of achtergebleven minerale N uit voorgaande jaren, maar de omvang van deze bronnen is waarschijnlijk klein.



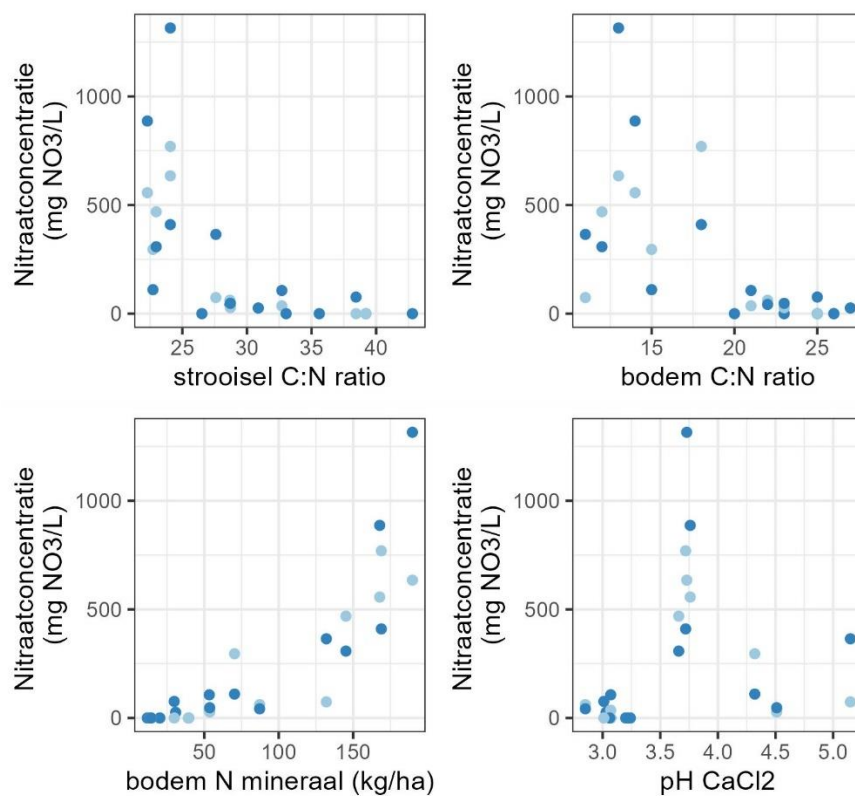
Figuur 14. Totale N-gehalte in strooisel en bodem toplaag (0-30 cm), berekend per oppervlakte.



Figuur 15. Schattingen van de jaarlijkse instroom van minerale N ( $N-NH_4+N-NO_3+N-NO_2$ ), die bestaat uit netto N-afbraak vanuit strooisel (strooisel N mineralisatie) en van bodem toplaag (bodem N mineralisatie) en atmosferische N depositie. De N-afbraak uit strooisel werd gemeten in klimaatkamers gedurende 4 weken en geëxtrapoleerd naar 1 jaar (zie methode). De N-afbraak uit de bodem wordt niet gemeten en is slechts een ruwe schatting op basis van bodem N totaal, met een aanname van 3% afbraak per jaar. Minerale N in strooisel en bodem toplaag gemeten in najaar is ook weergegeven met zwarte punten.

Er waren enkele bodem- en strooiselparameters die een sterk verband hadden met de  $\text{NO}_3$ -uitspoeling en daarom gebruikt zouden kunnen worden als indicator voor een hoge  $\text{NO}_3$ -uitspoeling. De C:N-verhouding van strooisel en bodem zijn beide negatief gecorreleerd met de nitraatuitspoeling (Figuur 16 boven). Dit is in overeenstemming met eerdere studies (Gundersen et al., 1998; Crowley & Lovett, 2017). De oorzaak van de lage C:N-verhouding (d.w.z. hoge N-verzadiging) is niet duidelijk uit onze studie gebleken. Het niveau van de atmosferische N-depositie kon de patronen van de C:N-verhouding niet rechtstreeks verklaren.

De hoeveelheid minerale N in de winter vertonen een sterke positieve relatie met de nitraatconcentratie (Figuur 16 linksonder). De pH van de bodem heeft geen direct verband met nitraatuitspoeling (Figuur 16 rechtsonder), maar alle bossen met een extreem lage pH (pH  $\sim$  3) hadden een lage nitraatuitspoeling, mogelijk als gevolg van sterk belemmerde microbiële activiteiten zoals afbraak en nitrificatie.



Figuur 16. Relatie tussen nitraatconcentratie in bodemvocht in 130-150 cm diepte (licht blauw) en 230-250 cm diepte (donker blauw) en strooisel C:N ratio (linksboven), bodem C:N ratio (rechtsboven), bodem minerale N (linksonder) en bodem pH (rechtsonder).

In de literatuur over de Nederlandse bossen is een discussie gaande over (grootschalige) toepassing van steenmeel en kalk om de verzuring in bossen tegen te gaan. Toepassing van mineraalrijk steenmeel zal naar verwachting de buffercapaciteit en de pH van de bodem, die door de verhoogde N depositie in de afgelopen decennia sterk verzuurd is, verbeteren en daarmee de ecologische toestand. De langetermijneffecten van een dergelijke maatregel op de nitraatuitspoeling zijn grotendeels onbekend. Sommige van de bemonsterde bossen in deze studie hadden een extreem lage pH (<3), wat gepaard gaat met belemmerende afbraak- en nitrificatieprocessen en derhalve met lage nitraatuitspoeling. De toepassing van steenmeel op deze bossen kan verschillende effecten hebben op de bodemprocessen, zoals het herstel van de microbiële activiteiten in de verzuurde bodems, waardoor de mineralisatie en het nitrificatieproces kunnen worden gestimuleerd, en het herstel van de nutriëntenopname door planten. Of de toepassing van steenmeel een positief effect heeft op de nitraatuitspoeling hangt af van

het evenwicht tussen deze verschillende effecten, en is zonder gebruik te maken van een verzuringsmodel moeilijk te voorspellen. Een studie van de toepassing van steenmeel op bossen liet een sterke toename van strooisel-afbrekende soorten mycoflora zien (Brouwer et al. 2023). Meer onderzoek naar de effecten van de toepassing van steenmeel op bodemprocessen zal helpen bij de evaluatie van de toepasbaarheid van de maatregel voor verschillende soorten bossen met specifieke omstandigheden.

## 4.2 Kleinschalig biologisch perceel

In het biologische perceel, varieerde de hoeveelheid minerale N in de bovenste 90 cm van de bodem tussen gewasstroken, van 10 tot 103 kg N ha<sup>-1</sup>. De uitspoelingfractie (de fracties van bodem N overschot die als nitraat uitspoelt naar het grondwater), gekalibreerd voor het nitraatuitspoelingsmodel van Limburg (Ros et al., 2021), is ongeveer 0.47 (mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> per kg N overschot ha<sup>-1</sup>). Met deze uitspoelingfractie, bedraagt de kritische hoeveelheid minerale N-bodemvoorraad in de late herfst (na oogst) om te voldoen aan de nitraatnorm van 50 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> ongeveer 106 kg N ha<sup>-1</sup>. Alleen de gewasstrook prei (met hoog mestgebruik) ligt dichtbij de kritische waarde, en de andere vier gewasstroken liggen ruim onder de kritische waarde. Een van de gewasstroken met een lage hoeveelheid minerale N (pf18-3) had wel een hoog mestgebruik, maar het lijkt dat de hoge opname van het gewas (kool + nateelt bloemkool) de hoge N aanvoer heeft gecompenseerd.

Afgelopen winter (jaar 2021/2022) waren de nitraatconcentraties in bodemvocht onder pf18-1, na de oogst van sla, 76 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (130-150 cm diepte) en 83 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (230-250 cm diepte), hoger dan de norm. De nitraatconcentratie onder pf18-2 na de oogst van bloemkool lag onder de norm (35 en 29 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>), ondanks het hogere mestgebruik in pf18-2 dan in pf18-1. Dit kan ook worden toegeschreven aan de hoge N opname en hoge N benutting van bloemkool.

Uit deze waarnemingen kan worden geconcludeerd dat het overschot aan stikstof (d.w.z. het verschil tussen de aanvoer door mest en de opname van gewas) rechtstreeks verband houdt met de hoeveelheid minerale N die na de oogst in de bovengrond achterblijft, en met de nitraatuitspoeling naar het grondwater. In die zin weerspiegelden de relatief hoge NO<sub>3</sub>-concentraties die vorig jaar in het biologisch perceel werden waargenomen, een lokale piek van het N-overschot, en het negatieve effect van een dergelijke lokale piek op het hele perceel baart geen grote zorgen. Het blijft belangrijk het bemestingsniveau zorgvuldig af te stemmen op de behoefte van het gewas.



# 5 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies uit de analyse van acht oude bossen zijn als volgt:

- In bijna alle onderzochte bossen is sprake geweest van een sterke verzuring van de bodem, waarbij de pH van 14 van de 16 bemonsterde bodems onder de kritische pH-grens (4,5) ligt en het risico op aluminiumtoxiciteit toeneemt. Voorts is de C:N-verhouding van bodem en strooisel laag, wat wijst op een hoge mate van N-verzadiging. Dit is waarschijnlijk het gevolg van langdurige effecten van atmosferische N-depositie.
- De meeste bossen werden gekenmerkt door een lage tot matige nitraatuitspoeling. De bossen met een extreem lage pH (<3) hadden een lage nitraatuitspoeling, mogelijk als gevolg van sterk belemmerende afbraak- en nitrificatieprocessen.
- Drie bossen met een relatieve hoge pH (~4.5) hadden een hoge nitraatconcentratie die ver boven de norm lag en dus een groot risico vormen om stikstof te verliezen naar het grondwater. De hoeveelheid uitgespoelde stikstof is groter dan de jaarlijkse atmosferische N depositie. Het resterende deel moet daarmee afkomstig zijn vanuit de bosbodem.
- Er is een verband tussen hoge nitraatuitspoeling en lage C:N-verhouding van de toplaag van de bodem en het bosstrooisel (wat wijst op een hoge N-verzadigingsgraad van het bossysteem), alsook met hoge minerale N-concentratie in de bodem toplaag in najaar.

De conclusies uit de analyse van het biologische perceel zijn als volgt:

- De nitraatuitspoeling van het biologische perceel was laag tot matig. Er is geen groot risico op verhoogde nitraatconcentraties in het uitspoelende water van het perceel.
- Het blijft belangrijk het bemestingsniveau zorgvuldig af te stemmen op de gewasbehoefte.

De aanbevelingen op basis van deze studie zijn als volgt:

- Om een beter inzicht te krijgen in waar en waarom er in het bossysteem hoge nitraatuitspoeling optreedt, verdient het aanbeveling een meetcampagne te houden in meer bossen, verspreid over de regio. Metingen van de minerale N-concentratie in de bovengrond in het begin van de periode met een neerslagoverschot zijn een snelle en goedkope manier om het risico van N-uitspoeling te beoordelen.
- Voor locaties waar de N-uitspoeling zeer groot is, en een eenvoudige balansbenadering deze uitspoeling niet kan verklaren, dan is het de moeite waard te onderzoeken waar de N vandaan komt. De bepaling van stikstofisotopen ( $^{14}\text{N}$  en  $^{15}\text{N}$ ) geeft bijvoorbeeld aan hoeveel van de neergeslagen N afkomstig is van de industrie en hoeveel van de landbouw.
- Om het effect van de nitraatuitspoeling vanuit bossen op de grondwaterkwaliteit van de gehele waterwingebieden te evalueren, wordt aanbevolen een systeemanalyse uit te voeren om de bijdrage van de verschillende typen landgebruik aan de nitraatuitspoeling te kwantificeren. Op die manier kan de relatieve bijdrage van de landbouw en de natuur worden geëvalueerd en daarmee kunnen maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit efficiënt worden ontworpen.

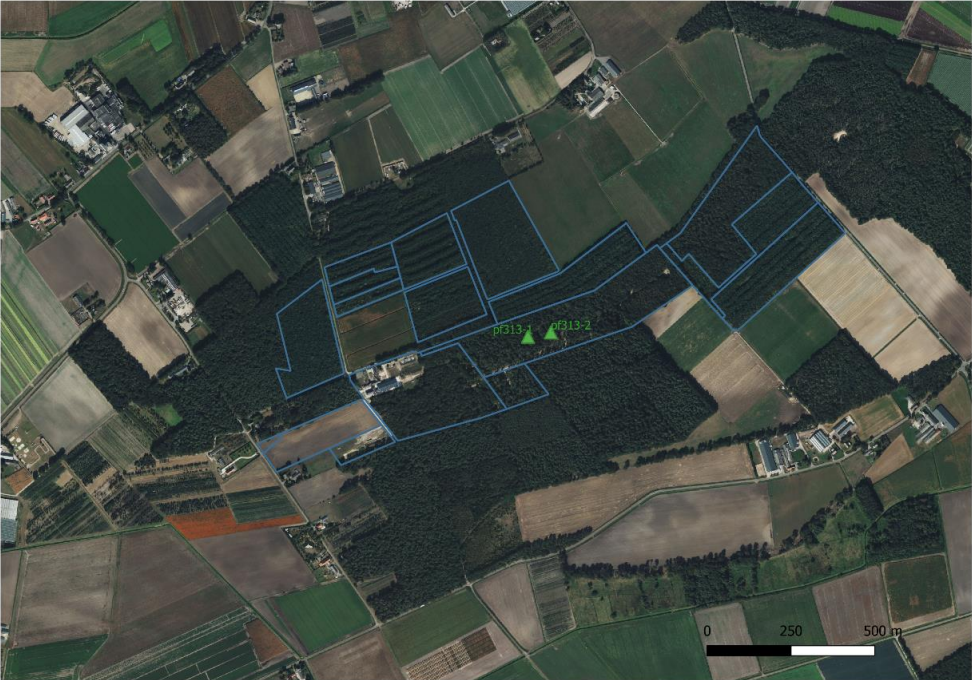
- Maatregelen voor vitale bossen, zoals het aanbrengen van steenmeel, worden steeds vaker toegepast, maar het effect daarvan op de nitraatuitspoeling is nog niet goed begrepen. Een goed opgezette monitoring op lange termijn van de effecten van dergelijke maatregelen op bodemprocessen en nitraatuitspoeling zal waardevol zijn om de effecten van de maatregelen te evalueren.

## 6 Literatuur

- Coleman K & Jenkinson DS** (1996). *RothC-26.3 - A Model for the Turnover of Carbon in Soil*. In Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets, edited by D.S. Powlson, P. Smith, & J.U. Smith, 237–46. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Crowley KF & Lovett GM** (2017). *Effects of Nitrogen Deposition on Nitrate Leaching from Forests of the Northeastern United States Will Change with Tree Species Composition*. Canadian Journal of Forest Research 47 (8): 997–1009.
- De Jong M & Tietema A** (2020). *Nitraatuitspoeling Onder Bos Overschrijdt Drinkwaternorm Vaker Dan Gedacht*. H2O 24: 26–27.
- European Environment Agency** (2023). *Soil Monitoring in Europe - Indicators and Thresholds for Soil Health Assessments*. 08/2022. EEA Report. Copenhagen: European Environment Agency.
- Everaarts AP, De Moel CP, & van Noordwijk M** (1996). *The Effect of Nitrogen and the Method of Application on Nitrogen Uptake of Cauliflower and on Nitrogen in Crop Residues and Soil at Harvest*. Netherlands Journal of Agricultural Science 44: 43–55.
- Fujita Y, Thijssen D, & Ros GH** (2022). *Nitraatmetingen Op Percelen in Eigendom van WML*. NMI Rapport 1858.N.21. Wageningen: Nutrient Management Institute BV.
- Fujita Y, Verweij S, & Ros G** (2021). *Development Carbon Monitoring Protocol. A Testcase for Three Farms in the Netherlands*. NMI Rapport 1831.N.21. Wageningen: Nutrient Management Institute BV.
- Gordon AM, Tallas M, & Van Cleve K** (1987). *Soil Incubations in Polyethylene Bags: Effect of Bag Thickness and Temperature on Nitrogen Transformations and CO<sub>2</sub> Permeability*. Canadian Journal of Soil Science 67: 65–75.
- Gundersen P, Callesen I, & de Vries W** (1998). *Nitrate Leaching in Forest Ecosystems Is Related to Forest Floor CN Ratios*. Environmental Pollution 102 (1, Supplement 1): 403–7.
- Haverkort AJ, Zwart K, Struik PC, Dekker P, & Bosch H** (1994). *Themadag Stikstofstromen in de Vollegrondsgroenteteelt*. Themaboekje / Proefstation Voor de Akkerbouw En de Groenteteelt in de Vollegrond; No. 18. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond.
- Mulder J, van Beek CGEM, & Dierx HAL** (1991). *Effecten van Atmosferische Depositie Op de Chemische Samenstelling van Grondwater Onder Bos*. H2O 17: 490–93.
- Ros GH, de Pater J, & Kusters E** (2021). *Update Uitspoelingsfracties Nitraatmodel Zuid-Limburg*. NMI rapport 1857.N.21. Wageningen: Nutrient Management Institute BV.
- Tempesta M, Pennisi G, Gianquinto G, Hauser M, & Tagliavini M** (2022). *Contribution of Cauliflower Residues to N Nutrition of Subsequent Lettuce Crops Grown in Rotation in an Italian Alpine Environment*. Agronomy for Sustainable Development 42 (2): 25.
- Van Der Meer H & Spiertz J** (1992). *Agrobiologische Thema's Stikstofstromen in Agro-Ecosystemen*.

# Bijlage I. Meetlocaties

## Breehei (pf313)



Pf313-1

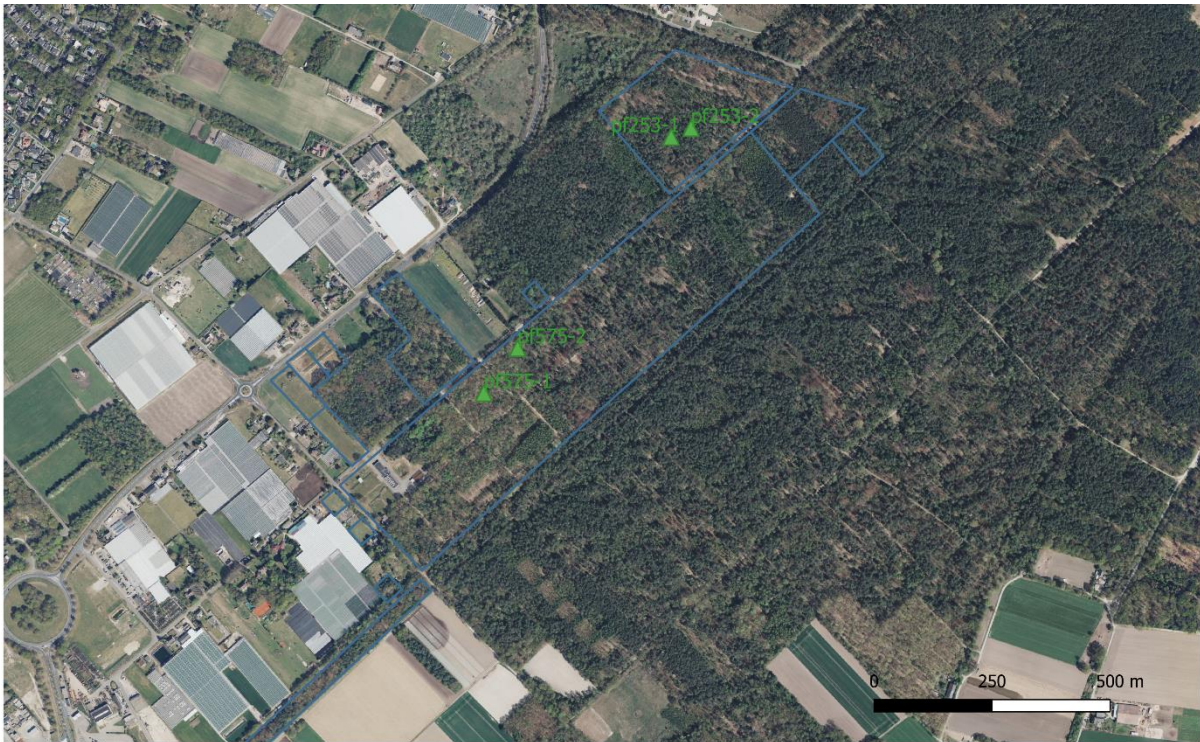


Pf313-2





## Groote Heide (pf575, 253)



pf575-1



pf575-2



pf253-1



pf253-2





Heel (pf446)



Pf446-1



Pf446-2





## Hunsel (pf261)



pf261-1



pf261-2





## IJzeren-Kuilen(pf546, pf594)



pf546-1



pf594-2

pf546-2

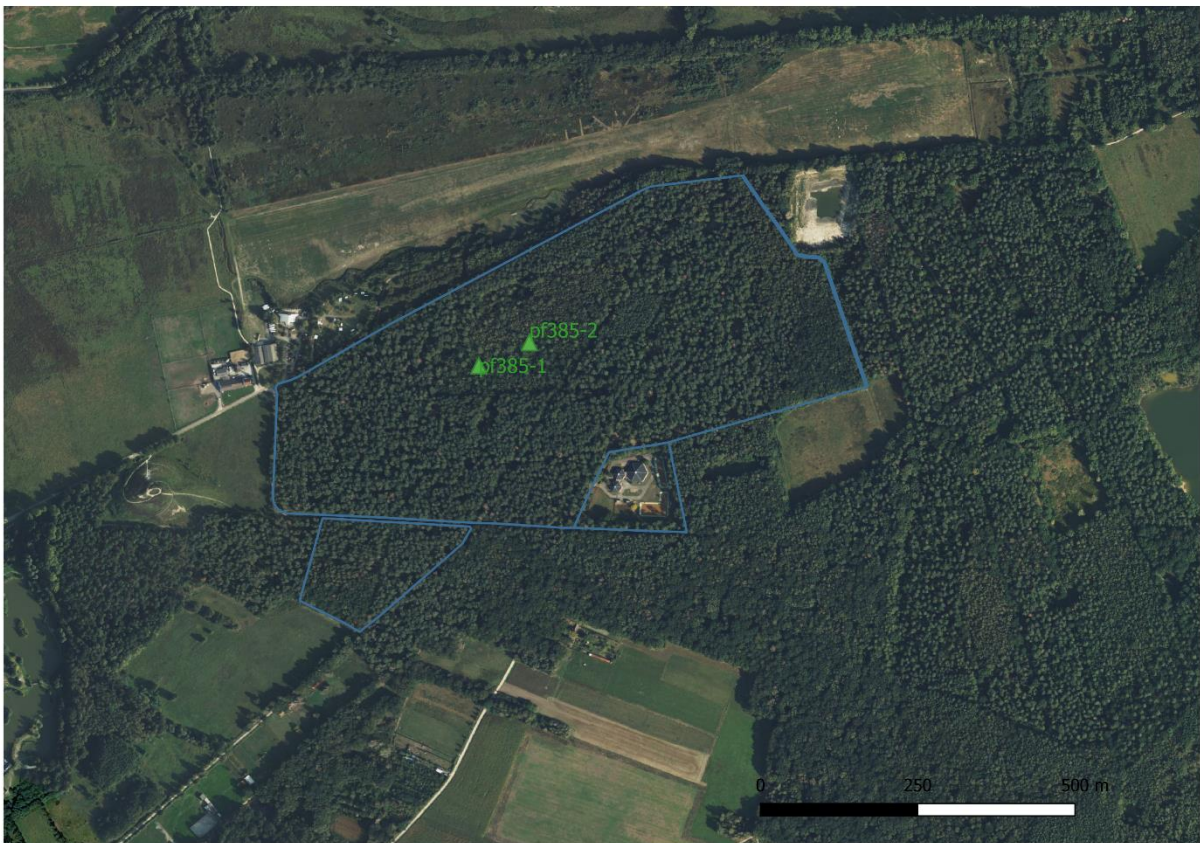


pf594-3





## Schinveld (pf385)



pf385-1



pf385-2





## Heer-Vroendaal (pf18)

pf18-1



pf18-2



pf18-3



pf18-4



pf18-5





Tabel 3. Opmerkingen over bos ondergroei en bodem.

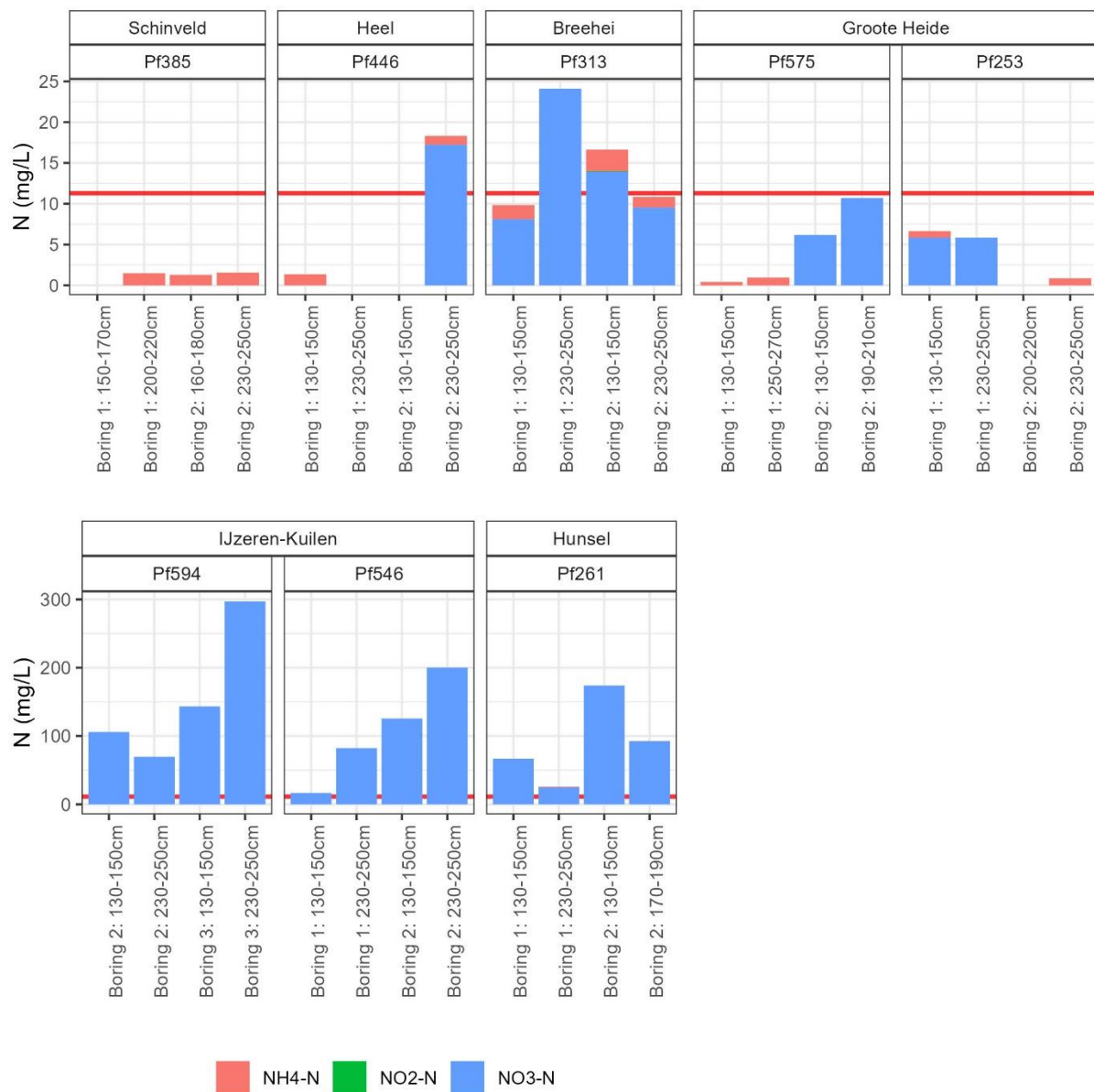
plotID	Opmerking ondergroei	Opmerking bodem
pf446-1	veel mos met varens	5cm humeuze grond
pf446-2	veel mos met varens	
pf313-1	dikke strooisellaag, veel varen en mos	zwarte grond van 90-150 cm, wortels gevonden op 130-150cm, het lijkt wel een begraven podzolgrond
pf313-2	dikke strooisellaag, veel varen, mos en gevallen takken	zwarte grond van 140-180 cm, wortels gevonden op 130-150cm
pf575-1	gevallen takken	5cm organische stof laag
pf575-2		wortels gevonden op 130-150cm, grind op 200 cm
pf594-2	bramen, gevallen takken (maar minder dan 594-3)	
pf594-3	bramen, brandnetels, varen, veel gevallen takken	
pf385-1	veel mos	veel grind en ijzer op 200-220 cm
pf385-2	mos (maar minder dan 385-1)	
pf253-1	veel mos en gras (pijpenstrootje)	grind van 0-200cm
pf253-2	veel mos en gras (pijpenstrootje)	grind van 0-200cm
pf546-1	rommelige ondergroei, met veel gevallen takken, varen, bramen, brandnetel	wortels gevonden op 230-250cm
pf546-2	open ondergroei, veel gevallen takken	wortels gevonden op 130-150 en 230-250cm
pf261-1	brandnetel en bramen, gevallen takken	zeer humeuzen grond tot 15cm
pf261-2	brandnetel	50cm humeuzen bovengrond, grond stinkt beetje

Tabel 4. Achtergrondinformatie over de bossen, verstrekt door terreinbeheerders.

plotID	pompstation	Leeftijd (jaar)	Opmerking door terreinbeheerder
pf313-1	Breehei	65	In 2018 zijn er 2 nieuwe pompputten in de nabijheid van de monsterpunten gerealiseerd. Bij het in bedrijf nemen van de pompputten zijn er vele m3 water in het gebied geloosd. Over bosonderhoud: in 2015 is er een lichte bosdunning uitgevoerd, hierdoor is er meer openheid ontstaan in het kronendak maar ook op de bosbodem. Spontane bosverjonging met soorten als berk en eik hebben positief op de bosdunning gereageerd.
pf313-2	Breehei	65	
pf575-1	Groote Heide	50	loofhout opstand voornamelijk eiken/berken/beuken (circa 1970), lichte dunning omstreeks 2005, pompputten in de nabijheid, voor 2022 spuiwater van de pompputten in de bosvakken geloosd.
pf575-2	Groote Heide	50	
pf253-1	Groote Heide	70	gemengde opstand met grove den /eik (circa 1950), geen pompputten in de directe nabijheid, veel stormschade in 2013, omgewaaide bomen verwijderd, waarbij het takhout is geklepeld, daarna de stormgaten met bosplantsoen ingeplant
pf253-2	Groote Heide	70	
pf446-1	Heel	70	Bosdunning 2010, lichte dunning, naaldhoutopstand (1950), in 2013 nieuwe pompputten (rode pijlen) gerealiseerd waarbij spuiwater in de aangrenzende bosvakken is geloosd.
pf446-2	Heel	70	
pf261-1	Hunsel	28	Bosaanleg 1994, realisatie nieuwe pompput 2008 (spuiwater in bosvak geloosd), bosdunning in 2012
pf261-2	Hunsel	28	
pf594-2	IJzeren-Kuilen	40	<p>loofbos voornamelijk elzen, geen bosonderhoud vanaf 1995 uitgevoerd, dassenburcht aanwezig, overstortvijver OPB IJzeren Kuilen, gebied met sinkholes in de periode tunnetaanleg A2, 2 pompputten in de directe nabijheid van de monsterpunten gelegen.</p> <p>Op zo'n 30m1 afstand is een doline (één á twee jaar geleden gevallen sinkhole) van 3x3m ca. 2,5m diep, Löss met mos op de bodem. Mogelijk als gevolg van overmatige waterinstroom door eenmalige lozing van pompproefspuiwater, of toch een natuurlijke recente doline.</p> <p>Veel dunne bomen egaal verdeeld. Volvelds brandnetel en/of bramen ondergroei. Voor de leeftijd van het bos, aanplant ca. eind jaren '70 begin jaren '80 (1980) is het slecht gegroeid, maar wel gezonde bomen.</p>

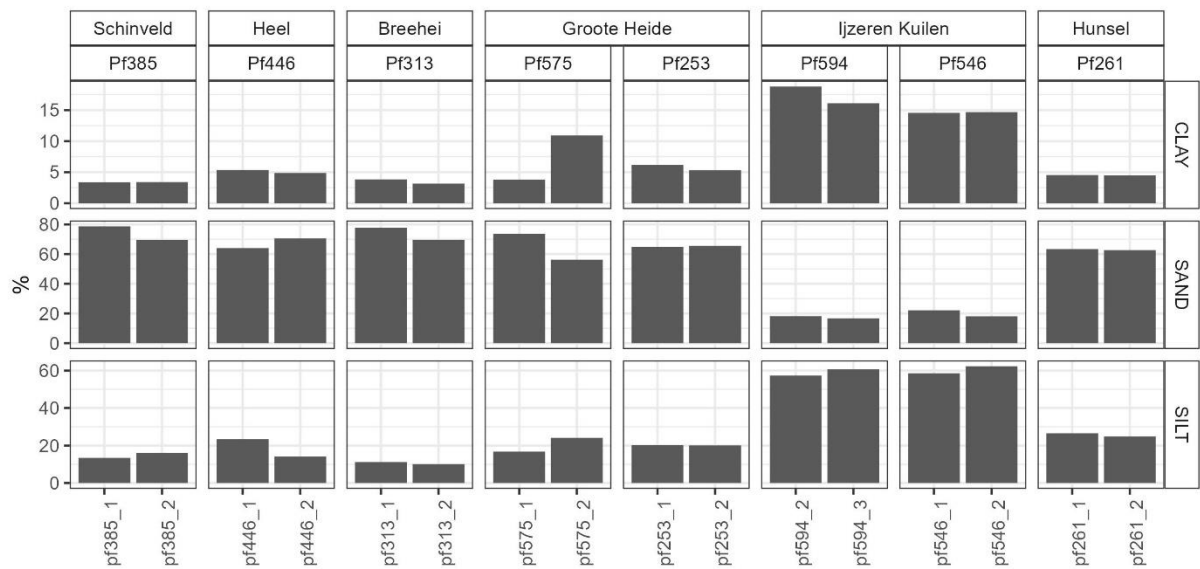
pf594-3	IJzeren- Kuilen	40	Vergelijkbaar met pf594-2. Veel dunne bomen egaal verdeeld maar wel erg dunne houtstand, boorlocatie lijkt iets opener. Op die plek volvelds brandnetel en/of bramen ondergroei. Voor de leeftijd van het bos, aanplant ca. eind jaren '70 begin jaren '80 (1980) is het slecht gegroeid, maar wel gezonde bomen. Wat boomgroei betreft oogt het eerder armoedig / schraal, dat past eerder bij zand- dan op lössgrond. Maar geen aanwijzingen van extreem rijke bodem. Ja, een vruchtbare bodem maar zeker niet vreemd of overdreven rijk.
pf546-1	IJzeren- Kuilen	?	<p>loofbos kersen/eiken/essen, geen bosonderhoud vanaf 1995 uitgevoerd, 1 pompput in de directe nabijheid van de monsterpunten gelegen</p> <p>Veel struikvormige ondergroei. Niet veel kruidenlaag. Veel mos op stammen en takken wijst permanent vochtig en schaduw. Ook veel (dode) vlier. Aanwezige boomvormers groeien goed en vormen een (vrijwel) gesloten kruinlaag. Vruchtbare bodem maar ook hier wijst niets op extreme rijke bodem.</p>
pf546-2	IJzeren- Kuilen	?	Heel weinig ondergroei. Diverse flinke hazelaarstruiken. Het lijkt verder eerder armoedig. Dode (gevallen) vlierstruiken en prunus op enige afstand. Veel droog blad maar zelfs geen kruidenvegetatie. Geen enkele aanwijzing van (extreem) rijke bodem.
pf385-1	Schintel d	?	Naaldbos en gemengd loof/naaldbos, 2008 bosdunning uitgevoerd
pf385-2	Schintel d	?	

# Bijlage II. Ammoniumconcentratie



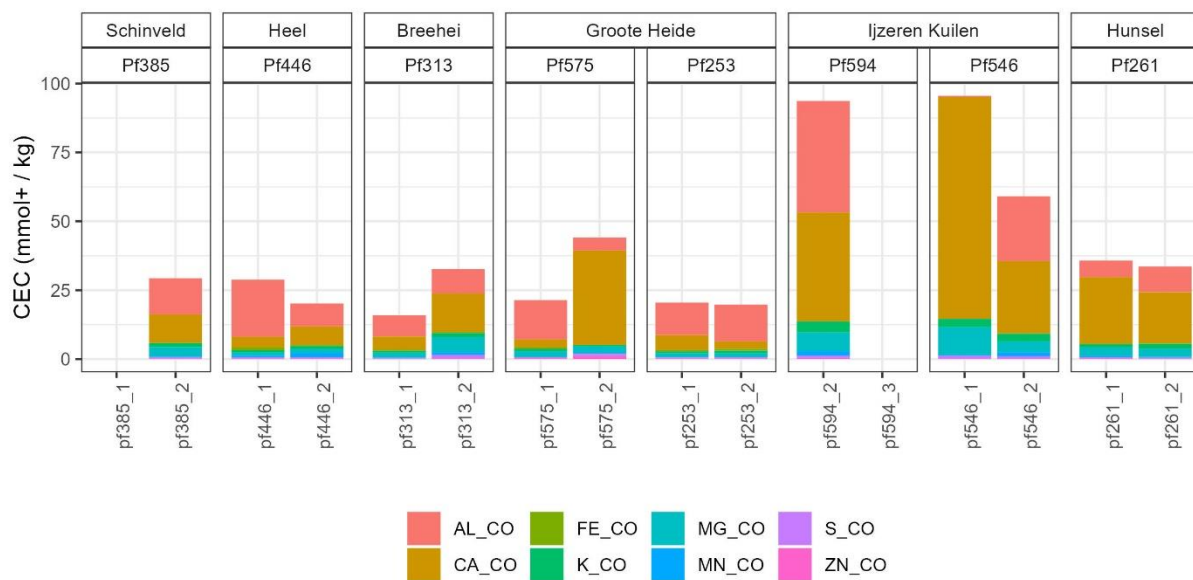
Figuur 17. Stikstofconcentratie in bodemvocht in oud bospercelen, voor  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , en  $\text{NO}_3$  afzonderlijk. Rode lijn toont de nitraatnorm van  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  ( $= 11,3 \text{ mg N L}^{-1}$ ).

# Bijlage III. Overige bodem metingen

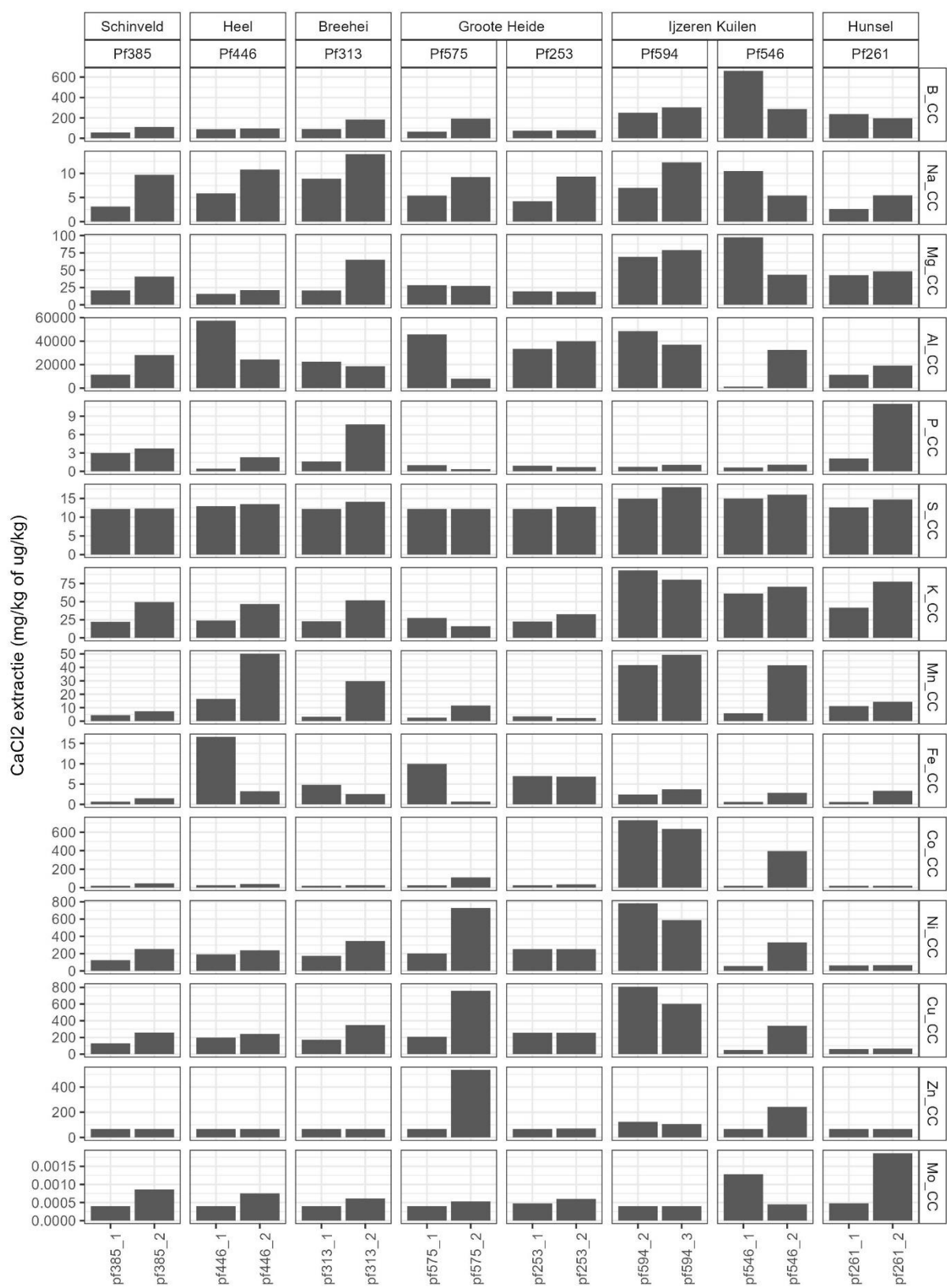


Figuur 18. Zand, silt en kleigehaltes van bodem toplaag.

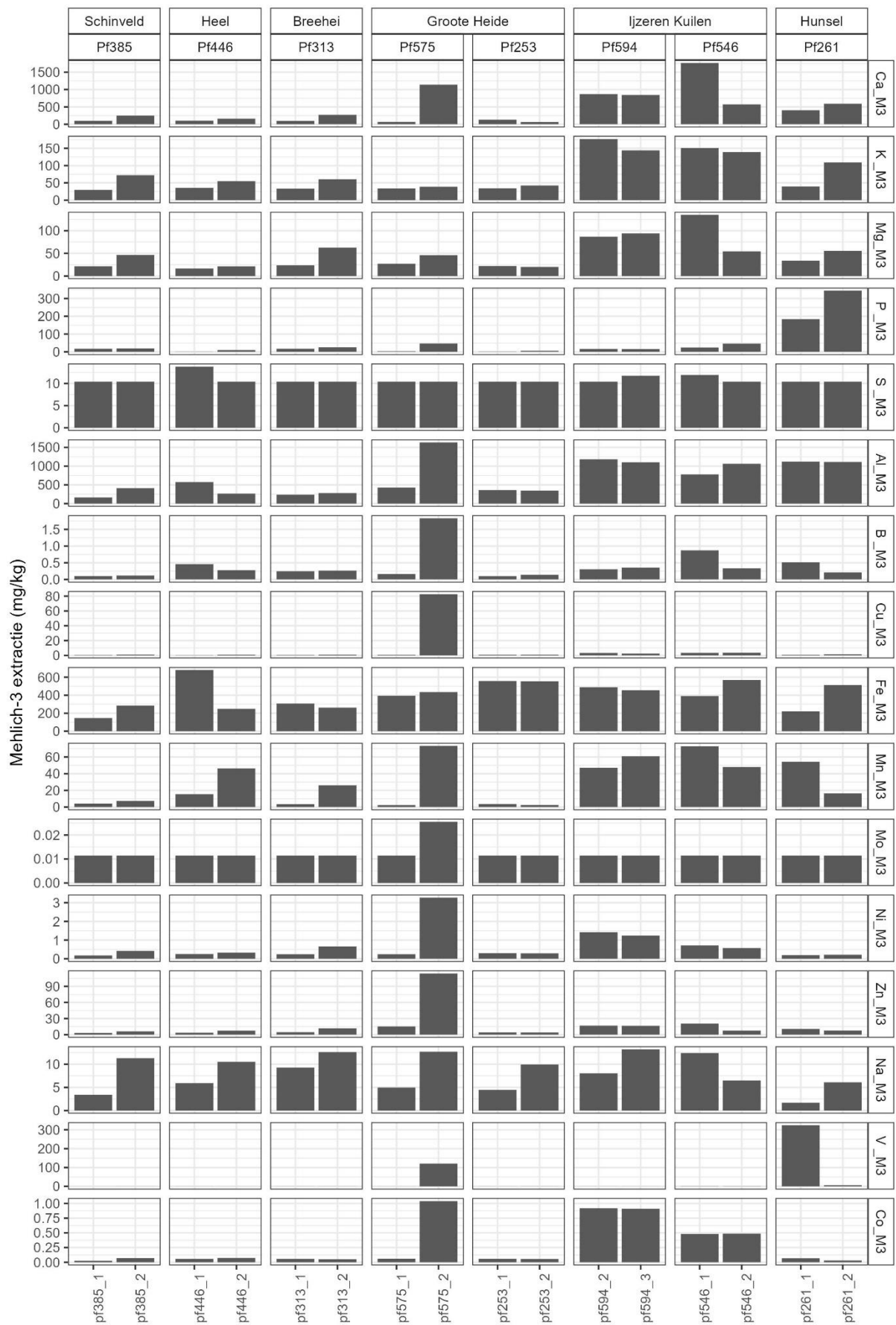




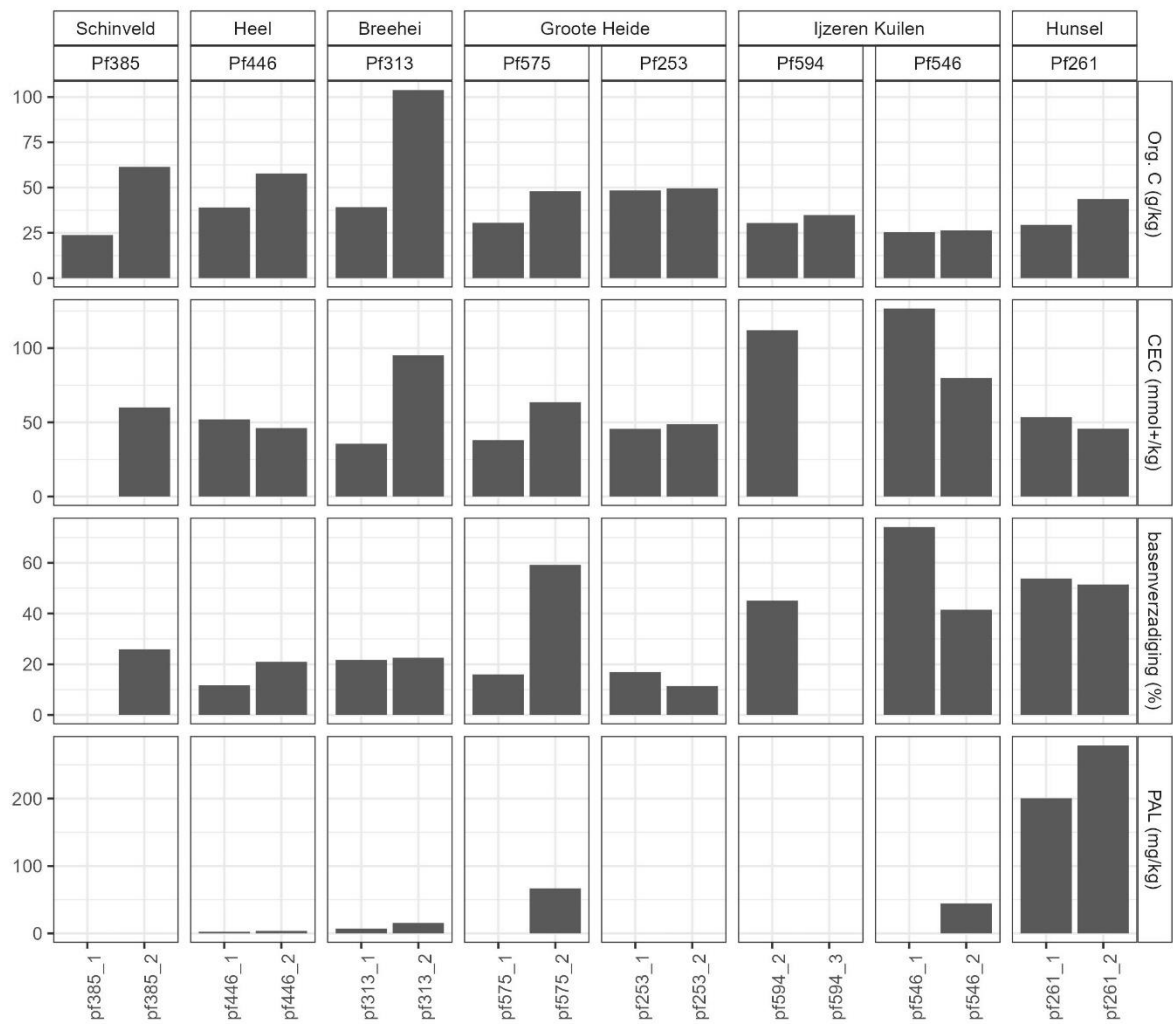
Figuur 19. CEC-bezetting van verschillende kationen in toplaag bodem. CEC was gemeten met de Cohex methode. Gegevens voor twee monsters (594-3 en 385-1) ontbreken omdat de Cohex-extractie mislukte vanwege de ongeschikte kwaliteit van de monsters.



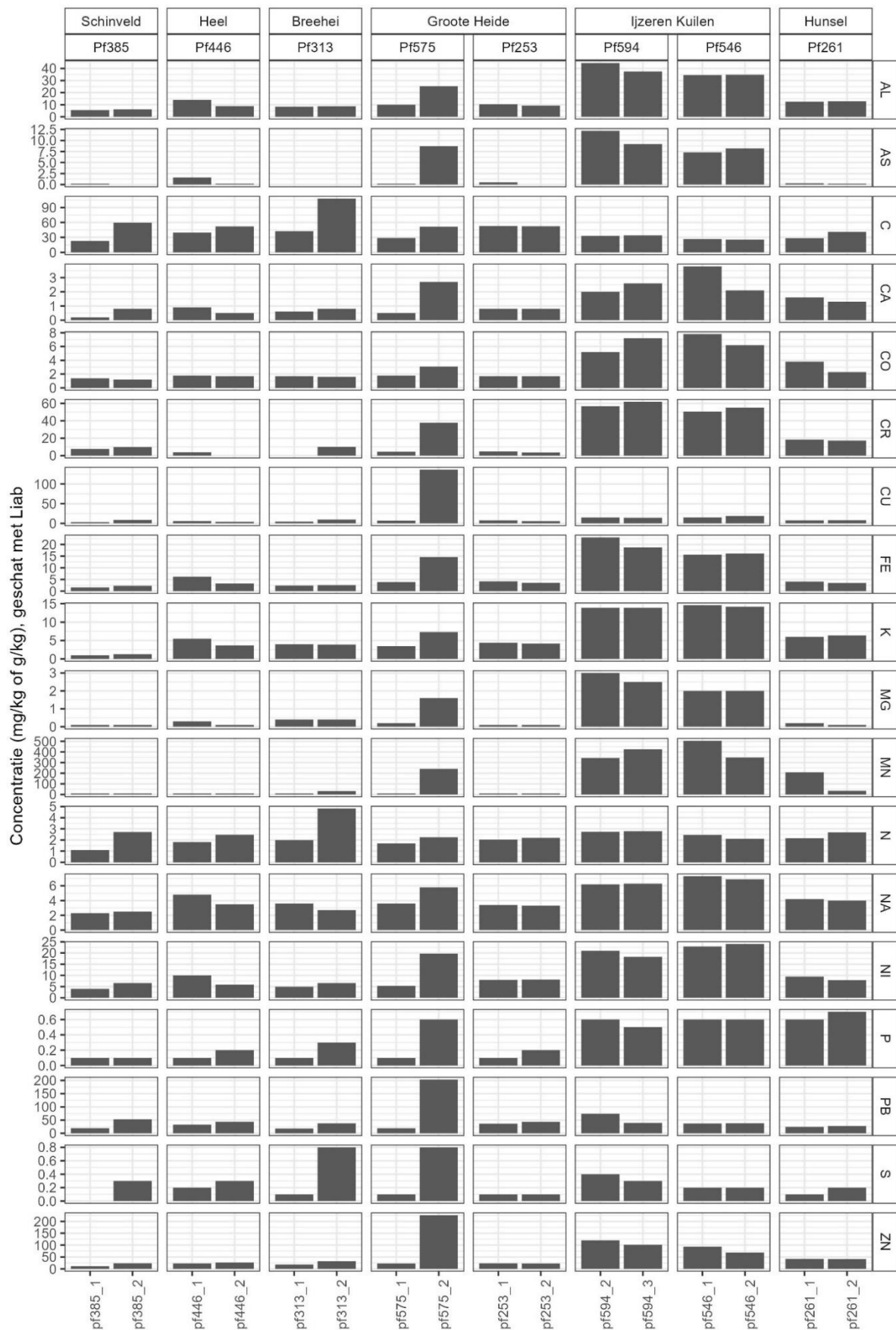
Figuur 20. Concentratie van elementen gemeten via een CaCl<sub>2</sub> extractie van toplaag van bodem. Eenheid is mg kg<sup>-1</sup> voor Na, Mg, P, S, K, Mn, Fe, en Mo, µg kg<sup>-1</sup> voor de rest.



Figuur 21. Concentraties van Mehlich-3 extractie van toplaag bodem.



Figuur 22. Organische C gehalte, CEC, basenverzadiging (door Ca, Mg, K, Na) en PAL van bodem toplaag. Gegevens voor twee monsters (594-3 en 385-1) ontbreken voor CEC en basenverzadiging omdat de Cohex-extractie mislukte vanwege de ongeschikte kwaliteit van de monsters.



Figuur 23. Totale concentraties in toplaag bodem, geschat op basis van metingen met FTIR- en XRF-scanner. Eenheid is:  $g\ kg^{-1}$  voor Al, C, Ca, Fe, K, Mg, N, Na, P en S,  $mg\ kg^{-1}$  voor de rest.





Nutriënten Management Instituut BV  
Nieuwe Kanaal 7c  
6709 PA Wageningen