



Effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem

Een pilotstudie

Colofon

Dit rapport is uitgebracht in het kader van het project Revitalisering met houtoogst (BO-43.10-005-020). Dit project is onderdeel van het Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma (MMIP) 'Bos, Bomen, Natuur' en mogelijk gemaakt met financiering van het ministerie van LNV.

Auteursrecht

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Foto voorzijde	Een dode beukenstam in verteringsstadium 5-6 op Kroondomein Het Loo
Fotograaf	Loes Kampherbeek

Wijze van citeren

Kampherbeek, L., J. H. Bouwman, S. Jacobs & S. J. van der Vlist. 2026. *Effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem. Een pilotstudie*. Wageningen Environmental Research & Bosgroep Midden Nederland.

Samenstelling

Loes Kampherbeek	Bosgroep Midden Nederland
Jaap Bouwman	Bosgroep Midden Nederland
Silke Jacobs	Wageningen Environmental Research
Sarah van der Vlist	Bosgroep Midden Nederland

Productie

Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)	
Adres	Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon	0343 – 745 250
E-mail	obn@vbne.nl



Inhoud

Inhoud	1-3
Samenvatting	1-4
1 Inleiding	1-5
1.1 Aanleiding	1-5
1.2 Doelstelling en hypothesen	1-6
1.3 Leeswijzer	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2 Methode	2-7
2.1 Studiegebieden	2-7
2.2 Bemonstering en metingen	2-8
2.3 Chemische analyse	2-11
2.4 Statistische analyse	2-12
3 Resultaten	3-13
3.1 Effect dood hout op de bodem	3-13
3.2 Effect afbraakstadium	3-17
4 Synthese	4-19
5 Bronvermelding	5-21
Bijlage 1. Aanvullende resultaten	5-23

Samenvatting

Uit eerder onderzoek blijkt dat de bodemkwaliteit in bossenopstanden met weinig dood hout niet verschilt van de bodemkwaliteit in bossenopstanden met veel dood hout. Wel is er een lokaal effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem. Dit is aangetoond in meerdere onderzoeken waarbij de toplaag van de bodem is bemonsterd op verschillende afstanden tot dood hout. Op de hogere zandgronden in Nederland is uitspoeling van nutriënten als gevolg van verzuring en het infiltreren van regenwater een knelpunt in veel bossen. De vraag is of dit ook gebeurt met de nutriënten die vrijkomen tijdens het verteren van het dode hout. In deze pilotstudie is het effect van dood beukenhout op de nutriëntensamenstelling in diepere bodemlagen (tot 50 cm-mv) van nutriënten onderzocht. Ondanks het geringe aantal bemonsteringslocaties onder dode beukenstammen is er voor verschillende nutriënten - Ca, K, Mg, Mn & P - een hoger gehalte onder de stam gevonden dan ernaast. In de diepere bodemlagen, op 40-50 cm diepte, is enkel een verhoogd gehalte van K gevonden onder de stam. De methode die gebruikt is in dit onderzoek is bruikbaar voor verder onderzoek naar het effect van dood hout op de bodem.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Er is steeds meer aandacht voor dood hout in Nederlandse bossen. Dood hout is een belangrijke component in bosccosystemen (van Maaren et al., 2024). Dood hout vormt een habitat voor veel (dood hout-gebonden) soorten en speelt een rol in de nutriëntenkringloop en bodemontwikkeling (Lassauce et al., 2011; Lasota et al., 2018; Piaszczyk et al., 2019).

Wanneer dood hout wordt afgebroken komen de voedingsstoffen uit het hout vrij. Deze vervliegen deels en komen deels terecht in de bodem. Uit een onderzoek op Kroondomein Het Loo is gebleken dat de nutriëntensamenstelling in bosreservaten met veel dood hout (142-295 m³ per hectare) niet verschilt van de nutriëntensamenstelling in de bodem van beheerde bossen (Nijssen et al., 2021). Dit resultaat werd ook gevonden in een onderzoek van Fayt et al., (2008). Uit een onderzoek van Dhiedt et al., (2019) naar de nutriëntensamenstelling van de bodem onder en naast dode beukenstammen in twee bosreservaten in Vlaanderen blijkt dat dood beukenhout een groter effect heeft op de nutriëntensamenstelling in de strooisellaag dan in de toplaag van de bodem en het effect afneemt wanneer de afstand tot de stam toeneemt. Deze relatie werd ook gevonden in het onderzoek van Fayt et al., (2008) waar direct naast dode beukenstammen een hogere pH en hoeveelheden van kalium (K), fosfor (P), calcium (Ca), mangaan (Mn) en magnesium (Mg) en lagere gehalten aan aluminium (Al) in de bovenste 20 cm van de bodem werden gevonden dan op 5 meter afstand van de stam. Deze onderzoeken tonen aan dat het effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem zeer lokaal is.

Op de hogere zandgronden in Nederland is infiltrerend regenwater een belangrijke factor in de distributie van nutriënten in de bodem. Infiltrerend regenwater kan, wanneer voedingsstoffen niet worden opgenomen door bomen en planten, zorgen voor uitspoeling van nutriënten. Door deze processen ontstaan de zogenoemde podzolgronden. In verzuurde bodems treedt dit proces van uitspoeling sneller op (De Schrijver et al., 2011). Uit onderzoek naar fossiele en actuele bosbodems in Gelderland blijkt dat de podzolgronden sterk zijn uitgelopen als gevolg van infiltrerend regenwater en verzuring (Kieskamp et al., 2022). Dood hout kan op deze bodems een bron zijn van nutriënten, wanneer de nutriënten niet direct uitzakken naar diepere bodemlagen. Nutriënten uit dood hout worden minder snel vrijgegeven dan nutriënten uit strooisel, waardoor de kans op opname hoger is en de kans op uitspoeling kleiner (Harmon & Chen, 1991). Onbekend is of de nutriënten die vrijkomen bij de vertering van dood hout in zure, regenwater gevoede, Nederlandse bosbodems zich ook verplaatsen richting diepere bodemlagen. Daarom is in deze pilotstudie onderzocht wat het effect is van dood beukenhout op de nutriëntensamenstelling van de bodem op 0-10 cm diepte, 20-30 cm diepte en 40-50 cm diepte op verschillende afstanden van de stam.

1.2 Doelstelling en hypothesen

Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen wat de bijdrage is van verterend dood hout aan de mineralenbalans op podzolgronden in Nederland en of deze nutriënten enkel beschikbaar komen in de bovengrond of ook beschikbaar komen in diepere bodemlagen. Vanwege de kostbaarheid van het analyseren van bodemmonsters is gekozen voor een pilotstudie om eerst te testen of de gebruikte methode voldoet om antwoord te geven op deze vraag en of er een indicatie is voor uitspoeling van nutriënten.

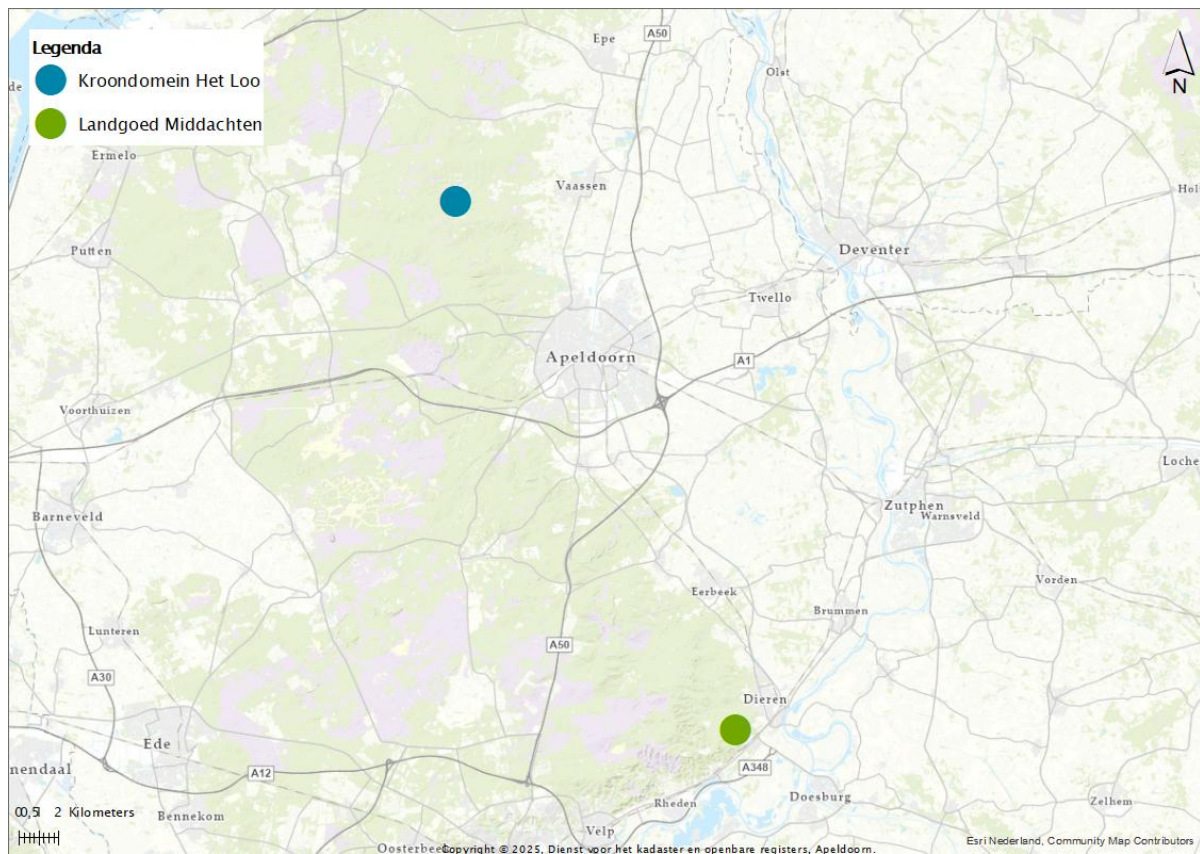
De hypothesen zijn:

- Onder en direct (20 cm afstand) naast de dode beukenstammen is een verhoogde concentratie van kalium, calcium, magnesium, mangaan, fosfor en zwavel aanwezig. Deze verhoogde concentratie is ook meetbaar in diepere bodemlagen.
- Onder en direct naast de dode beukenstammen is een stijging van de pH waar te nemen in vergelijking met de andere afstanden tot de dode beukenstammen. Deze stijging in pH is ook meetbaar in diepere bodemlagen.
- Onder en direct naast de dode beukenstammen is een lagere concentratie aan Al waar te nemen. Dit is ook meetbaar in diepere bodemlagen.

2 Methode

2.1 Studiegebieden

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in twee studiegebieden op de Veluwe in Nederland; Kroondomein Het Loo en Landgoed Middachten (Figuur 2-1). De bodemtypen op Landgoed Middachten en Kroondomein Het Loo zijn holtpodzolgronden, bestaand uit leemarm tot zwak lemig zand op Kroondomein Het Loo en sterk lemig zand op Landgoed Middachten. Op Kroondomein Het Loo is de bodem onder en naast zes beuken bemonsterd (Figuur 2-2), op Landgoed Middachten is de bodem onder en naast drie beuken bemonsterd (Figuur 2-3). De locaties hebben een zeeklimaat met een 30 jaar gemiddelde hoeveelheid neerslag van 795 mm en temperatuur van 10,5 °C (KNMI, 2025).



Figuur 2-1. Ligging van Kroondomein Het Loo en Landgoed Middachten op de Veluwe.

2.2 Bemonstering en metingen

Voor het nemen van de bodemonsters zijn beukenstammen geselecteerd in verschillende verteringsstadia. Voor het bepalen van de verteringsstadia is gebruik gemaakt van de kenmerken in Tabel 2-1. Er zijn in totaal negen beuken geselecteerd, waarvan drie stammen in verteringsstadium 1, drie stammen in verteringsstadium 3 en drie stammen in verteringsstadium 5-6. De stammen in de laatste klasse vertoonden kenmerken van allebei de stadia (Figuur 2-2 & Figuur 2-3).

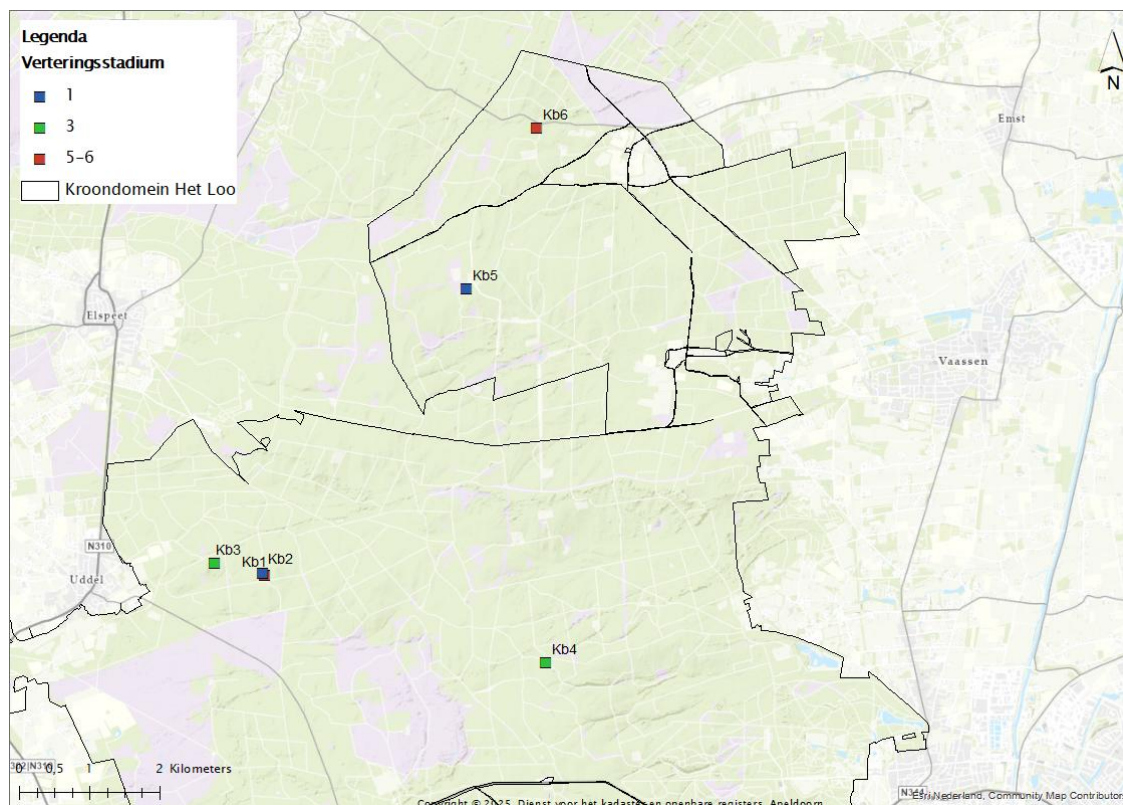
Alle bemonsterde stammen maken contact met de bodem en lagen op locaties met half-schaduw. Er was geen helling aanwezig en de stammen lagen geïsoleerd van andere dode stammen. Voor elke stam zijn de bodemonsters genomen op drie meter van de stamvoet. Dit omdat dicht bij de stamvoet de grond vaak verommeld was door het omvallen van de boom. De minimale diameter van de stam op drie meter was 40 cm (bepaald met een boomklem). Van de bodem is het type substraat en leemgehalte bepaald. De gegevens zijn weergegeven in Tabel 2-2. Wanneer er duidelijk een verhoogde hoeveelheid blad naast de stam lag is er in deze studie voor gekozen om aan de kant zonder verhoogde hoeveelheid blad te bemonsteren.

Tabel 2-1. Indeling van verteringsstadia gebaseerd op schors, twijgen en takken, hardheid, oppervlak en vorm op basis van Ódor & van Hees, (2004). Aan de hand van deze indeling is het verteringsstadium bepaald.

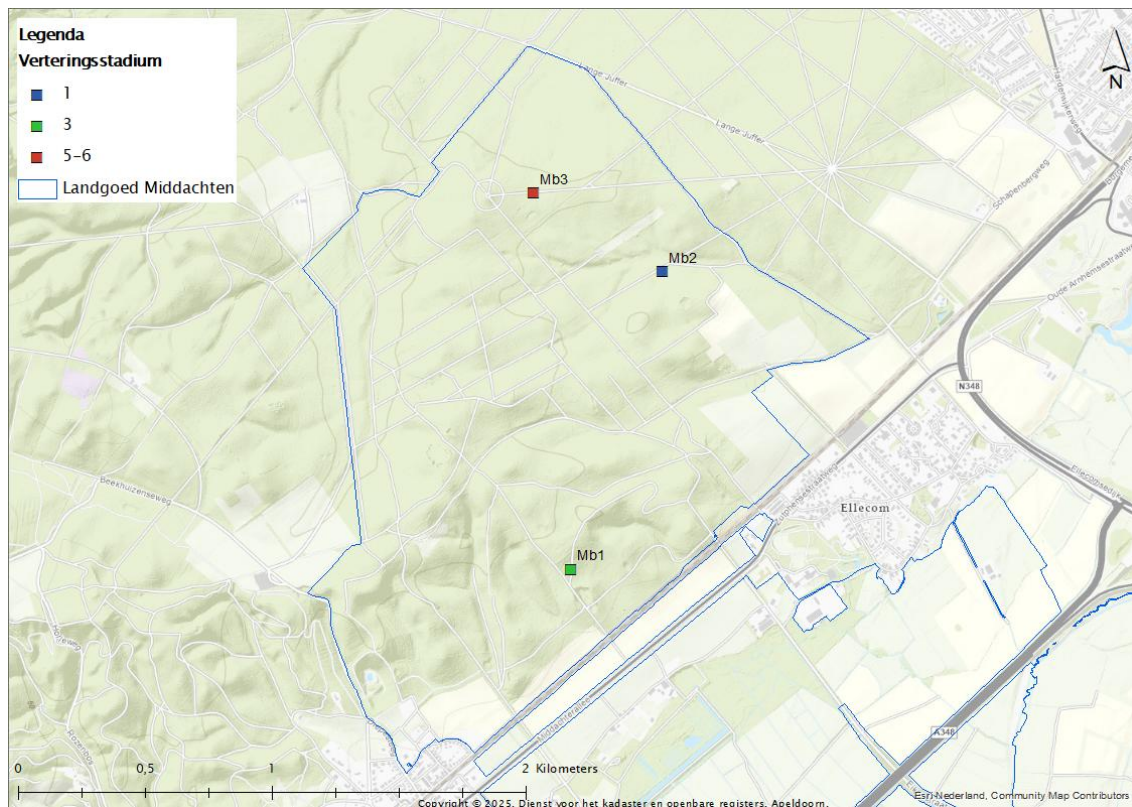
Afbraakstadium	Schors	Twijgen en takken	Hardheid	Oppervlak	Vorm
1	Intact of alleen ontbreken van kleine stukjes	Aanwezig	Hard, mespenetratie van 1-2 mm	Bedekt met bast; contour intact	cirkelvormig
2	Afwezig of minder dan 50% aanwezig	Alleen takken (>3cm) aanwezig	Hard; mespenetratie minder dan 1 cm	Glad; contour intact	Cirkelvormig
3	Afwezig	Afwezig	Begint zacht te worden; mespenetratie 1-5 cm	Glad of scheuren zichtbaar; contour intact	Cirkelvormig
4	Afwezig	Afwezig	Zacht; mespenetratie meer dan 5 cm	Grote scheuren, stukken vermist uit het hout; contour intact	Cirkel- of ovaalvormig
5	Afwezig	Afwezig	Zacht; mespenetratie meer dan 5 cm	Grote stukken hout afwezig; contour deels vervormd	Plat ovaal
6	Afwezig	Afwezig	Zacht; deels verteerd tot molm	Contour is niet duidelijke te bepalen	Plat ovaal, bedekt met mos/humus

Tabel 2-2. Basisgegevens van de stammen. De stammen met verteringsstadium 5-6 vertonen kenmerken van beide verteringsstadia.

Boom	Verteringsstadium	Diameter (cm) op 3 m van de stamvoet	Bodemsubstraat
Mb1	3	56	Sterk lemig zand
Mb2	1	75	Sterk lemig zand
Mb3	5-6	61	Zwak lemig zand
Kb1	5-6	59,5	Leemarm zand
Kb2	1	53,5	Leemarm zand
Kb3	3	43	Leemarm zand
Kb4	3	61	Zwak lemig zand
Kb5	1	58	Zwak lemig zand
Kb6	5-6	56	Zwak lemig zand

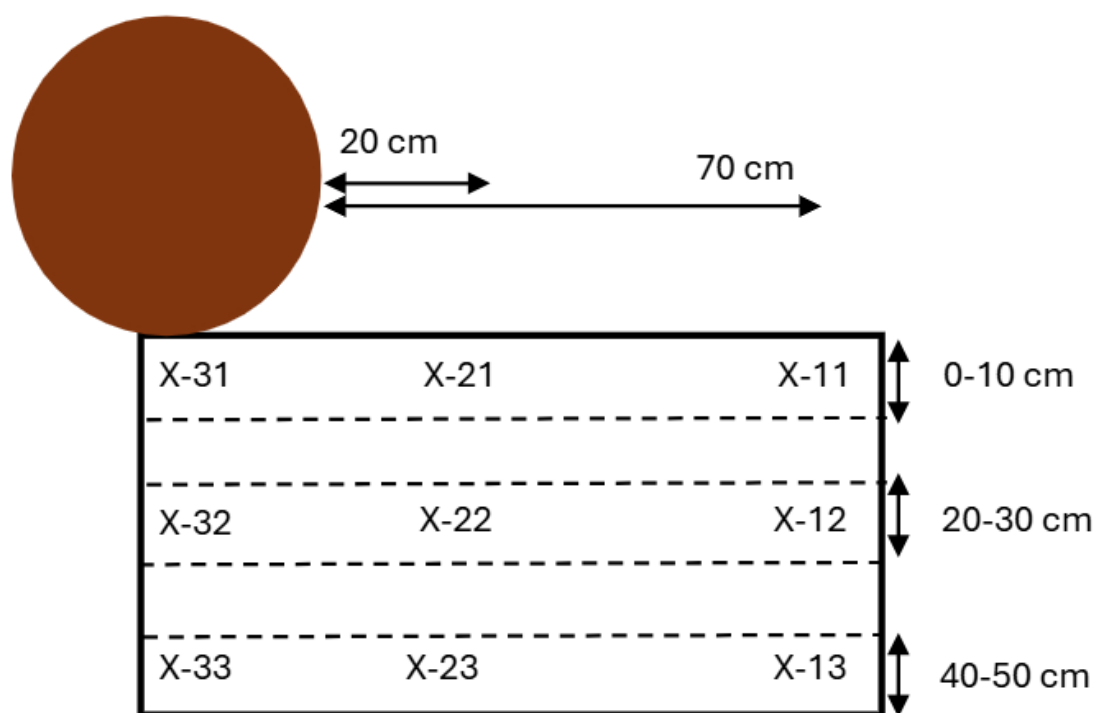


Figuur 2-2. Ligging van de bemonsterde beukenstammen op Kroondomein Het Loo. De kleur geeft het verteringsstadium van de betreffende beukenstam weer. De stammen Kb1 en Kb2 liggen ca. 55 meter uit elkaar.



Figuur 2-3. Ligging van de bemonsterde dode beukenstammen op Landgoed Middachten. De kleur geeft het verteringsstadium van de betreffende beukenstam weer.

In augustus 2024 is de bodem naast en onder liggende dode beukenstammen bemonsterd. De bodemmonsters zijn genomen op drie meter afstand vanaf de stamvoet. De bodemmonsters zijn onder, 20 cm en 70 cm vanaf de stam op drie dieptes (0-10 cm, 20-30 cm en 40-50 cm) genomen (Figuur 2-4). Vervolgens is op dezelfde dieptes een mengmonster gestoken binnen de opstand waar de dode beukenstam deel van uitmaakt, om het verschil tussen de nutriëntensamenstelling rond de stam en de opstand te kunnen bepalen. De locaties van het mengmonster zijn random gekozen en op ten minste drie meter afstand van een dode stam.



Figuur 2-4. Locaties van de bodemonsters ten opzichte van een dode beukenstam. De codes geven de nummering van de bodemonsters neer. X is een voor elke stam unieke code.

2.3 Chemische analyse

In het laboratorium van Wageningen Environmental Research zijn de volgende parameters bepaald:

- pH-CaCl₂,
- Plantbeschikbaar Al, Ca, K, Mg, Mn, Fe, P & S in een zoutextract (0,2 mol l⁻¹ NaCl)
- P-Olsen extractie; een maat voor de concentratie plantenbeschikbaar-P
- Totaal gehalte Al, Ca, K, Mg, Mn, Fe, P & S in een 0,43 M HNO₃ oplossing
- Koolstof (C) en stikstof (N)
- Organische stofgehalte

Vorbereiding

De bodemonsters zijn gedroogd, gemalen en gezeefd (< 2mm).

Zoutextractie

Met een zoutextractie zijn de vrij in de bodem zoutuitwisselbare ionen bepaald. De luchtdroge grondmonsters zijn in een verhouding van 1:10 (m:v) gedurende 2 uur geschud met een 0,01M calciumchloride oplossing. Na centrifuge en filtratie van de suspensie is de concentratie aan diverse nutriënten in het extract bepaald met behulp van een segmented flow analyzer (SFA). Elementen zijn gemeten met behulp van ICP-OES.

P-Olsen

De grond is geëxtraheerd met een 0.5M NaHCO₃ oplossing bij pH=8.5. In kalkrijke, basische en neutrale gronden, die calciumfosfaten bevatten, vermindert dit extractiemiddel secundaire precipitatie. In zure gronden, die aluminium en ijzer fosfaten bevatten, neemt de P-concentratie in de oplossing toe als de pH stijgt. Ook hier blijven de secundaire precipitatie reacties op een laag niveau.

Destructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk om de totaal gehalten van elementen in de bodem te bepalen. Aan 4 gram grond is 40ml 0.43M HNO₃ toegevoegd. Na 4 uur schudden op een end-over-end schudmachine is het monster gecentrifugeerd en gefiltreerd. In het filtraat zijn de elementen gemeten met behulp van ICP-OES.

C en N

De hoeveelheid C en N in de bodem is bepaald met behulp van LECO CN828.

Organische stofgehalte

In een porseleinen kroesje is 10 gram monster afgewogen. Het monster is eerst verwarmd tot 105°C (voor eventuele bepaling van het vochtgehalte). Daarna is de temperatuur stapsgewijs verhoogd naar 550°C, waarna deze 3 uur op 550°C is gehouden. Vervolgens werd het kroesje met bodemmateriaal opnieuw gewogen om het gloeiverlies te bepalen. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

2.4 Statistische analyse

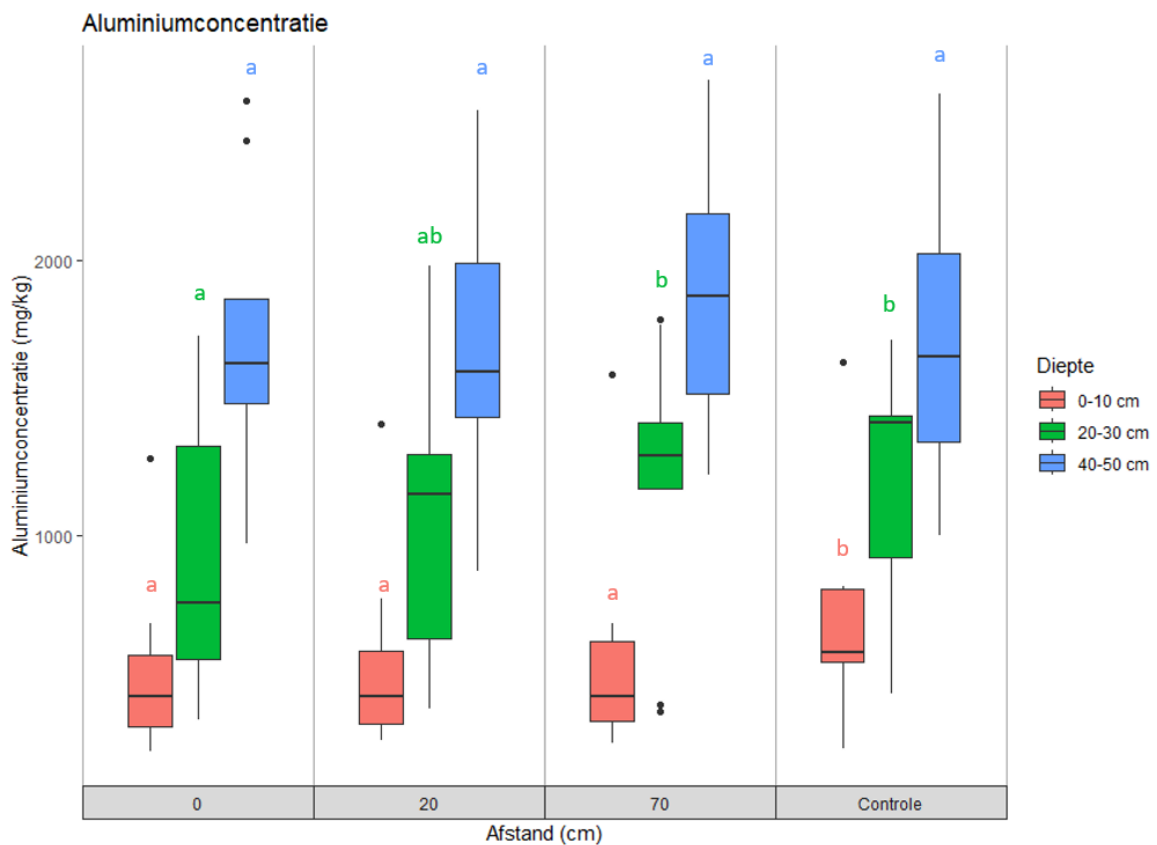
Linear mixed effect models (LMM) zijn uitgevoerd met de nutriëntenconcentraties als responsvariabelen en afstand als *fixed factor*. Afbraakstadium, locatie en boom (individueel) zijn meegenomen als *random effect*. Wanneer de data niet aan de modelveronderstellingen voldeden (de *residues* niet normaal verdeeld waren), werden de nutriëntenconcentraties via een *boxcox* analyse getransformeerd om aan de modelveronderstellingen te voldoen.

3 Resultaten

3.1 Effect dood hout op de bodem

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de totaal-gehalten weergegeven. De plantbeschikbare gehalten laten hetzelfde patroon zien. De uitkomsten van de plantbeschikbare gehalten zijn te vinden in Bijlage 1.

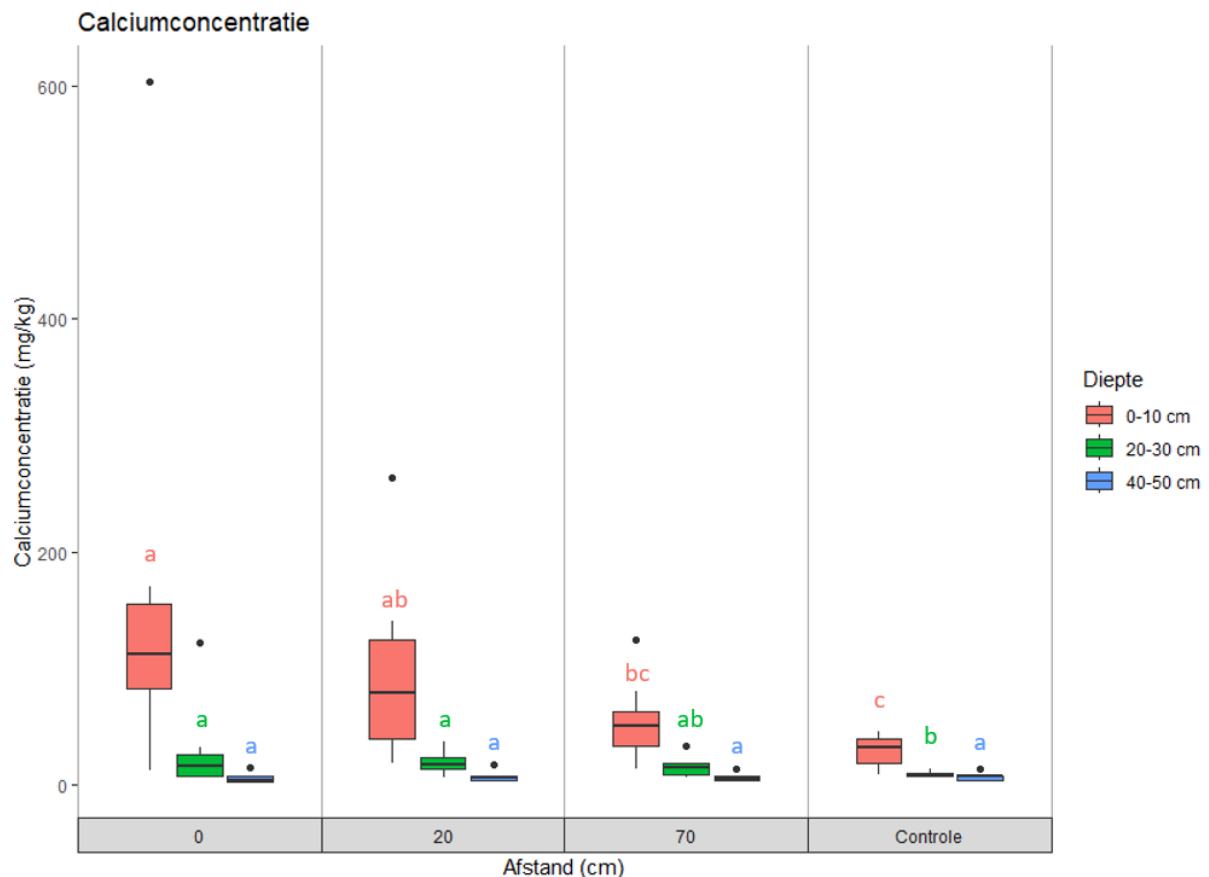
De aluminiumconcentratie is op 0-10 cm diepte lager onder en naast de dode stam dan in de controle (Figuur 3-1). Op 20-30 cm diepte is de Al concentratie onder de stam lager dan op 70 cm van de stam en in de controle. Op 40-50 cm diepte zijn er geen verschillen gemeten in de aluminiumconcentratie onder de stam, naast de stam en in de controle.



Figuur 3-1. Totaal aluminiumconcentratie op 0-10 cm diepte, 20-30 cm diepte en 40-50 cm diepte direct onder de stam (afstand is 0), op 20 cm naast de stam, op 70 cm naast de stam en in de controle.

Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de concentraties in verschillende afstanden tot de stam.

De calciumconcentratie is op 0-10 cm diepte onder de stam en op 20 cm naast de stam hoger dan in de controle (Figuur 3-2). Op 20-30 cm diepte is de calciumconcentratie onder de stam en op 20 cm afstand ook hoger dan in de controle. De concentratie op 70 cm van de stam en de controle verschillen niet van elkaar op 0-10 cm en op 20-30 cm diepte. Op 40-50 cm diepte worden geen verschillen in calciumconcentratie gemeten.



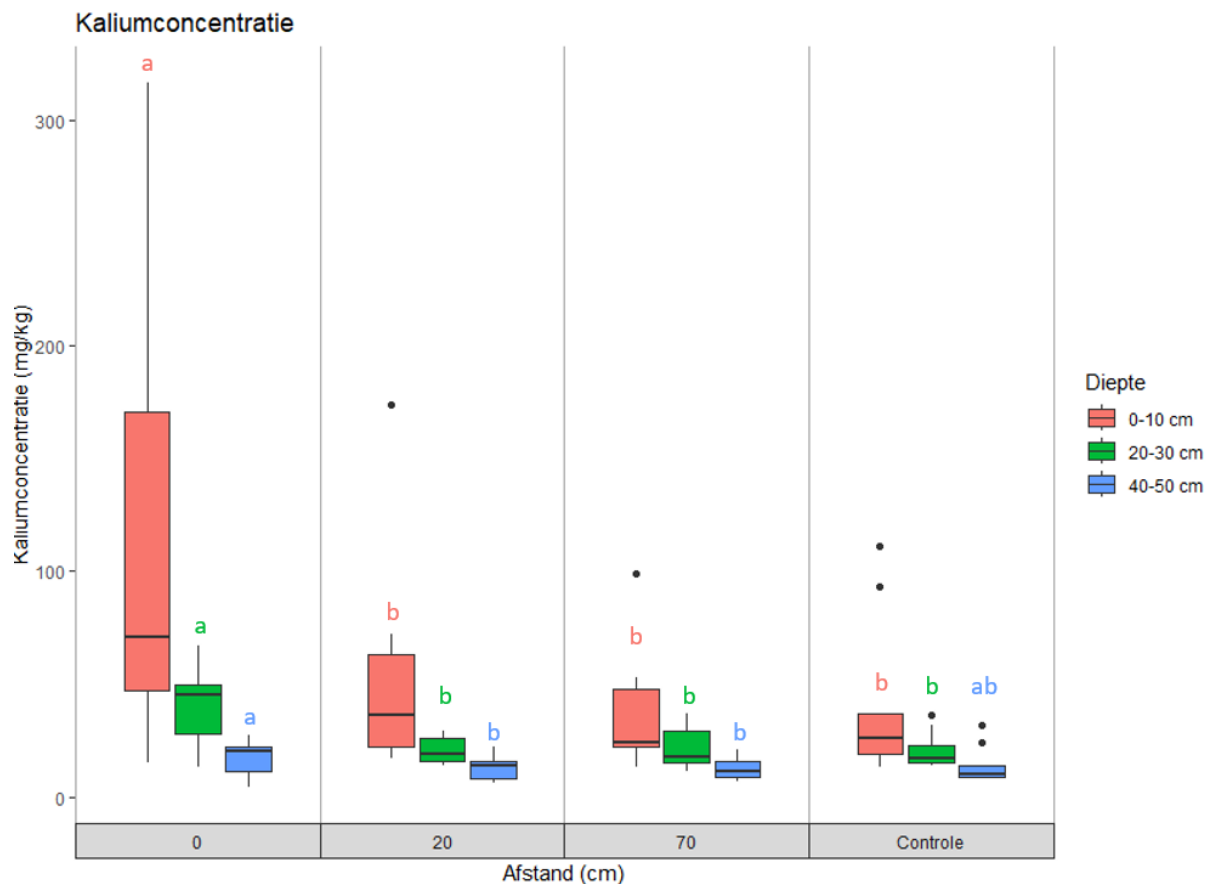
Figuur 3-2. Totaal calciumconcentratie op 0-10 cm diepte, 20-30 cm diepte en 40-50 cm diepte direct onder de stam (afstand is 0), op 20 cm naast de stam, op 70 cm naast de stam en in de controle. Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de concentraties in verschillende afstanden tot de stam.

In de ijzer- en sulfaatconcentratie is op alle diepten geen verschil gemeten in afstand tot de stam (Tabel 3-1).

Tabel 3-1. Mediaan van de totaal-gehalten concentratie (mg/kg) van de bodem per afstand tot de stam. Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de concentraties in verschillende afstanden tot de stam.

Concentratie (mg/kg)/ afstand (cm)		0 cm	20 cm	70 cm	Controle
	Diepte				
Al	0-10	414 ^a	416 ^a	418 ^a	574 ^b
	20-30	757 ^a	1151 ^{ab}	1290 ^b	1408 ^b
	40-50	1622 ^a	1593 ^a	1867 ^a	1647 ^a
Ca	0-10	112 ^a	79 ^{ab}	51 ^{bc}	32 ^c
	20-30	16 ^a	17 ^a	15 ^{ab}	8 ^b
	40-50	4 ^a	6 ^a	5 ^a	7 ^a
Fe	0-10	941 ^a	899 ^a	710 ^a	926 ^a
	20-30	913 ^a	576 ^a	495 ^a	461 ^a
	40-50	413 ^a	469 ^a	423 ^a	368 ^a
K	0-10	71 ^a	36 ^b	24 ^b	26 ^b
	20-30	45 ^a	19 ^b	18 ^b	17 ^b
	40-50	20 ^a	14 ^b	11 ^b	10 ^{ab}
Mg	0-10	26,5 ^a	21 ^{ab}	13,4 ^b	13,7 ^b
	20-30	7,3 ^a	6,5 ^a	6,5 ^a	5,6 ^a
	40-50	1,9 ^{ab}	2,2 ^{ab}	2 ^a	2,7 ^b
Mn	0-10	11,3 ^a	6,8 ^{ab}	4,03 ^{ab}	4,4 ^b
	20-30	10,5 ^a	13 ^a	13,4 ^a	15,8 ^a
	40-50	30,1 ^a	32,6 ^a	31,7 ^{ab}	29 ^b
P	0-10	21,1 ^a	8,2 ^b	11,3 ^b	8,9 ^b
	20-30	7,2 ^a	5,5 ^a	5,1 ^a	8,2 ^a
	40-50	24,9 ^a	15,5 ^a	26 ^a	20,2 ^a
S	0-10	13 ^a	10 ^a	10 ^a	13 ^a
	20-30	14 ^a	15 ^a	15 ^a	13 ^a
	40-50	22 ^a	18 ^a	23 ^a	20 ^a

De kaliumconcentratie is op 0-10 cm en op 20-30 cm diepte hoger direct onder de stam dan op de verschillende afstanden tot de stam en de controle (Figuur 3-3). Op 40-50 cm diepte is de kaliumconcentratie onder de stam hoger dan op 20 en 70 cm afstand tot de stam. De concentratie direct onder de stam verschilt echter niet van de controle.



Figuur 3-3. Totaal kaliumconcentratie op 0-10 cm diepte, 20-30 cm diepte en 40-50 cm diepte direct onder de stam (afstand is 0), op 20 cm naast de stam, op 70 cm naast de stam en in de controle. Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de concentraties in verschillende afstanden tot de stam.

De magnesiumconcentratie is op 0-10 cm diepte hoger onder de stam dan op 70 cm afstand en in de controle (Tabel 3-1). Op 20-30 cm diepte verschillen de magnesiumconcentraties niet van elkaar op de verschillende afstanden en in de controle. Op 40-50 cm diepte is een hogere magnesiumconcentratie gemeten op 70 cm afstand van de stam dan in de controle. De andere afstanden verschillen niet van elkaar op deze diepte.

De mangaanconcentratie is op 0-10 cm diepte hoger onder de stam dan in de controle (Tabel 3-1). Op 0-10 cm diepte verschillen de concentraties op verschillende afstand van de stam niet van elkaar. Op 20-30 cm diepte zijn geen verschillen gevonden in de mangaanconcentraties op de verschillende afstanden en in de controle. Wel is een patroon gevonden waarbij de concentratie onder de stam en op 20 cm van de stam lager is dan in de controle ($p=0,065$ & $p=0,053$ respectievelijk). Op 40-50 cm diepte is de mangaanconcentratie onder de stam en op 20 cm van de stam lager dan in de controle.

De fosforconcentratie is op 0-10 cm diepte onder de stam hoger dan op 20 en 70 cm afstand tot de stam en in de controle (Tabel 3-1). Op 20-30 en 40-50 cm diepte zijn geen verschillen gevonden in de fosforconcentratie.

In dit onderzoek is geen effect gemeten van dood hout op de pH in de bodem (Bijlage 1). Ook op de N- en C-concentratie in de bodem is geen effect van het dode hout gemeten.

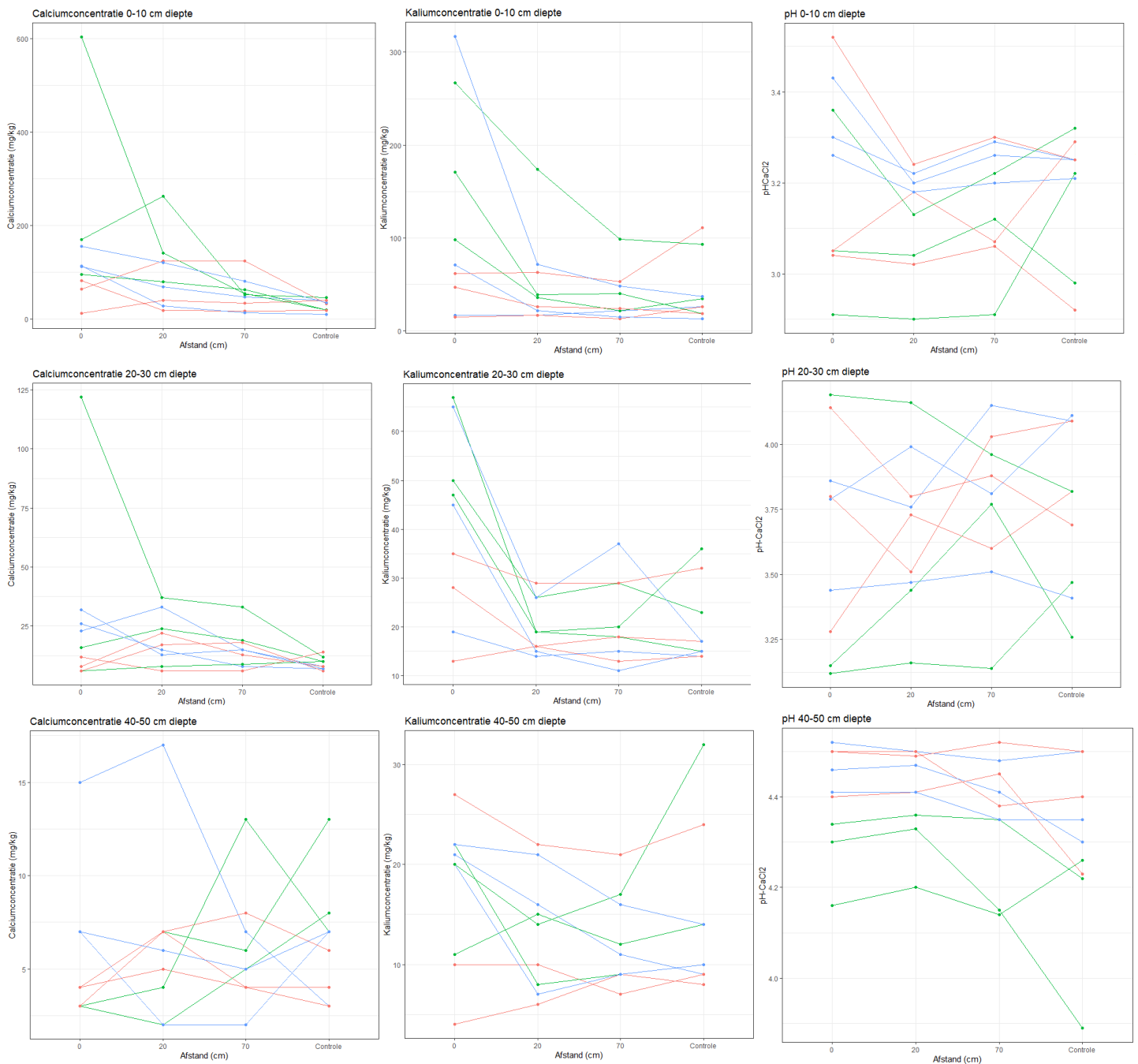
3.2 Effect afbraakstadium

In dit onderzoek is de bodem onder en naast negen dode beukenstammen bemonsterd. Dit zijn te weinig stammen om het effect van het afbraakstadium op de nutriëntensamenstelling van de bodem statistisch te toetsen. Wel is bij enkele nutriëntengehalten en in de pH een patroon zichtbaar (Figuur 3-4) en geeft dit een aantal inzichten.

De totaal calciumconcentratie waargenomen op 0-10 cm diepte is hoger onder de stam bij dode beukenstammen met verteringsstadium 3 en 5-6. Op 20-30 cm diepte clusteren de waargenomen gehalten onder dode beukenstammen met verteringsstadium 5-6 het meeste samen, waarbij er een uitschieter is onder een beuk met verteringsstadium 3. Op 40-50 cm diepte zijn de gemeten totaal calciumconcentraties zeer laag. Onder de dode stam is de concentratie het hoogst onder beuken in verteringsstadium 5-6, maar er is geen sterk patroon zichtbaar.

De totaal kaliumconcentratie, is op 0-10 cm diepte onder de stam het hoogst onder beukenstammen in verteringsstadium 3 en 5-6. Op 20-30 cm diepte is ditzelfde patroon zichtbaar. Op 40-50 cm diepte is er geen duidelijk patroon meer zichtbaar tussen de verschillende verteringsstadia. Ook is waar te nemen dat onder de beukenstammen in verteringsstadium 5-6 de concentratie het hoogst is onder de stam en dat de concentratie afneemt met de afstand tot de stam.

Wanneer de pH voor elke boom apart wordt bekeken is op 0-10 cm diepte de pH onder beukenstammen met verteringsstadium 5-6 hoger dan naast de stam. Dit wijkt af van het resultaat waarbij alle gegevens worden gecombineerd, waarbij geen verschil in pH zichtbaar is in verschillende afstanden tot de stam (zie paragraaf 3.2). Op 20-30 cm diepte is er geen patroon zichtbaar in de pH. Op 40-50 cm diepte is de pH relatief constant onder de stam, 20 en 70 cm naast de stam. De pH in de controle lijkt iets lager voor de meeste locaties.



Figuur 3-4. De totaal-gehalten van Ca en K en de pH van de bodem op de y-as op verschillende diepten. Elke lijn geeft de bodem onder en naast één dode beukenstam weer met op de x-as de afstand tot de stam. De rode lijnen representeren de stammen in verteringsstadium 1, de groene lijnen stammen in verteringsstadium 3 en de blauwe lijnen stammen in verteringsstadium 5-6.

4 Synthese

In eerdere studies is het effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem beperkt gebleven tot de toplaag van de bodem (o.a. Dhiedt et al., 2019; Fayt et al., 2008). In deze pilotstudie is het effect van dood beukenhout op de nutriëntengehalten in de bodem op drie verschillende diepten onderzocht. Ondanks het geringe aantal bemonsteringslocaties onder dode beukenstammen is er voor verschillende nutriënten - calcium, kalium, magnesium, mangaan & fosfor - een verhoogd gehalte onder de stam gevonden ten opzichte van ernaast. Op 40-50 cm diepte is enkel een verhoogd gehalte van kalium gevonden onder de stam, maar niet op de verschillende afstanden van de stam. Wanneer de gehalten per boom worden bekeken is de pH verhoogd in de toplaag onder beukenstammen in verteringsstadium 5-6.

De nutriënten calcium, magnesium, kalium en fosfor spelen een belangrijke rol in de vitaliteit van bomen. Calcium wordt gebruikt voor wateropname, enzymactiviteit en speelt een rol bij de stevigheid van de boom. Magnesium speelt een belangrijke rol in de aanmaak van bladgroen en fotosynthese. Kalium wordt gebruikt in de wateropname en het nutriëntentransport in de boom, de werking van enzymen en de aanmaak van eiwitten, en fosfor is een bestanddeel van enzymen en DNA (de Jong et al., 2017). Dat dood beukenhout bijdraagt aan de beschikbaarheid van deze nutriënten in de bovengrond, waar veel fijne wortels voorkomen die deze nutriënten kunnen opnemen, is dus belangrijk voor de vitaliteit van bos.

Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar het effect van dode beukenstammen op de nutriëntensamenstelling in de toplaag van de bodem in bossen in België (Dhiedt et al., 2019; Fayt et al., 2008). In het onderzoek van Dhiedt et al. (2019) is alleen een significant verband gevonden voor de calciumconcentratie en pH van de 0-10 cm minerale bodemlaag in afstand tot de stam. Wel is er onder de stam een verhoogde concentratie aan calcium, kalium en magnesium gevonden. Dit is in overeenstemming met de resultaten uit ons onderzoek. De verhoogde pH onder dode beukenstammen is in ons onderzoek niet gevonden. Er lijkt echter wel een verhoogde pH te zijn onder beukenstammen in verteringsstadium 5-6. Er waren te weinig samples om dit statistisch aan te tonen. In het onderzoek van Dhiedt et al. (2019) werden de effecten, voor alle verteringsstadia samen, gevonden op 0-30 cm tot de stam. In de metingen op 100 cm en 300 cm van de stam werden de effecten niet gevonden. Fayt et al. (2008) vonden hogere concentraties van kalium, fosfor, mangaan en magnesium op 10 cm van de stam dan op 5 meter van de stam op 0-20 cm diepte en lagere concentraties aluminium. In het percentage koolstof en stikstof werd geen verschil gevonden. Ook deze resultaten komen overeen met de resultaten op basis van het onderzoek van Dhiedt et al. (2019).

Enkel voor de kaliumconcentratie is een verhoogde concentratie onder de stam gemeten op 40-50 cm diepte. Kalium is een mobiel element dat makkelijk uitspoelt. De kaliumconcentratie in hout dat wordt afgebroken daalt snel als gevolg van uitloging (Ganjegunte et al., 2004; Johnson et al., 2014). Vervolgens komt de kalium in de bodem terecht en spoelt uit wanneer het niet wordt opgenomen.

Wanneer de concentraties per individuele boom worden bekeken, lijkt het grootste effect te zijn voor calcium onder beukenstammen in verteringsstadia 3 en 5-6. Uit het onderzoek van Vos et al. (2023) naar het effect van kroonpositie op de nutriëntenconcentraties in verschillende delen in een boom blijkt dat de concentratie calcium in beuk het hoogst is in de bast. De hoeveelheid calcium in de bast beslaat 40% van de totale

calciumhoeveelheid in de boom.. Dit kan verklaren waarom de calciumconcentratie hoger is onder beukenstammen in verteringsstadia 3 en 5-6. Vanaf verteringsstadium 3 is de bast niet meer aanwezig op de stam en grotendeels verteerd en dus opgenomen in de bodem en het strooisel.

Naast het directe effect van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem kan dood hout ook een indirect effect hebben door de ophoping van strooisel doordat wind blad tegen de stam aanblaast (Orndorff & Lang, 1981). Wanneer er duidelijk een verhoogde hoeveelheid blad naast de stam lag is er in deze studie voor gekozen om aan de kant zonder verhoogde hoeveelheid blad te bemonsteren. Verder zijn deze variabelen niet meegenomen in deze studie.

Dit pilotonderzoek toont aan dat dood hout een belangrijke bron is van nutriënten op droge zandgronden. Daarnaast zorgt het dode hout voor het vrijkomen van basen (Ca, K, Mg) die een belangrijke rol spelen in de buffering van de bodem. Uit dit onderzoek blijkt dat, op kalium na, de nutriënten beschikbaar blijven in de bovengrond en hierdoor opgenomen kunnen worden door fijne plantenwortels. Uit onderzoek van Bonten et al. (2015) blijkt dat de afvoer van calcium, magnesium, kalium en fosfor door houtoogst hoger is dan de aanvoer vanuit depositie en verwerking op droge zandgronden in Nederland. Het laten liggen van dood hout draagt bij aan de aanvulling van deze stoffen in de bodem en is hierdoor een belangrijk onderdeel in het vitaliseren van de bosbodem. Het is dus van belang om voldoende dood hout in het bos te stimuleren. Met name op verzuringsgevoelige bodems is het belangrijk om deze basen vast te houden in het bosecosysteem.

Daarnaast was één van de doelen van deze pilotstudie om in kaart te brengen of de methode gebruikt kan worden om het effect van dood hout op verschillende diepten in kaart te brengen. In dit onderzoek is aangetoond dat de totaal kaliumconcentratie verschilt op 40-50 cm diepte onder de stam ten opzichte van naast de stam. Ook zijn er patronen zichtbaar bij andere nutriënten, maar hier is geen significant verschil gevonden. Dit komt mogelijk door de kleine steekproef. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de methode gebruikt kan worden voor dit type onderzoek. Wel is het aanbevolen om, in een vergelijkingsstudie, dood hout in een hoge verteringsklasse te selecteren voor het onderzoek, omdat hier de effecten van dood hout het duidelijkst te meten zijn. Omdat een groot deel van de Nederlandse bossen op hogere zandgronden bestaat uit beuk, eik, grove den en berk is de verwachting dat het aandeel dood hout van deze soorten in de bossen het sterkst zal toenemen komende decennia. Hierdoor is het interessant om dit onderzoek uit te breiden naar meer onderzoeklocaties (18 bomen) en meer soorten, zodat de effecten van dood hout op de nutriëntensamenstelling in de bodem en de invloed op de vitaliteit van het bos beter in beeld gebracht worden en hierop ingespeeld kan worden in het beheer.

5 Bronvermelding

- Bonten, L.T.C., Bijlsma, R.J., van Delft, S.P.J., de Jong, J.J., Spijker, J.H. & de Vries, W. (2015). Houtoogst en bodemvruchtbaarheid; Een modelstudie naar duurzaamheid van houtoogst op Nederlandse bosgroeiplaatsen. *Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre)*, Alterra-rapport 2618. 70 blz.; 11 fig.; 22 tab.; 55 ref
- De Jong, A., Kros, H., Spijker, J., & de Vries, W. (2017). Houtoogst in relatie tot nutriëntenvoorraden in bossen op droge zandgronden. *Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen*.
- De Schrijver, A., Janssens, I., Staelens, J., & Wuyts, K. (2011). Koolstof- en nutriëntenkringlopen In: J. den Ouden, B. Muys, F. Mohren & K. Verheyen (red.). *Bosecologie en Bosbeheer*. Leuven. Acco: 167-175.
- Dhiedt, E., De Keersmaeker, L., Vandekerckhove, K., & Verheyen, K. (2019). Effects of decomposing beech (*Fagus sylvatica*) logs on the chemistry of acidified sand and loam soils in two forest reserves in Flanders (northern Belgium). *Forest Ecology and Management*, 445 (2019), 70-81.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.006>
- Dhiedt, E. (2018). De invloed van verterend zwaar dood hout op de nutriëntenstatus in bosbodems en zaailingen. Promotoren K. Verheyen & L. De Keersmaeker. Universiteit Gent.
- Fayt, P., Dufrêne, M., Branquart, E., Dufour, D., Hastir, P., Henin, J-M., Lejeune, P., Lhoir, J., Pontégnie, C., Van Der Wijden, B., Verkem, S., Versteirt V., & Walley, R. (2008). A research project to study patterns, roles and determinants of wood-dependent species diversity in Belgian deciduous forests (XYLOBIOS). EV/15, *Belgian Science Policy*, 2008 (SP1921), Brussel.; Müller, J., & Bütler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129:981–992.
- Ganjegunte, G. K., Condron, L. M., Clinton, P. W., Davis, M. R., & Mahieu, N. (2004). Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. *Forest Ecology and Management*, 187(2–3), 197–211. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00332-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00332-3)
- Harmon, M. E., & Chen, H. (1991). Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystems. *BioScience*, 41(9), 604–610. <https://doi.org/10.2307/1311697>
- Johnson, C. E., Siccama, T. G., Denny, E. G., Koppers, M. M., & Vogt, D. J. (2014). In situ decomposition of northern hardwood tree boles: decay rates and nutrient dynamics in wood and bark. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(12), 1515–1524. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0221>

Kieskamp, A.A.M., Smeenge, H., Van den Berg, L.J.L., Bulten, G.H., van Mullekom, M., Smolders, A.T.W., & Loeb, R. (2022). Vergelijking van fossiele en actuele bosbodems als basis voor herstel van bosgroeiplaatsen in Gelderland. *Bosgroepen en Onderzoekcentrum B-WARE*.

KNMI, 2025. Jaar 2024. Extreem warm en zeer nat met vrijwel de normale hoeveelheid zon. Geraadpleegd via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2024/jaar>

Lasota, J., Błńska, E., Piaszczyk, W., & Wiecheć, M. (2018). How the deadwood of different tree species in various stages of decomposition affected nutrient dynamics?. *Journal of Soils and Sediments*, 18, 2759-2769. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1858-2>.

Lassauce, A., Paillet, Y., Jactel, H., & Bouget, C. (2011). Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators*, 11(5), 1027-1039. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.004>.

Nijssen, M., Bouwman, J., Weijters, M., Bobbink, R., Noordijk, J., de Wit, B., Sierdsma, H., Colijn, E.O., & Heijerman, Th. (2021). Biodiversiteit en duurzaamheid van oude bosreservaten. Rapport Stichting Bargerveen, B-WARE, EIS Kenniscentrum Insecten, Kroondomein het Loo en Sovon Vogelonderzoek Nederland.

Ódor, P., & van Hees, A.F.M. (2004). Preferences of dead wood inhabiting bryophytes for decay stage, log size and habitat types in Hungarian beech forests. *Journal of Bryology*, 26: 79-95. <https://doi.org/10.1179/037366804225021038>

Orndorff, K. A., & Lang, G. E. (1981). Leaf Litter Redistribution in a West Virginia Hardwood Forest. *The Journal of Ecology*, 69(1), 225. <https://doi.org/10.2307/2259827>

Piaszczyk, W., Lasota, J., & Błńska, E. (2019). Effect of organic matter released from deadwood at different decomposition stages on physical properties of forest soil. *Forests*, 11(1), 24. <https://doi.org/10.3390/f11010024>.

Van Maaren, G. P. B., Jacobs, S. B. M., Velthuis, J., Kampherbeek, L., Thomassen, E. A. H., Van der Vlist, S., Teeuwen, S., & Roest, E. (2024). Vitalisering van het Nederlandse bos: definitie, indicatoren en maatregelen. *Wageningen Environmental Research, Stichting Probos, Bosgroep Midden Nederland & Bosgroep Zuid Nederland, Wageningen, Nederland*.

Vos, M. A., de Boer, D., de Vries, W., den Ouden, J., & Sterck, F. J. (2023). Aboveground carbon and nutrient distributions are hardly associated with canopy position for trees in temperate forests on poor and acidified sandy soils. *Forest Ecology and Management*, 529, 120731. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120731>

Bijlage 1. Aanvullende resultaten

Tabel 5-1. Mediaan van de plantbeschikbare gehalten (mg/kg) van de bodem per afstand tot de stam. Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de concentraties in verschillende afstanden tot de stam. Een x betekent dat de significantie niet is getest.

Concentratie (mg/kg)/ afstand (cm)		0 cm	20 cm	70 cm	Controle
	Diepte				
Al	0-10	29,1 ^a	39,5 ^b	47,1 ^b	62,3 ^c
	20-30	38,4 ^a	47,7 ^{ab}	46,1 ^{ab}	46 ^b
	40-50	15,7 ^a	15,5 ^a	21,4 ^{ab}	23,4 ^b
Ca	0-10	68 ^a	43,5 ^{ab}	25 ^{bc}	15,1 ^c
	20-30	7,65 ^a	10,7 ^a	7,79 ^a	4,53 ^a
	40-50	1,13 ^a	1,36 ^a	1,47 ^a	1,23 ^a
Fe	0-10	1,11 ^a	0,71 ^b	0,81 ^{ab}	1 ^{ab}
	20-30	0,78 ^a	0,57 ^a	0,45 ^a	0,58 ^a
	40-50	0,08 ^x	0,04 ^x	0,08 ^x	0,15 ^x
K	0-10	27,3 ^a	11,3 ^b	7,74 ^b	5,59 ^b
	20-30	25,6 ^a	4,63 ^b	5,54 ^b	4,84 ^b
	40-50	8,82 ^a	3,63 ^b	3,37 ^b	3,59 ^b
Mg	0-10	15,5 ^a	8,88 ^{ab}	7,72 ^b	7,22 ^b
	20-30	3,72 ^a	3,01 ^a	1,72 ^a	1,89 ^a
	40-50	0,45 ^a	0,43 ^a	0,42 ^a	0,8 ^a
Mn	0-10	5,42 ^a	5,28 ^{ab}	1,75 ^{bc}	1,5 ^c
	20-30	0,62 ^a	0,98 ^a	1,08 ^a	0,72 ^a
	40-50	0,21 ^a	0,21 ^a	0,3 ^a	0,56 ^b
P	0-10	0,23 ^a	0,1 ^b	0,09 ^b	0,03 ^b
	20-30	0,02 ^a	0,01 ^a	0,01 ^a	0,01 ^a
	40-50	0,01 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
S	0-10	1,92 ^a	1,37 ^b	1,37 ^b	1,78 ^{ab}
	20-30	1,69 ^a	1,84 ^a	1,91 ^a	2,14 ^a
	40-50	6,18 ^a	3,16 ^a	4,3 ^a	3,57 ^a

Tabel 5-2. Mediaan van verschillende parameters van de bodem per afstand tot de stam. Gemeenschappelijke letters duiden erop dat er geen significant verschil ($p > 0,05$) is tussen de parameters in verschillende afstanden tot de stam.

Concentratie / afstand (cm)		0 cm	20 cm	70 cm	Controle
	Diepte				
pH	0-10	3,26 ^a	3,18 ^a	3,2 ^a	3,25 ^a
	20-30	3,79 ^a	3,73 ^a	3,81 ^a	3,82 ^a
	40-50	4,41 ^a	4,41 ^a	4,38 ^{ab}	4,3 ^b
C (mg/kg)	0-10	43,3 ^a	44,6 ^a	32,2 ^a	36,6 ^a
	20-30	13,4 ^a	13,8 ^a	11,9 ^a	13,5 ^a
	40-50	5,3 ^a	5,6 ^a	5,7 ^{ab}	7,5 ^a
N (mg/kg)	0-10	1,8 ^a	1,7 ^a	1,4 ^a	1,6 ^a
	20-30	0,6 ^a	0,7 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a
	40-50	0,3 ^a	0,3 ^a	0,3 ^{ab}	0,4 ^b
Organisch-stofgehalte (%)	0-10	8,2 ^a	8,6 ^a	6 ^a	6,4 ^a
	20-30	2,9 ^a	2,8 ^a	2,7 ^a	2,7 ^a
	40-50	1,4 ^a	1,5 ^a	1,6 ^{ab}	1,7 ^b
Olsen-P (mg/kg)	0-10	10,1 ^a	1,9 ^b	3,4 ^b	3 ^b
	20-30	1,2 ^a	1,6 ^a	1 ^a	1,2 ^a
	40-50	2,3 ^{ab}	1,8 ^a	1,9 ^{ab}	2,5 ^b