

Humusprofielen van het bosreservaat Galgenberg

Basisprogramma Bosreservaten

R.H. Kemmers

M.M. van der Werff

R.W. de Waal

Alterra-rapport 116

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

Kemmers, R.H., M.M. van der Werff en R.W. de Waal, 2000. *Humusprofielen van het bosreservaat Galgenberg. Basisprogramma bosreservaten.* Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 116. 36 blz. 5 fig.; 3 tab.; 8 ref.

In het bosreservaat Galgenberg is langs een transect in de kernvlakte het humusprofiel beschreven en kwantitatief bemonsterd. Naast gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van horizontdikten, nutriëntengehalten, -voorraden en pH werd in het kader van langjarige monitoring ook de ruimtelijke variabiliteit geanalyseerd. De dominante humusvorm is typerend voor wat oudere fasen in de bossuccessie op relatief rijk moedermateriaal. De voorraad koolstof en fosfor in het humusprofiel is groot. De stikstofvoorraad is normaal, terwijl de C/N verhouding hoog is. Diktes van horizonten en elementvoorraden vertonen een ruimtelijk herhaald patroon van de variantie met een herhalingslengte van 5 tot 20 m.

Trefwoorden: Humusprofiel, elementvoorraden, monitoring, ruimtelijke variabiliteit

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 30,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 116. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

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

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

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Terreinbeschrijving	13
2.2 Methoden	13
2.2.1 Inventarisatie en bemonstering	13
2.2.2 Bodemchemische analyses	14
2.2.3 Ruimtelijke analyse	14
3 Resultaten en discussie	17
3.1 Inventarisatie	17
3.2 Bodemchemische analyses	17
3.3 Ruimtelijke variabiliteit	19
4 Conclusies	23
Literatuur	25
<i>Aanhangsels</i>	
1 Horizontdiktes humusprofielen	27
2 Bodemchemische analyses	31
3 Genstat-algoritme	33

Woord vooraf

In het kader van het basisprogramma Bosreservaten analyseert Alterra de bodemkundige uitgangstoestand van het humusprofiel. Dit is een betrekkelijk dynamisch bodemcompartiment, waarin naar verwachting structurele veranderingen in bv. diktes van strooisellagen en in de nutriëntenvoorraden in een periode van 10 jaar aantoonbaar zijn. Via herhaalde analyse na een periode van 10 jaar zullen eventuele veranderingen als gevolg van natuurlijke processen kunnen worden vastgesteld. Het onderzoek werd uitgevoerd langs een transect in de kernvlakte van het bosreservaat Galgenberg te Amerongen. Naast gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van nutriëntengehalten, -voorraden en pH werd ook de ruimtelijke variabiliteit geanalyseerd. Het veldwerk werd uitgevoerd in oktober 1999. De chemische analyses zijn in 2000 uitgevoerd door het bureau Giessen en Geurts te Ulft. Het project werd uitgevoerd in opdracht van het toenmalige IBN-DLO, dat vanuit DWK-programma 320 'Bosreservaten' de financiële middelen voor het onderzoek beschikbaar stelde.

Het veldwerk en de dataverwerking werd uitgevoerd door M.M. van der Werff. De analyse van de data werd uitgevoerd door R.H Kemmers. De projectleiding berustte bij R.W. de Waal.

Samenvatting

In het kader van het basisprogramma bosreservaten is langs een transect in het bosreservaat Galgenberg het humusprofiel geïnventariseerd en bemonsterd. Dit onderzoek maakt deel uit van een langjarig monitoringprogramma dat op de lange termijn inzicht moet verstrekken in de natuurlijke processen die zich bij bosontwikkeling voordoen. Voor de korte termijn had het onderzoek tot doel de uitgangstoestand vast te leggen van de veldkenmerken van het humusprofiel en de daarin aanwezige voorraden koolstof, stikstof en fosfor en de pH. Van deze variabelen diende ook de ruimtelijke variabiliteit, als drager van biodiversiteit, te worden vastgelegd.

Galgenberg is karakteristiek voor een droog wintereiken-beukenbos. In de kernvlakte werd een transect uitgezet over een lengte van 100 m parallel aan de hoofdas. Met onderlinge afstanden van 1 m werd het humusprofiel langs het transect beschreven. Van het humusprofiel werden vervolgens de L+F1, de F2 +H en de Ah (0-5 cm) kwantitatief bemonsterd. Per vier opeenvolgende monsterpunten werd per horizont een mengmonster samengesteld dat na drogen en wegen werd geanalyseerd op organische stofgehalte, totaalstikstofgehalte, totaalfosforgehalte en zuurgraad. De gehalten van de mengmonsters werden omgerekend naar voorraden per monsterpunt. Van de horizontdiktes en elementvoorraden daarin werd een semivariogrammodel berekend om een aantal kengetallen (range, sill) van de ruimtelijke variabiliteit te kunnen bepalen.

De humusprofielen in Galgenberg kunnen worden getypeerd als lignomormoders, met een L+F1 horizont van gem. 28,7 mm en een F2+H horizont van gem. 62,8 mm. In de F-horizonten komt veel dierlijke activiteit voor. De Hr-horizont is sterk ontwikkeld en bevat veel schors en houtresten. Deze humusvorm is typerend voor wat oudere fasen in de bossuccessie op relatief rijk moedermateriaal.

De analyseresultaten zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Gemiddelden en standaardafwijkingen van de bodemchemische variabelen in verschillende horizonten van het humusprofiel in Galgenberg

Variabele	L + F1		F2 + H		Ah	
	Gem	St. afw.	Gem	St. afw.	Gem.	St. afw
pH-KCl	2,45	0,10	1,99	0,07	2,77	0,07
Org. stof (g.100g ⁻¹)	90,75	3,75	79,66	8,72	5,47	0,48
N-totaal (g.100g ⁻¹)	2,27	0,17	1,82	0,16	0,094	0,015
P-totaal (mg.100g ⁻¹)	334,67	75,30	252,57	65,96	69,44	11,01
C/N	20,10	1,69	21,88	1,66	29,71	4,17
C-voorraad (kg.m ⁻²)	2,63	1,58	6,81	2,03	3,20	0,58
N-voorraad (kg.m ⁻²)	0,13	0,07	0,31	0,09	0,11	0,02
P-voorraad (g.m ⁻²)	19,26	12,08	43,22	16,82	81,27	19,27

Opvallend is de lage pH waarde in combinatie met het hoge gehalte organische stof. In de F2+H horizont is de pH extreem laag, terwijl het organische stofgehalte en de C/N verhouding hoog zijn. Opvallend is verder het hoge gehalte P-totaal in de (sterk lemige) Ah-horizont en de daarboven liggende F2+H en L+F1 horizont.

In Galgenberg blijkt sprake te zijn van een herhaald patroon in de ruimtelijke variatie van humusprofielkenmerken. Dit betekent dat bij groter wordende afstand tussen twee punten de verschillen tussen deze punten eerst toenemen en daarna weer afnemen. Dit patroon herhaalt zich op regelmatige afstanden. Voor zowel diktes als elementvoorraden van horizonten neemt de herhalingslengte toe naarmate de horizont dieper in het profiel is gelegen: voor L+F1 horizont bedraagt de herhalingslengte 5-10 m, voor de F2+H horizont 10-15 m en voor de Ah horizont 15-20 m. Deze herhalingslengten komen overeen met die van eerder onderzochte oudere bossystemen in de bosreservaten Mattemburgh en Norgerholt. In de jongere bosesystemen van de reservaten Lheebroek en Tongerense hei is de herhalingslengte groter. Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat de herhalingslengte kleiner wordt naarmate het bosesysteem zich verder heeft ontwikkeld, zodat de bodemkundige ruimtelijke variatie toeneemt naarmate het systeem ouder wordt.

1 Inleiding

In 1987 is door de Minister van Landbouw en Visserij officieel besloten tot de instelling van bosreservaten om het inzicht te verdiepen in natuurlijke processen bij de bosontwikkeling. In het onderzoekprogramma bosreservaten wordt onderscheid gemaakt tussen een start- en een basisprogramma. Voor het bodemkundige deel loopt het startprogramma inmiddels ca. tien jaar. In 1997 is het basisprogramma voor het bodemkundig onderzoek van start gegaan. Het basisprogramma (Broekmeyer, 1995) voorziet in de mogelijkheid om een aantal bodemchemische variabelen te monitoren met een herhalingsfrequentie van 10 jaar. In 1997 is in de bosreservaten Norgerholt en Tongerense hei de uitgangstoestand vastgelegd ten dienste van deze monitoring (Kemmers et al., 1998). In 1998 volgden de opnamen in de reservaten Lheebroek en Mattemburgh (Kemmers et al., 1999) en in 1999 in het reservaat Galgenberg.

Er bestaat onvoldoende inzicht in de veranderingen van bodemeigenschappen en de daaraan ten grondslag liggende processen tijdens de spontane bosontwikkeling. Meer inzicht in het effect van spontane processen kan worden verkregen via monitoring. Inzicht in deze processen kan een belangrijke richting geven aan inrichtings- en beheersmaatregelen bij het bosbeheer. Hiertoe dienen de resultaten van het bodemkundig onderzoek in verband te worden gebracht met het vegetatiekundig en bosbouwkundig onderzoek. Het betreft onderzoek naar eigenschappen en processen die van belang zijn voor de vegetatiesuccessie, zoals de voedingsstoffen- en zuurhuishouding. Veranderingen doen zich voor op verschillende tijdschalen. Het onderzoek zal zich richten op die bodemeigenschappen die naar verwachting op een termijn van een decennium tot enkele decennia meetbaar zullen veranderen. Dit houdt in dat de aandacht geconcentreerd dient te worden op relatief dynamische bodemkenmerken die in het humusprofiel van de bodem aanwezig zijn.

Het basisonderzoek kent een doelstelling voor de korte en de lange termijn. Op de lange termijn dient het onderzoek antwoord te geven op de volgende vragen:

- Veranderen strooiselomzettingsprocessen en daarmee samenhangende bodemeigenschappen in de loop der tijd onder invloed van spontane processen zoals verjonging, N-depositie, verdroging, verzuring etc. en zo ja hoe uit zich dit in de voedingsstoffen- en zuurhuishouding van het bos?
- In welke mate verandert tijdens de bosontwikkeling de ruimtelijke bodemvariabiliteit als drager voor biodiversiteit van bossen?

Op de korte termijn is de doelstelling van het onderzoek:

- Vastleggen van de huidige veldkenmerken van het humusprofiel en de daarin aanwezige voorraden koolstof, stikstof en fosfor en de pH;
- Bepaling van de huidige ruimtelijke variabiliteit van enkele variabelen van het humusprofiel.

Het rapport heeft de volgende opzet. Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van het onderzochte terrein, de ligging van het transect en de methoden van bodeminventarisatie en analyse. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd van de inventarisatie, van het bodemchemisch onderzoek en van het variabiliteitsonderzoek. Tevens worden in dit hoofdstuk de resultaten bediscussieerd. In het laatste hoofdstuk worden de conclusies getrokken.

2 Materiaal en methoden

2.1 Terreinbeschrijving

Het bosreservaat Galgenberg ligt in de boswachterij Amerongse Berg in de provincie Utrecht.. De oppervlakte bedraagt ca. 48 ha. De potentieel natuurlijke vegetatie van het reservaat is een droog Wintereiken-Beukenbos, waarvoor de vegetatie karakteristiek is. De begroeiing bestaat uit grove den, berk, eik, Japanse lariks, Corsicaanse den, fijnspar en sitkaspar met in de ondergroei veel blauwe bosbes en bochtige smele. In de kernvlakte van het reservaat is een transect uitgezet van 100 m lengte op 5 m vanuit de as (zie figuur 1). De bodem van de kernvlakte bestaat uit holtpodzolgronden in sterk lemig, matig grof zand (Y75) op Gt VIIIId (Mekkink, 1995).

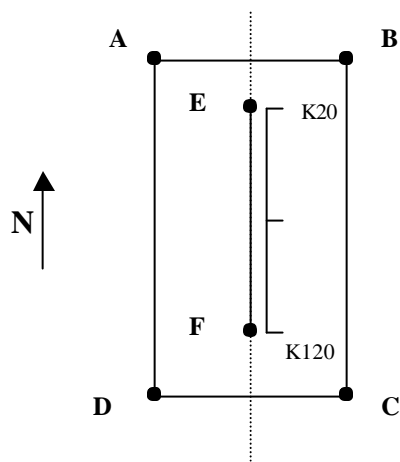


Fig. 1 Ligging van het transect in de kernvlakte van het bosreservaat Galgenberg

2.2 Methodes

2.2.1 Inventarisatie en bemonstering

In het humusprofiel worden L-, F- en H-horizonten onderscheiden die in deze volgorde uit steeds sterker verteerd strooisel bestaan. Binnen de F-horizont kan nader onderscheid gemaakt worden naar de verteringsgraad. De F1 is matig verteerd en een F2 is sterk verteerd. Strooiselvertering door dierlijke micro-organismen wordt met Fz- aangeduid en die door schimmels met Fm. In de H-horizont wordt nader onderscheid gemaakt naar aanwezigheid (Hr) of afwezigheid (Hd) van slecht afbreekbare bestanddelen zoals schors. Horizonten die op de minerale ondergrond zijn gelegen worden ook wel als ecto-organische horizont aangeduid. Humusbestanddelen die vermengd zijn met de minerale ondergrond (de zgn. Ah-horizont) worden ook wel als endo-organische horizont aangeduid (zie o.a. Mekkink, 1995 voor uitgebreidere informatie over inventarisatie).

Tijdens het veldbodemkundig onderzoek zijn in het transect op gelijke intervallen van 1 meter de opbouw en samenstelling van het humusprofiel beschreven. Van elke horizont van het humusprofiel werd de dikte, de aard van het materiaal, de mate van afbraak door dierlijke micro-organismen of schimmels, de wortelintensiteit en de vochttoestand vastgesteld.

Per 4 meetpunten werden drie opeenvolgende horizonten (L+F1-, F2+H- en de Ah-horizont afzonderlijk bemonsterd en tot een mengmonster per horizont verwerkt. Aldus werden van het transect per horizont 25 monsters verzameld voor chemische analyse. De ecto-organische horizonten werden volledig verzameld, terwijl van de Ah-horizont slechts de bovenste 5 cm werd bemonsterd.

De verzamelde monsters werden na 2 dagen drogen bij 80 °C (organisch materiaal) resp. 105 °C (mineraal materiaal) gewogen. Van de mengmonsters werd vervolgens het drooggewicht per horizontcentimeter berekend door het drooggewicht van het mengmonster te delen door de gesommeerde horizontdikte van de verzamelde deelmonsters. Hierdoor kon aan elk meetpunt op basis van gemeten horizontdikten een gewicht per horizont worden toegekend. Door vermenigvuldiging van het horizontgewicht met de elementgehalten van het mengmonster werd van elk meetpunt de elementvoorraden per horizont berekend. Voor bepaling van het koolstofgehalte is verondersteld dat 50% van de organische stof uit koolstof bestaat. De monsters werden gestoken met een humushapper met een bekende oppervlakte, zodat de elementvoorraden konden worden uitgedrukt per oppervlakteenheid. Als oppervlakte werd een vlak van 9 x 2,71 cm aangehouden.

2.2.2 Bodemchemische analyses

De gedroogde monsters werden geanalyseerd op de volgende variabelen (Giesen & Geurts, 2000):

- Organische stofgehalte (Gloeiverlies bij 350 °C);
- Totaalstikstofgehalte (Kjeldahldestructie en NH_4^+ bepaling volgens Berthelot);
- Totaalfosforgehalte (Kjeldahldestructie en PO_4^{3-} bepaling met molybdeenblauw);
- Zuurgraad (1 M KCl)

De digitale bestanden van de analysesresultaten zijn in beheer bij Alterra.

2.2.3 Ruimtelijke analyse

Naast een statistische analyse, waarbij van alle variabelen het gemiddelde en de standaardafwijking werden bepaald, werd ook een ruimtelijke analyse uitgevoerd. Doel hiervan is een antwoord te krijgen op de vraag in hoeverre de variantie van de variabelen een gevolg is van ruimtelijke verschillen of van andere (toevallige) factoren. De achterliggende gedachte hierbij is dat twee punten sterker zullen verschillen naarmate hun onderlinge afstand toeneemt. Vanaf een zekere afstand

zullen de verschillen niet verder toenemen en kunnen de punten als ruimtelijk onafhankelijk worden beschouwd. De ruimtelijke variabiliteit wordt geanalyseerd met semi-variogrammen. Uit het semi-variogram kunnen een aantal kengetallen voor de ruimtelijke variabiliteit worden afgeleid. Omdat de ruimtelijke variabiliteit kan worden beschouwd als een van de dragers van biodiversiteit, verstrekken deze kengetallen binnen het monitoringprogramma informatie over ontwikkelingen in de biodiversiteit tijdens de bosontwikkeling.

Semi-variogram

Een semi-variogram geeft het verband weer tussen de variantie van de meetverschillen tussen punten en de afstand die tussen de bemonsterde punten is gelegen (o.a. Isaaks & Mohan Srivastava, 1989). De variantie neemt in de regel toe naarmate de afstand tussen bemonsterde punten toeneemt. Bij een bepaalde afstand neemt de variantie niet verder toe. Deze afstand wordt de range genoemd en de bereikte (maximale) variantie wordt de sill-waarde genoemd. Punten die door een grotere afstand dan de range van elkaar zijn verwijderd zijn ruimtelijk onafhankelijk van elkaar. Dergelijke punten behoren tot verschillende 'populaties'. Punten die op een afstand kleiner dan de range van elkaar zijn gelegen zijn ruimtelijk van elkaar afhankelijk. De range vormt een indicatie voor de dichtheid van het meetnet voor monitoring om rekening te kunnen houden met de ruimtelijke variabiliteit.

Ruimtelijke variabiliteit

Met het programma GENSTAT (Lane et al., 1987) is de variantie van de variabelen berekend voor elke afstandsklasse (lag) tussen 1 m en 30 tot 50 m (minimale afstand 1 m tot maximaal 50 m met een stapgrootte van 1 m). Door de gevonden relatie tussen (semi)variantie en afstand kan een curve gefit worden. Veel voorkomende curves vertonen een exponentieel, een sferisch of een gaussisch verband. In de tot nu toe onderzochte bosreservaten blijkt vaak een golf-model aanwezig in de ruimtelijke variabiliteit (Kemmers et al., 1998, 1999). De variantie heeft dan een cyclisch karakter. In aanhangsel 3 is het GENSTAT algoritme weergegeven dat voor de ruimtelijke analyse is gebruikt.

3 Resultaten en discussie

3.1 Inventarisatie

De resultaten van de inventarisatie zijn als aanhangsel 1 opgenomen in het rapport. In figuur 2 is het dikteverloop van de humushorizonten langs het transect weergegeven. De gemiddelde dikte van de L+F1-horizont bedraagt 28,7 mm en van de F2+H-horizont 62,8 mm. De verhouding tussen de F en H horizont bedraagt 2,2. In de F-horizonten komt veel dierlijke activiteit voor (hoofdzakelijk Fz-horizonten). De H-horizont is sterk ontwikkeld en heeft een gemiddelde dikte van 40,3 mm met veel herkenbare residuen van schors en dood hout (Hr). De Hh-horizont heeft een dikte < 2cm, zodat sprake is van lignomormoder als dominante humusvorm (Kemmers & de Waal, 1999). Deze humusvorm is typerend voor wat oudere fasen in de bossuccessie op relatief rijk moedermateriaal.

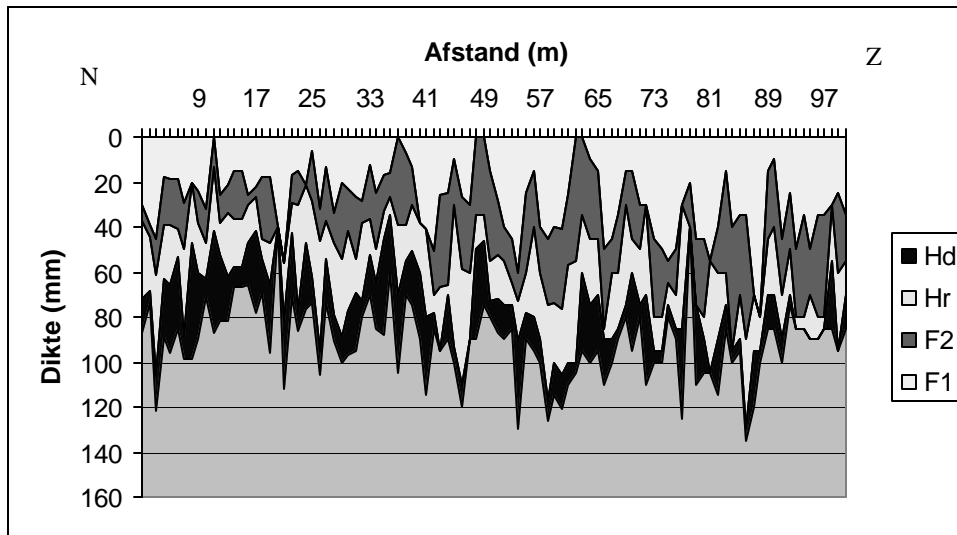


Fig. 2 Diktes van horizonten in het humusprofiel langs het transect in het bosreservaat Galgenberg.

3.2 Bodemchemische analyses

De resultaten van de bodemchemische analyses zijn als aanhangsel 2 opgenomen in het rapport. In tabel 1 zijn van de verschillende bodemchemische variabelen de gemiddelde waarden met standaardafwijking per horizont weergegeven. In figuur 3 zijn de over het gehele humusprofiel gesommeerde elementvoorraden langs het transect weergegeven.

Tabel 1 Gemiddelden en standaardafwijkingen van de bodemchemische variabelen in verschillende horizonten van het humusprofiel in Galgenberg

Variabele	L + F1		F2 + H		Ah	
	Gem	St. afw.	Gem	St. afw.	Gem.	St. afw
pH-KCl	2,45	0,10	1,99	0,07	2,77	0,07
Org. stof (g.100g-1)	90,75	3,75	79,66	8,72	5,47	0,48
N-totaal (g.100g-1)	2,27	0,17	1,82	0,16	0,094	0,015
P-totaal (mg.100g-1)	334,67	75,30	252,57	65,96	69,44	11,01
C/N	20,10	1,69	21,88	1,66	29,71	4,17
C-voorraad (kg.m-2)	2,63	1,58	6,81	2,03	3,20	0,58
N-voorraad (kg.m-2)	0,13	0,07	0,31	0,09	0,11	0,02
P-voorraad (g.m-2)	19,26	12,08	43,22	16,82	81,27	19,27

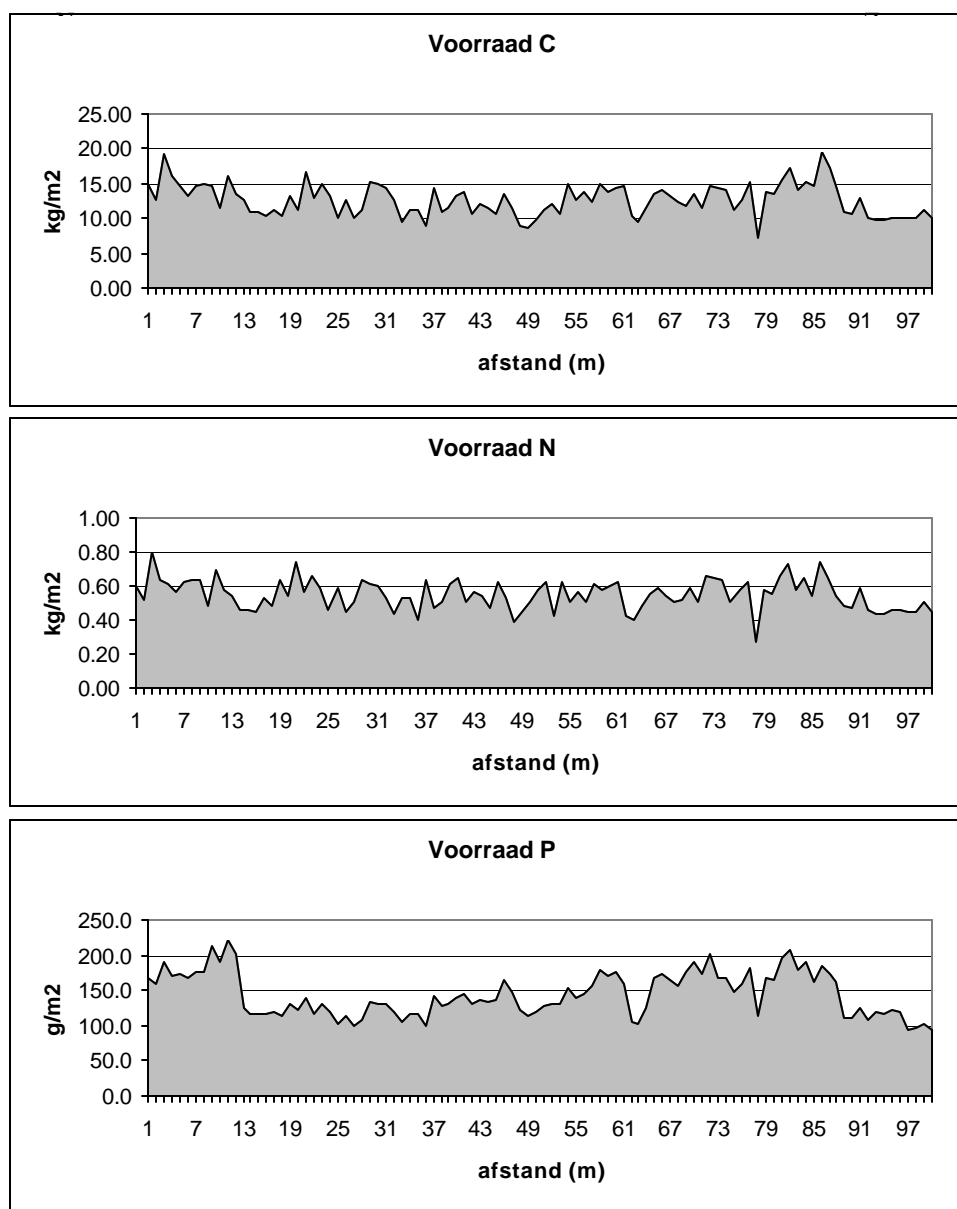


Fig. 3 Voorraden koolstof, stikstof en fosfor in het humusprofiel langs het transect in Galgenberg

Opvallend is de lage pH waarde in combinatie met het hoge gehalte organische stof in de F2+H horizont. In deze horizont komen vooral veel residuen schors en hout voor. Kennelijk vindt in deze horizont door het zure karakter een zeer geringe omzetting van organische stof plaats. De hoge C/N verhouding van deze horizont bevestigt dit beeld. De voorraad koolstof van deze horizont is dan ook groot, terwijl de stikstofvoorraad niet zeer groot is. Opvallend is dat naar de diepte de C/N verhouding toeneemt, terwijl dit meestal afneemt als gevolg van stikstoffmobilisatie tijdens de humificatie (vgl. Mattemburg, Kemmers & Mekking, 1999 en Norgerholt, Kemmers et al., 1998). Opvallend is verder het hoge gehalte P-totaal in de (sterk lemige) Ah-horizont en de daarbovenliggende F2+H en L+F1 horizont. Het rijke karakter van dit bostype hangt wellicht samen met de grote voorraden fosfor in vergelijking met bv. hetzelfde type bos in Mattemburgh en Norgerholt

3.3 Ruimtelijke variabiliteit

De analyse van de ruimtelijke variabiliteit is beperkt tot de diktevariabelen en de voorraden van de verschillende elementen. In figuur 4 zijn de karakteristieke variabelen van een variogram aangegeven (zie Isaaks & Mohan Srivastava, 1989). De sill komt overeen met de maximale variantie en de range met de afstand tussen twee punten waarop de sill wordt bereikt. De nugget is de variantie die onafhankelijk is van de ruimtelijke variatie, maar samenhangt met bv. meetfouten.

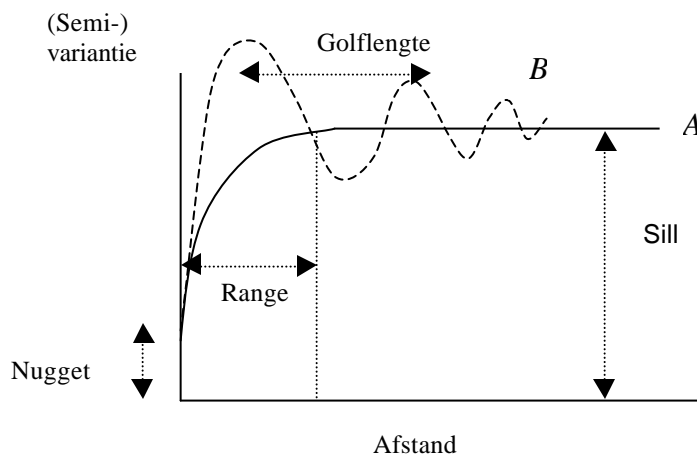


Fig. 4 Voorbeeld van een sferisch variogram met range (A) en een cyclisch variogram (wave-model) met een golflengte (B)

In tabel 2 zijn de karakteristieken van de variogrammen weergegeven die voor de verschillende variabelen in Galgenberg zijn afgeleid uit het gefitte model. Zoals ook uit eerder onderzoek naar voren kwam (Kemmers et al., 1998, 1999), blijkt de ruimtelijke analyse te wijzen op herhaalde patronen in de ruimtelijke variabiliteit. De relatie tussen de variantie en de afstand vertoont over het algemeen een onregelmatig golfpatroon met wisselende golflengtes en amplitudes (zie figuur 5), terwijl het te fitten wave-model een regelmatig patroon met vaste golflengte en een dempende golf

veronderstelt. Door deze discrepantie zijn de waarden voor R^2 daarom over het algemeen vrij laag.

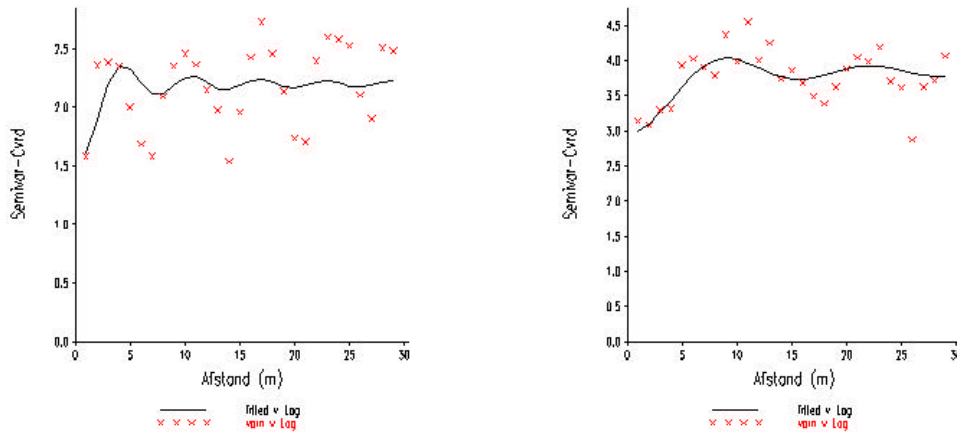


Fig. 5 Berekende(semi-)variantie en best passende model voor de voorraad koolstof in de L+F1 horizont (links) en de F2+H horizont (rechts) van de humusprofielen in Galgenberg

In figuur 5 zijn voorbeelden van een semivariogram gegeven voor de voorraad koolstof in de L+F1 horizont en de F2+H horizont. De L+F1 horizont heeft een kortere golflengte dan de F2+H horizont.

Tabel 2 Het gefitte model, waarden voor de maximale afstand tussen meetpunten (Max dist), nugget, sill, b (=golflengte/ $2B$) en R^2 (verklaarde variantie) voor de gemeten variabelen met dimensie. Met 'ectendo' wordt de voorraad in het gehele humusprofiel bedoeld.

Variabele	Dim. ²	Model	Max dist	Nugget	Sill	b	R^2
Dikte L+F1	mm	Wave	30	116	235,6	0,96	30,6
Dikte F2+H	mm	Wave	30	277	336,2	2,57	32,8
L+F1 Cvrd	kg/m ²	Wave	30	1,48	2,19	0,97	8,1
L+F1 Nvrd	kg/m ²	Wave	30	0,003	0,005	0,77	11,4
L+F1 Pvrd	kg/m ²	Wave	30	0,0008	0,00013	0,95	4,9
F2+H Cvrd	kg/m ²	Wave	30	2,96	3,84	2,0	39,0
F2+H Nvrd	kg/m ²	Wave	30	0,0057	0,0063	1,99	4,9
F2+H Pvrd	kg/m ²	Wave	30	0,00016	0,00029	2,24	21,6
Ah Cvrd	kg/m ²	Wave	50	0,064	0,271	2,32	40,0
Ah Nvrd	kg/m ²	Wave	50	0,00018	0,00042	2,29	22,1
Ah Pvrd	kg/m ²	Wave	50	0,00012	0,00037	2,84	4,0
Ectendo Cvrd	kg/m ²	Wave	50	3,84	5,50	3,28	36,9
Ectendo Nvrd	kg/m ²	Wave	50	0,0062	0,0076	2,14	18,2
Ectendo Pvrd	kg/m ²	Wave	50	0,0005	0,00104	5,9	78,1

Bij het parametriseren van het te fitten model is vooral geprobeerd de golflengte (=b*2B) goed te fitten. Over het algemeen valt op dat de nugget relatief groot is ten opzichte van de sill. Dit betekent dat de variantie die ontstaat door bv. meetfouten relatief groot is ten opzichte van de variantie die ontstaat door ruimtelijke variabiliteit. De waarden van de nugget en de sill zijn gekwadrateerd omdat ze de variantie aangeven. De waarden van b variëren vrij sterk. Wel is sprake van een

verschil in orde van grootte per cluster van variabelen. In tabel 3 zijn de b-waarden en de daarmee corresponderende golflengten geclusterd per horizont.

Tabel 3 Waarden van de parameter *b* per cluster variabelen en de daarmee ooresponderende golflengtes

<i>Variabele</i>	<i>b</i>	<i>golflengte (m)</i>
<i>Dikten</i>		
L+F1	0,96	6,0
F2+H	2,57	16,1
<i>Voorraden</i>		
L+F1	0,77 - 0,97	4,8 - 6,1
F2+H	1,99 - 2,24	12,5 - 14,1
Ah	2,29 - 2,84	14,4 - 17,8
Ectendo	2,14 - 5,9	13,4 - 37,0

In tabel 3 valt op dat de golflengte in de L+F1 horizont steeds het kleinst is en toeneemt naar de diepte. Dit geldt zowel voor de diktes als voor de voorraden. Hieruit kan worden afgeleid dat ruimtelijk patronen aan de oppervlakte zich over kortere afstanden herhalen dan op grotere diepte. Dit zou kunnen betekenen dat kruiden/struiken die dicht op elkaar staan vooral invloed hebben op de L+F1 horizont en dat bomen die verder van elkaar afstaan vooral het karakter van de onderliggende horizonten bepalen.

In vergelijking met de eerder onderzochte bosreservaten (Kemmers et al., 1998, 1999) blijkt dat in oudere bosesystemen de herhalingslengte van de ruimtelijke patronen over het algemeen kleiner is dan in jongere bosesystemen. In de relatief jonge bossystemen van Tongerense hei en Lheebroek komen herhalingslengten voor van 15 - 20 m, terwijl in de oudere bossen van Mattemburgh, Norgerholt en Galgenberg de patronen zich herhalen na 5 -15 m. Dit wijst erop dat de ruimtelijke variabiliteit toeneemt naarmate een bosesysteem ouder wordt.

In oriënterend onderzoek (Kemmers, ongepubliceerd) werd nagegaan of de onderlinge afstand van bomen en/of struiken een ruimtelijk herhaald patroon in de dikte van strooisellagen tot gevolg hebben. Dit werd getoetst door de dikte van strooisellagen te verklaren uit de lichtdoorval door het kronendak. De veronderstelling daarbij was dat op plekken met een grote transmissiviteit het kronendak minder dicht, de strooiselval geringer en de strooiselvertering sterker is dan op plekken met geringe transmissiviteit. Er kon echter geen relatie worden gevonden tussen de diktevariabelen van het humusprofiel en de lichttransmissiviteit.

4 Conclusies

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In de kernvlakte van Galgenberg vormen lignomormoders het dominante humusprofiel. Deze humusvorm is typerend voor wat oudere fasen in de bossuccessie op relatief rijk moeder materiaal.
- De gemiddelde dikte van het ectorganische deel van het humusprofiel bedraagt 101,5 mm. De L+F1 horizont heeft een gemiddelde dikte van 28,7 mm en de F2+H horizont van 62,8. De Hr horizont is sterk ontwikkeld en bevat veel schors- en houtresten.
- De pH waarde van de F2+H horizont is extreem laag en bedraagt 1,99. Er komen vooral veel residuen schors en hout in voor. Kennelijk vindt in deze horizont door het zure karakter een zeer geringe omzetting van organische stof plaats. De hoge C/N verhouding en het hoge organisch stofgehalte van deze horizont bevestigen dit beeld. De voorraad koolstof van deze horizont is dan ook groot, terwijl de stikstofvoorraad niet zeer groot is.
- De voorraden koolstof, stikstof en fosfor in het humusprofiel bedragen respectievelijk 12,6, 0,55 en 0,143 kg.m⁻².
- Het rijke karakter van het moeder materiaal komt vooral tot uiting in de opvallend hoge gehalten en voorraden fosfor in de bodem.
- In Galgenberg is sprake van een ruimtelijk herhaald patroon in de ruimtelijke variatie van humusprofielkenmerken. Voor zowel diktes als elementvoorraden van horizonten neemt de herhalingslengte toe naarmate de horizont dieper in het profiel is gelegen: voor L+F1 horizont bedraagt de herhalingslengte 5-10 m, voor de F2+H horizont 10-15 m en voor de Ah horizont 15-20 m.
- De resultaten bevestigen dat de herhalingslengte kleiner wordt naarmate het bosecosysteem ouder wordt: de ruimtelijke variatie neemt toe naarmate het systeem ouder wordt.

Literatuur

Broekmeyer, M.E.A., 1995. *Bosreservaten in Nederland*. Wageningen, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. IBN-rapport 133.

Giesen & Geurts, 2000. Analyse van humusprofielen in het bosreservaat Galgenberg 2000. Ulft. Giesen & Geurts Biologische Projekten.

Isaaks E.H & R. Mohan Srivastava, 1989. *Applied geostatistics*. Oxford university press New York, Oxford.

Kemmers, R.H., P.Mekkink & R.W. de Waal, 1998. De uitgangstoestand van bodemvariabelen in Norgerholt en Tongerense hei; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 592.

Kemmers, R.H. en P. Mekkink, 1999. Humusprofielen in de bosreservaten Lheebroek in Mattemburgh; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 686

Kemmers, R.H. & R.W. de Waal, 1999. Ecologische typering van bodems; deel 1 Raamwerk en humusvormtypologie. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 667.1.

Lane P., N. Galwey & N. Alvey, 1987. *Genstat 5 An introduction*. Clarendon press. Oxford.

Mekkink, P. 1995. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland; deel 17 Bosreservaat Galgenberg. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 98.17.

Aanhangsel 1 Horizontdiktes humusprofielen

Code	F1	F2	Hr	Hh	L+F1	F2+H	F/H	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	div0=4.44	
K20-00		30	7	35	15	30	57	0.74
K21-00		39	5	24	6	39	35	1.47
K22-00		45	16	45	16	45	77	1.00
K23-00		18	21	24	26	18	71	0.78
K24-00		19	20	27	30	19	77	0.68
K25-00		19	22	12	32	19	66	0.93
K26-00		29	21	39	10	29	70	1.02
K27-00		20	0	27	52	20	79	0.25
K28-00		24	14	22	30	24	66	0.73
K29-00		32	15	16	8	32	39	1.96
K30-00		0	13	29	45	0	87	0.18
K31-00		26	12	14	30	26	56	0.86
K32-00		21	13	28	20	21	61	0.71
K33-00		15	21	22	9	15	52	1.16
K34-00		15	21	22	9	15	52	1.16
K35-00		26	4	17	19	26	40	0.83
K36-00		22	5	15	36	22	56	0.53
K37-00		18	27	9	15	18	51	1.88
K38-00		18	29	19	30	18	78	0.96
K39-00		40	0	0	0	40	0	4.44
K40-00		56	0	26	30	56	56	1.00
K41-00		17	12	14	28	17	54	0.69
K42-00		15	15	47	9	15	71	0.54
K43-00		21	0	26	29	21	55	0.38
K44-00		6	22	34	12	6	68	0.61
K45-00		32	14	49	11	32	74	0.77
K46-00		13	24	17	20	13	61	1.00
K47-00		34	13	32	12	34	57	1.07
K48-00		20	34	35	11	20	80	1.17
K49-00		23	19	35	20	23	74	0.76
K50-00		27	27	15	26	27	68	1.32
K51-00		28	10	35	7	28	52	0.90
K52-00		12	24	16	18	12	58	1.06
K53-00		25	25	15	20	25	60	1.43
K54-00		17	16	12	43	17	71	0.60
K55-00		16	11	8	25	16	44	0.82
K56-00		0	39	31	35	0	105	0.59
K57-00		7	32	16	15	7	63	1.26
K58-00		13	17	21	24	13	62	0.67
K59-00		38	0	22	30	38	52	0.73
K60-00		41	0	39	35	41	74	0.55
K61-00		51	19	8	7	51	34	4.67
K62-00		26	41	28	0	26	69	2.39
K63-00		25	41	4	20	25	65	2.75
K64-00		10	20	63	7	10	90	0.43

Code	F1 mm	F2 mm	Hr mm	Hh mm	L+F1 mm	F2+H mm	F/H div0=4.44	
K65-00		27	32	51	10	27	93	0.97
K66-00		30	30	30	0	30	60	2.00
K67-00		0	35	15	40	0	90	0.64
K68-00		0	35	11	29	0	75	0.88
K69-00		15	40	18	7	15	65	2.20
K70-00		28	24	20	15	28	59	1.49
K71-00		40	15	20	15	40	50	1.57
K72-00		45	20	10	10	45	40	3.25
K73-00		60	13	18	39	60	70	1.28
K74-00		25	35	18	12	25	65	2.00
K75-00		15	25	40	15	15	80	0.73
K76-00		40	20	30	10	40	60	1.50
K77-00		45	30	42	9	45	81	1.47
K78-00		40	34	26	15	40	75	1.80
K79-00		41	35	30	15	41	80	1.69
K80-00		26	31	43	10	26	84	1.08
K81-00		0	55	45	5	0	105	1.10
K82-00		0	35	25	35	0	95	0.58
K83-00		10	35	30	25	10	90	0.82
K84-00		15	30	25	25	15	80	0.90
K85-00		50	35	5	20	50	60	3.40
K86-00		45	15	30	10	45	55	1.50
K87-00		35	25	25	5	35	55	2.00
K88-00		15	15	45	5	15	65	0.60
K89-00		15	30	15	35	15	80	0.90
K90-00		30	20	25	5	30	50	1.67
K91-00		30	0	40	40	30	80	0.38
K92-00		45	35	15	5	45	55	4.00
K93-00		50	30	15	5	50	50	4.00
K94-00		55	10	10	5	55	25	4.33
K95-00		50	20	15	5	50	40	3.50
K96-00		30	0	55	40	30	95	0.32
K97-00		20	20	0	0	20	20	4.44
K98-00		45	30	0	35	45	65	2.14
K99-00		45	35	10	15	45	60	3.20
K100-00		55	0	50	0	55	50	1.10
K101-00		40	20	30	25	40	75	1.09
K102-00		15	45	15	10	15	70	2.40
K103-00		40	55	0	5	40	60	19.00
K104-00		35	35	20	5	35	60	2.80
K105-00		35	55	40	5	35	100	2.00
K106-00		70	0	25	25	70	50	1.40
K107-00		80	0	15	5	80	20	4.00
K108-00		15	30	25	15	15	70	1.13
K109-00		10	30	30	15	10	75	0.89
K110-00		45	25	20	10	45	55	2.33
K111-00		25	25	20	5	25	50	2.00
K112-00		50	30	5	0	50	35	16.00
K113-00		35	45	5	0	35	50	16.00
K114-00		50	20	20	0	50	40	3.50

Code	F1 mm	F2 mm	Hr mm	Hh mm	L+F1 mm	F2+H mm	F/H div0=4.44	
K115-00		35	45	10	0	35	55	8.00
K116-00		35	45	5	0	35	50	16.00
K117-00		30	0	25	30	30	55	0.55
K118-00		25	35	35	0	25	70	1.71
K119-00		35	20	15	15	35	50	1.83
Gem		28.71	22.5	23.56	16.73	28.71	62.79	2.18
Sd		15.92	13.58	13.17	12.57	15.92	18.27	3.25

Aanhangsel 2 Bodemchemische analyses

Alterra nummer	Horizont	pH KCl	Org. stof	N totaal	P totaal	Droog gewicht
		-	%	mg/100g		g
K23-20	Ah	2.70	5.7	80.1	74.6	1442.5
K27-24	Ah	2.89	5.7	100.1	74.4	1372
K31-28	Ah	2.82	5.4	74.2	94.0	1386
K35-32	Ah	2.77	4.8	80.9	61.1	1171
K39-36	Ah	2.88	5.5	95.8	57.7	1257.1
K43-40	Ah	2.82	6.4	116.9	50.3	1238.1
K47-44	Ah	2.74	5.9	107.0	61.6	973.7
K51-48	Ah	2.78	5.8	101.3	60.0	1208.3
K55-52	Ah	2.69	5.4	92.5	52.1	1179.3
K59-56	Ah	2.66	5.4	93.1	67.6	1393.9
K63-60	Ah	2.63	6.3	113.1	78.6	1112.6
K67-64	Ah	2.79	4.8	67.6	65.7	948.7
K71-68	Ah	2.77	5.6	119.9	64.4	1051.3
K75-72	Ah	2.74	5.6	93.3	74.3	1161.6
K79-76	Ah	2.74	5.2	94.5	63.7	1243.5
K83-80	Ah	2.75	5.7	97.6	86.1	766.2
K87-84	Ah	2.73	5.3	76.9	69.0	1095.6
K91-88	Ah	2.79	4.6	95.7	76.2	1255.5
K95-92	Ah	2.84	4.8	86.3	66.0	1189.3
K99-96	Ah	2.83	5.1	79.2	67.6	1209.3
K103-100	Ah	2.61	6.6	113.3	89.6	946.8
K107-104	Ah	2.76	5.4	65.6	81.6	1317.9
K111-108	Ah	2.82	4.9	101.0	65.0	1026
K115-112	Ah	2.80	5.3	85.6	77.9	832.6
K119-116	Ah	2.76	5.5	112.8	57.0	763.5
K23-20	L+F1	2.38	88.1	2317.5	309.7	66.4
K27-24	L+F1	2.51	93.7	2270.0	390.3	43.7
K31-28	L+F1	2.61	90.4	2330.9	361.5	28.8
K35-32	L+F1	2.44	89.1	2431.6	341.4	35
K39-36	L+F1	2.51	83.6	2224.7	298.2	40.3
K43-40	L+F1	2.44	92.6	2259.3	256.2	51.9
K47-44	L+F1	2.47	90.7	2304.7	256.8	33.8
K51-48	L+F1	2.50	92.4	2274.1	257.7	50.8
K55-52	L+F1	2.38	88.9	2617.7	381.6	43.7
K59-56	L+F1	2.49	84.6	2328.3	188.7	36.1
K63-60	L+F1	2.56	86.1	2497.1	276.8	59
K67-64	L+F1	2.62	92.7	2484.3	441.8	55
K71-68	L+F1	2.49	91.0	2478.5	294.4	57.6
K75-72	L+F1	2.52	92.0	2204.7	315.3	38.7
K79-76	L+F1	2.60	96.5	2242.4	398.2	47.6
K83-80	L+F1	2.39	94.4	2113.1	488.2	41.9
K87-84	L+F1	2.37	92.5	2043.9	358.5	66.3
K91-88	L+F1	2.56	94.9	2363.4	468.4	42.3
K95-92	L+F1	2.33	80.3	1912.9	355.7	110.2
K99-96	L+F1	2.40	93.0	2222.0	335.3	71.6
K103-100	L+F1	2.30	92.9	2157.0	433.9	80.9
K107-104	L+F1	2.19	89.8	1841.3	211.4	127.4
K111-108	L+F1	2.50	92.5	2289.2	276.1	58
K115-112	L+F1	2.44	94.4	2313.8	359.9	79.3
K119-116	L+F1	2.35	91.5	2218.7	310.9	53.6
K23-20	F2+H	1.89	88.6	1868.4	207.8	188.6

Alterra nummer	Horizont	pH KCl	Org. stof %	N totaal mg/100g	P totaal	Droog gewicht g
K27-24	F2+H	1.93	87.7	1935.0	273.0	184.5
K31-28	F2+H	1.94	80.6	1947.3	287.6	210.5
K35-32	F2+H	1.91	80.7	1777.3	196.9	161.4
K39-36	F2+H	2.12	47.2	1266.2	136.4	254.7
K43-40	F2+H	1.99	75.7	1759.8	232.4	204.4
K47-44	F2+H	1.91	80.0	1950.3	218.6	157.3
K51-48	F2+H	1.92	84.2	1784.8	207.3	192.6
K55-52	F2+H	1.99	71.1	1760.7	209.6	136.8
K59-56	F2+H	2.01	76.7	1842.1	171.5	178.6
K63-60	F2+H	2.04	77.3	1880.8	198.3	146.6
K67-64	F2+H	2.12	71.5	1730.3	313.7	166.1
K71-68	F2+H	2.12	75.2	2081.6	287.3	122.2
K75-72	F2+H	2.04	81.0	1716.2	214.5	187.8
K79-76	F2+H	1.99	89.4	1885.1	378.9	178.5
K83-80	F2+H	1.93	90.1	1957.7	214.5	156.3
K87-84	F2+H	1.93	83.0	1863.2	368.3	168.4
K91-88	F2+H	2.04	81.8	1814.7	352.8	185
K95-92	F2+H	2.03	69.2	1661.1	248.5	158.8
K99-96	F2+H	2.10	81.8	1707.6	339.6	140.2
K103-100	F2+H	1.92	87.3	1855.7	356.9	191.3
K107-104	F2+H	2.08	79.4	1625.5	185.3	173.4
K111-108	F2+H	2.03	83.6	1872.7	205.4	135.2
K115-112	F2+H	1.93	87.0	2127.1	254.0	86
K119-116	F2+H	1.92	81.3	1841.0	255.1	134.2

Aanhangsel 3 Genstat-algoritme

"Programma voor bepaling van een experimenteel variogram"

```
"START"
axes window=1; ytitle='Semivar-trH';xtitle='Afstand (m)';\
      ylower=0; xlower=0
pen 1,2; method=open,point; symbols=0,1;
fvariogram [X=Coor; Xmax=30; steplength=1;\
      directions=0;segments=180]\
      data=Cvrd;vario=vario;\
      counts=counts;\
      distances=Lag
Print Lag, counts, vario
```

"Nu het experimentele variogram plotten om te kijken welk variogrammodel hierbij het beste past."

```
variate [nval=30]varn
equate      oldstructure=vario; newstructure=varn
calc        a_ini=mean(varn)
dgraph      y=varn;x=Lag; pen=2
```

```
"De keus is een:      wavemodel      ga dan naar WAVE
                    genest wavemodel  ga dan naar NEST
"
```

```
"WAVE
programma voor het fitten van een variogram volgens het wave model
volgens de formule:  $var = a * (1 - b/lag * \sin(lag/b))$ 
Voor b (=periodelengte/2pi) een waarde invullen bij RCYCLE
berekening van beginschatting voor a, c0 en b: (c0+a=sill),
c0: nugget
"
```

```
variate [nval=30]varn
equate      oldstructure=vario; newstructure=varn
calc        a_ini=mean(varn)
expression  wave; value= !( fitted = c0 + a * (1 - b/Lag * sin(Lag/b)) )
model       varn; fittedvalues= fitted
rcycle      [maxcycle=1000;tolerance=0.0000001]\
            c0,a,b; initial= 20,a_ini,1;steplength=0.1,0.01,0.01
fitnonlinear [calculation=wave]
pen 1,2; method=line,point; linestyle=1,0; symbols=0,1
dgraph      y=fitted,varn; x=Lag; pen=1,2
```

