

32/uu6 (647)
2^e ex

**Ruimtelijke variabiliteit van humusprofielkenmerken in een
Eiken-Berkenbos op arme zandgrond**

R.H. Kemmers
R.W. de Waal
P. Mekkink

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 647

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1999

955954

REFERAAT

Kemmers, R.H., R.W. de Waal en P. Mekking, 1999. *Ruimtelijke variabiliteit van humusprofielkenmerken in een Eiken-Berkenbos op arme zandgrond*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 647. 32 blz. 14 fig.; 6 tab.; 7 ref.

In het bosreservaat Tongerense hei werd onderzoek uitgevoerd met als doel enkele kengetallen voor de ruimtelijke variabiliteit van het humusprofiel in een Eiken-Berkenbos vast te stellen. In een tweetal sleuven werd om de 5 cm en in een transect om de meter de dikte van humushorizonten opgemeten. Van de meetresultaten werden variogrammen gemaakt. Op beide schalen blijkt dat de dikte van horizonten varieert en zich ruimtelijk herhaalt volgens een golfvormig patroon. De golflengte verschilt per horizont. Dit patroon in de ruimtelijke variabiliteit hangt waarschijnlijk samen met de dichtheid van bodem, struiken en kruiden. Voor het beschrijven van de ruimtelijke variatie van de L+F1-horizont volstaat een oppervlakte van enkele tientallen vierkante decimeters, van enkele tientallen vierkante meters voor de L+F2-horizont en van enkele honderden vierkante meters voor de H-horizont.

Trefwoorden: bos, humusprofiel, ruimtelijke variabiliteit, stuifzand

© 1999 DLO Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.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 DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Materiaal	13
2.2 Bemonstering	13
2.3 Statistische bewerking	13
2.4 Variogrammodel	14
3 Resultaten en conclusies	17
3.1 Sleuvenonderzoek	17
3.1.1 Sleuf 1	17
3.1.2 Sleuf 2	20
3.1.3 Conclusies	23
3.2 Transsectonderzoek	23
3.2.1 Conclusies	25
4 Discussie en synthese	27
Literatuur	31

Woord vooraf

Uit empirisch onderzoek is bekend dat diktes van horizonten van het humusprofiel over korte afstanden sterk kunnen variëren in dikte. De dikteverhouding tussen deze horizonten is een belangrijk kenmerk voor het onderscheiden van humusprofieltypen.

Dit maakt het karteren van humusprofieltypen problematisch. In het kader van de ontwikkeling van een ecologische bodemtypologie werd daarom de ruimtelijke variabiliteit van het humusprofiel als een belangrijk thema van onderzoek aangewezen. Vanuit het DWK-programma Geodata Groen Ruimte werden financiële middelen beschikbaar gesteld voor oriënterend onderzoek. Het onderzoek naar de ruimtelijke variabiliteit van humusprofielkenmerken werd door DLO-Staring Centrum in de zomer van 1997 uitgevoerd in het bosreservaat Tongerense hei. Door Staatsbosbeheer werd welwillend toestemming verleend om het terrein te betreden. In overleg met Henk Koop en Mirjam Broekmeyer van DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek werden binnen de kernvlakte plekken geselecteerd waar twee sleuven konden worden gegraven voor gedetailleerd onderzoek aan het humusprofiel. Het veldwerk werd uitgevoerd door Peter Mekkink. Voor de interpretatie van humusprofielkenmerken werd dankbaar gebruik gemaakt van de expertise van Rein de Waal. De geostatistische analyse werd uitgevoerd door Rolf Kemmers met hulp van Martin Knotters van het DLO-Staring Centrum en Jan Oude Voshaar van het Centrum voor Biometrie.

Samenvatting

Via kenmerken van het humusprofiel is procesinformatie over de nutriënten-, zuur- en vochthuishouding te extrapoleren naar ruimtelijke patronen. Kartering van humusprofielkenmerken is een probleem vanwege de grote variatie over korte afstanden. Zowel voor kartering als voor herhaalde bemonstering in de tijd (monitoring van processen) is kennis van de ruimtelijke variabiliteit noodzakelijk. Het is onduidelijk welke factoren bijdragen aan de ruimtelijke variabiliteit van het humusprofiel.

In het bosreservaat Tongerense hei werd onderzoek uitgevoerd, met als doel enkele kengetallen voor de ruimtelijke variabiliteit van het humusprofiel in een Eiken-Berkenbos op arme zandgrond (stuifzand) vast te stellen.

In een tweetal gegraven sleuven van 3 m lengte werd van het humusprofiel de dikte van voorkomende horizonten gemeten op een schaal van 1 waarneming per 5 cm. Daarnaast werd in een transect over een lengte van 100 m de dikte opgemeten op een schaal van 1 waarneming per meter.

De meetresultaten werden gebruikt om variogrammen te maken waaruit kan worden afgeleid hoe het verschil (in dikte) tussen twee punten verandert als de afstand tussen die twee punten verandert.

Uit de geostatistische analyse van de sleuven blijkt dat de dikte van alle horizonten schommelt volgens een patroon dat zich op afstanden van 15 tot 75 cm herhaalt voor de ectorganische horizonten en op afstanden van 40 tot 100 cm voor endorganische horizonten. Daarbij verschilt de herhalingsafstand van een horizont per sleuf aanzienlijk. Kennelijk is op deze gedetailleerde schaal de ligging van de sleuf sterk bepalend voor de dikte van de horizonten. De herhalingsafstand van de gecombineerde diktevariabelen komt in beide sleuven beter overeen: 30 tot 45 cm voor de L+F1-horizont en 45 tot 50 cm voor de F2+H-horizont. De verhouding tussen de F- en H-horizont heeft in beide sleuven een vrij constante herhalingsafstand van 18 tot 20 cm.

Ook in het transectonderzoek blijkt dat de dikte van humushorizonten varieert volgens een ruimtelijk herhaald patroon. Het diktepatroon herhaalt zich met golflengtes van 5 m voor de L+F1-horizont tot 16 m voor de F2+H-horizont. De dikteverhouding van de F- en H-horizont varieert ook met golflengte van 16 m. Deze golflengtes zijn aanzienlijk groter dan die welke in het sleuvenonderzoek werden vastgesteld. Verder is het opvallend dat de sillwaarden (variantie) van de diktes in de transecten aanzienlijk groter zijn dan die in de sleuven.

De conclusie van het onderzoek is dat het golfvormig verloop in de ruimtelijke variabiliteit waarschijnlijk samenhangt met de dichtheid van bomen, struiken en kruiden die de belangrijkste bron van strooisel vormen. Onder bomen, struiken en kruiden zou meer stooiselaanvoer zijn dan daar tussenin, of tussen bomen etc. zou juist een versterkte stooiselaafbraak plaatsvinden. Waarschijnlijk vormt de dichtheid

van bomen, struiken en kruiden daarom de belangrijkste factor die bijdraagt aan de ruimtelijke variabiliteit in humusprofielkenmerken.

Tevens kan worden geconcludeerd dat van L-, via F- naar H-horizont de lengte waarover het diktepatroon zich herhaalt steeds groter wordt. Hieruit is af te leiden dat de invloed van de vegetatie via strooiselaanvoer aan het maaiveld het meest nadrukkelijk aanwezig is (L-horizont) en vervaagt in de diepere horizonten van het humusprofiel (H-horizont).

De praktische consequentie voor het omgaan met de ruimtelijke variabiliteit van het humusprofiel is, dat voor een juiste vaststelling van de dikte over steeds grotere oppervlakten moet worden bemonsterd naarmate dieper gelegen horizonten worden beschouwd. Voor L+F1-horizonten gaat het om enkel tientallen vierkante decimeters, voor F2+H-horizonten enkele tientallen vierkante meters en bij H-horizonten om enkele honderden vierkante meters.

Het herhaalde patroon in dikte van horizonten heeft geen typologische consequenties. De verhouding tussen de F- en H-horizont, wat een belangrijk typologisch criterium is, verandert in essentie niet ten gevolge van de ruimtelijke variatie.

In de inleiding wordt kort ingegaan op de achtergrond, het probleem, het doel en de proefopzet. In het tweede hoofdstuk wordt naast enige algemene informatie over semi-variogrammen een uiteenzetting gegeven van de gebruikte methoden. Het derde hoofdstuk bevat de presentatie en een toelichting op de resultaten van het onderzoek naar de ruimtelijke variabiliteit in twee sleuven en een transect. In het laatste hoofdstuk worden via een discussie de deelresultaten in een synthese bijeengebracht en wordt gezocht naar een mogelijke verklaring voor de aanwezige ruimtelijke variabiliteit

1 Inleiding

Achtergrond

De laatste jaren is er een toenemende vraag naar bodemkundig onderzoek dat is toegesneden op ecologische vraagstellingen. Belangrijke ecologische informatie over de nutriënten-, zuur- en vochthuishouding ligt opgeslagen in het humusprofiel (Kemmers, 1996; De Waal & Kemmers, in voorbereiding). Voor ecologische landevaluatie of ecologische systeemanalyses is het van belang procesinformatie te kunnen extrapoleren naar ruimtelijke patronen. Humusprofielkenmerken vormen daartoe de sleutel. Om verspreiding van deze kenmerken in kaart te kunnen brengen is inzicht in de ruimtelijke variabiliteit noodzakelijk. Het humusprofiel is een dynamisch bodemcompartiment en is daardoor geschikt als object voor het monitoren van processen, zoals verzuring en verdroging. Bij herhaalde bodemkundige bemonstering kan nooit dezelfde plek een tweede keer worden geanalyseerd. Hooguit kan een zeer nabij gelegen punt in een tweede ronde worden bemonsterd. Ook daarom is het van belang kennis te hebben van de ruimtelijke variabiliteit van humusprofielkenmerken.

Probleem

Kartering van humusprofielkenmerken is vooralsnog een probleem omdat deze kenmerken over korte afstand sterk kunnen variëren (Sevink et al., 1993; Kemmers et al., 1998). Een tweede probleem ontstaat als humusprofielkenmerken worden betrokken bij monitoring van processen. Bemonstering en analyse van het humusprofiel zijn per definitie destructieve acties waardoor nooit een herhaalde bemonstering van eenzelfde punt mogelijk is. Bij herhaling van de bemonstering op een naastgelegen punt kan de aangetroffen toestand zowel het gevolg zijn van temporele als ruimtelijke verschillen. Zowel voor kartering als monitoring is kennis van de ruimtelijke variabiliteit noodzakelijk. Het is onduidelijk welke factoren bijdragen aan het tot stand komen van deze variabiliteit.

Doel en proefopzet

Doel van dit onderzoek was de ruimtelijke correlatielengte van enkele kenmerken van het humusprofiel in bos vast te stellen. Eenvoudig gezegd is de correlatielengte de onderlinge afstand waarbij er sprake is van een duidelijk verschil tussen twee punten. Daarom is op verschillende schalen de ruimtelijke variabiliteit van enkele kenmerken van het humusprofiel onderzocht.

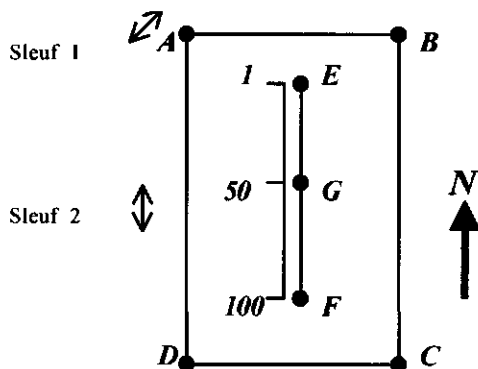
2 Materiaal en methoden

2.1 Materiaal

Als object van studie hebben wij een zgn. kernreservaat gekozen dat in het kader van het onderzoekprogramma Bosreservaten langdurig zal worden gemonitord. Het kernreservaat Tongerense hei kan als een referentie voor een Eiken-Berkenbos op arme zandgronden worden beschouwd. Van dit bosreservaat is al veel bodemkundige informatie bekend (Mekkink, 1996, Kemmers et al., 1998). De begroeiing van dit bosreservaat is karakteristiek voor Eiken-Berkenbossen op stuifzand.

2.2 Bemonstering

In het bosreservaat Tongerense hei is op twee verschillende schalen onderzoek gedaan naar de ruimtelijke variabiliteit van kenmerken van het humusprofiel. In een transect van 100 m lengte (Kemmers et al., 1998) werd op een schaal van 1 steek per meter met een humushapper een ongestoord bodemmonster gestoken. Van het monster werd de dikte van de verschillende horizonten van het humusprofiel genoteerd. Daarnaast werden op een schaal van 1 steek per 5 cm in twee profielsleuven over een lengte van 3 meter de dikte van de diverse horizonten opgemeten. Het transect en de beide sleuven zijn naast de kernvlakte van het bosreservaat gelegen (zie figuur 1). Bij beide schalen werden de volgende horizonten onderscheiden: L-, F1-, F2-, H-, L+F1-, F2+H-, Ahe- en E-horizont. Tenslotte werd ook de verhouding van de dikte van de F en H horizont berekend. Deze verhouding is een maat voor het onderscheid tussen humusvormtypen (De Waal & Kemmers, in voorb.).



Figuur 1 Ligging van transect E-G-F en de sleuven 1 en 2 in bosreservaat Tongerense hei

2.3 Statistische bewerking

Voor beide schalen werden met het programma GENSTAT (Genstat 5 Committee, 1993) experimentele variogrammen berekend van humusprofielkenmerken op de

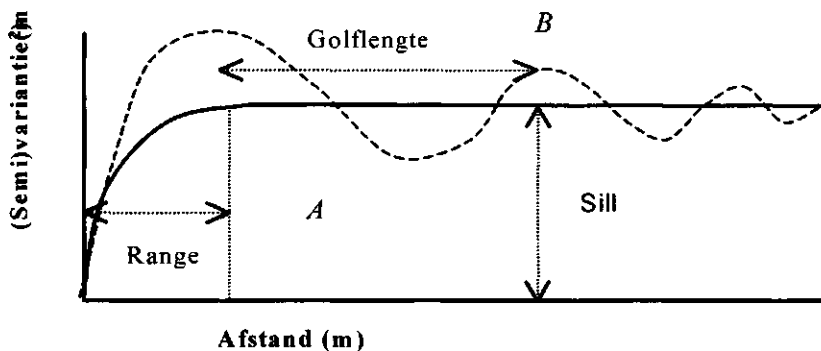
bemonsterde punten. Een variogram geeft van een kenmerk de relatie weer tussen de afstand (h) en de variantie (γ) van alle puntenparen die op een bepaalde afstand van elkaar zijn gelegen volgens onderstaande formule:

$$\gamma = 0,5E [z(x) - z(x+h)]^2 \quad (1)$$

waarin: γ = variantie (m²)
 $z(x)$ = waarde kenmerk z op punt x
 h = afstand (m)

In zijn algemeenheid neemt de variantie toe naarmate de afstand tussen punten groter wordt, tot het niveau waarop de zgn. sill wordt bereikt. De sill geeft het niveau aan waarbij de variantie constant blijft ondanks groter wordende afstand tussen punten. De afstand waarbij de sill wordt bereikt wordt de range genoemd. In figuur 2 is een voorbeeld van twee typen variogrammen weergegeven. Variogram A is een voorbeeld van een sferisch variogram model, terwijl variogram B een voorbeeld is van een wave model, waarbij de sill geen constante waarde aanneemt maar schommelt rond een gemiddelde volgens een bepaalde golflengte.

Bij het sleuvenonderzoek werden de variogrammen berekend voor afstandsklassen van 5 tot 200 cm met een stapgrootte van 5 cm. Bij het transectonderzoek werden de variogrammen berekend voor afstandsklassen (lag) van 1 tot 75 m met een stapgrootte van 1 m.



Figuur 2 Voorbeeld van twee (semi-)variogrammen volgens een sferisch model (A) en een wave model (B)

2.4 Variogrammodel

Omdat zowel uit het transectonderzoek van Kemmers et al. (1998), als uit het sleuvenonderzoek een golfvormig verloop van de sill van het variogram naar voren kwam, werd door elk experimenteel variogram uit het sleuvenonderzoek een wave-model gefit (Isaaks & Mohan Srivastava, 1989)

Bij het fitten werd vooral gelet op een passende golflengte. Hiertoe was het soms nodig om de stapgrootte tussen de afstandsklassen te vergroten (minder ruis). Soms

bleek de sill een discontinuïteit te bezitten vanaf een bepaalde afstandsklasse (trend). In dat geval werd het aantal afstandsklassen beperkt tot het continue deel van de sill.

Het wave model kan als volgt worden beschreven:

$$\gamma = a (1 - b/h * \sin(h/b)) \quad (2)$$

waarin: γ = variantie (m^2)

a = sill (m)

b = golflengte/ 2π

h = afstand (m)

Zowel voor a als b wordt een initiële waarde opgegeven, waarna het model naar een optimum rekt. Als initiële waarde van a werd de variantie (= (standaard afwijking)²) gekozen, terwijl de initiële waarde voor b op het oog werd geschat.

3 Resultaten en conclusies

3.1 Sleuvenonderzoek

3.1.1 Sleuf 1

In tabel 1 zijn de gemiddelden en standaardafwijkingen van de verschillende variabelen weergegeven. In tabel 2 zijn de berekende waarden van sill en b van het gefitte variogram voor de verschillende diktevariabelen van sleuf 1 weergegeven. De verklaarde variantie van het gefitte model is vrijwel steeds laag, omdat het model een regelmatig patroon veronderstelt, terwijl dat in feite sterk onregelmatig is.

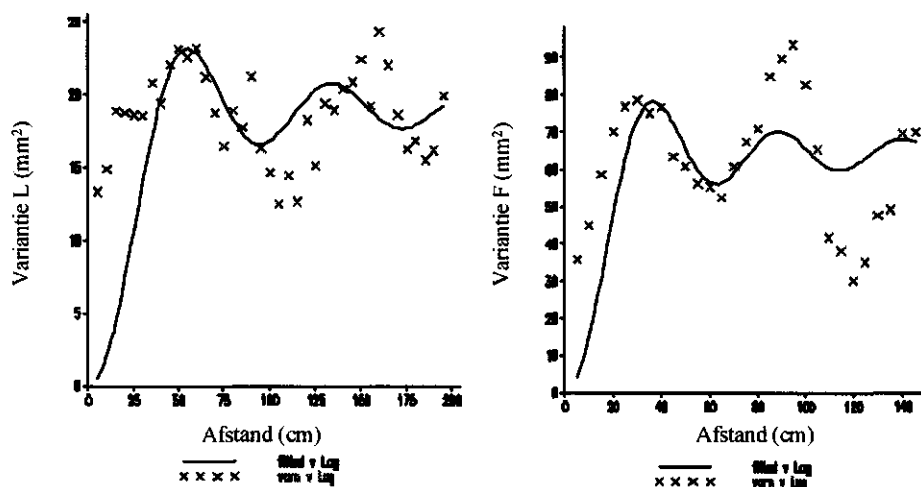
Tabel 1 Gemiddelde dikte (mm) en standaardafwijking (s.a.) van de verschillende horizonten van het humusprofiel in sleuf 1

	L	F	H	L+F1	F2+H	F/H	Ahe	E
Gem.	11,87	51,6	11,4	28,9	45,9	5,1	80,9	76,5
s.a.	4,26	7,95	3,54	6,6	7,4	2,16	12,7	14,7

Tabel 2 Het gefitte model, waarden voor sill, b, de golflengte en de verklaarde variantie (r^2) van het gefitte model van de verschillende horizonten in sleuf 1

Horizont	Model	Sill (mm^2)	b(cm)	Golflengte (cm)	r^2
L	wave	19	12	75,4	-
F	wave	64,3	8,1	50,9	-
H	wave	10,9	2,9	18,2	10,3
L+F1	wave	41,8	5,03	31,6	-
F2+H	wave	56,4	8,2	51,5	-
Ahe	wave	163	13,6	85,4	-
E	wave	222	16,0	100,5	6,8
r _{FH}	wave	3,8	2,9	18,2	26,3

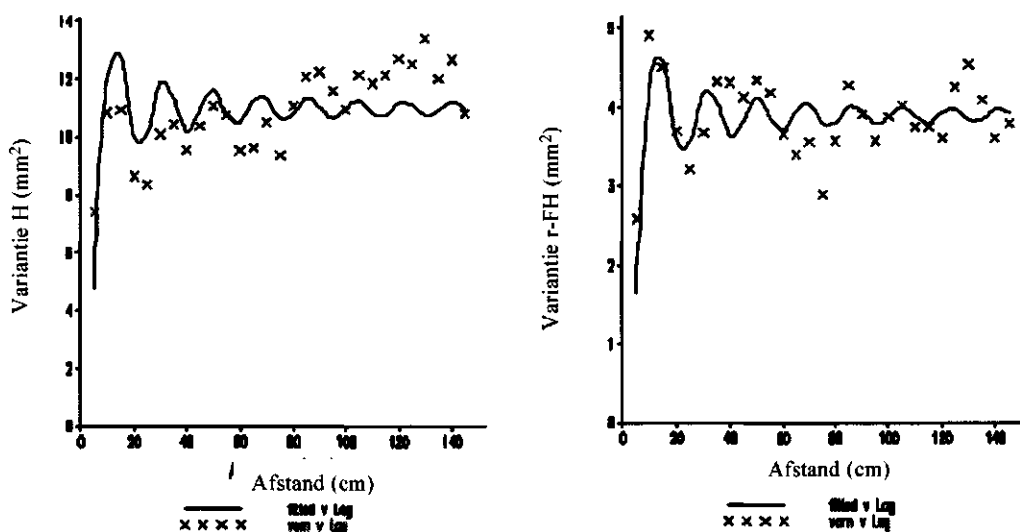
In de figuren 3 tot en met 6 zijn de variogrammen van sleuf 1 grafisch weergegeven.



Figuur 3 Variogram van de dikte van de L- en de F- horizont uit sleuf 1

Uit figuur 3 komt het golfvormig karakter van de sill duidelijk naar voren. De sillwaarde van de L-horizont golft tussen de 17 en 23 mm². Omdat de sill overeenkomt met het kwadraat van de standaardafwijking (vgl. tabel 1 en 2) golft de standaardafwijking tussen 4 en 5 mm bij een gemiddelde dikte van 11,9 mm. De golf van de sill van de F-horizont fluctueert tussen 55 en 80 mm². De standaardafwijking varieert dus tussen de 7,5 en 9 mm bij een gemiddelde dikte van 51,6 mm. De golflengte van de sill voor de L- en F-horizont bedraagt respectievelijk 75 en 51 cm.

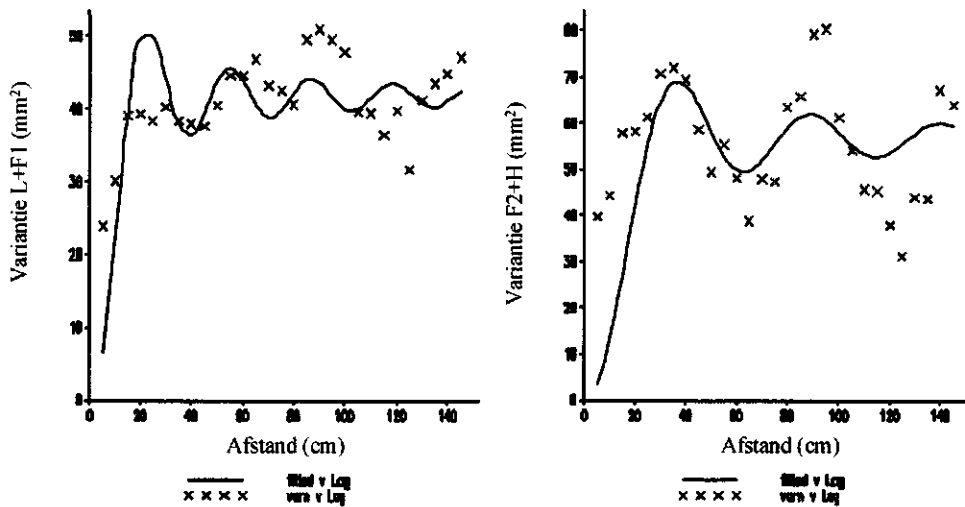
Uit figuur 4 blijkt dat de sill van de H-horizont schommelt tussen de 10 en 13 mm². Dit komt overeen met een schommeling van de standaardafwijking tussen 3 en 3,5 mm bij een gemiddelde dikte van 11,4 mm. De verhouding tussen de F- en H-horizont is gemiddeld 5 met een standaardafwijking die schommelt tussen 0,6 en 0,7 mm. De golflengte van beide variabelen is aanzienlijk kleiner dan die welke bij de L- en F-horizont werd gemeten en bedraagt 18 cm.



Figuur 4 Variogram van de dikte van de H-horizont en de verhouding tussen de diktes van de F-en H-horizont (r-FH) in sleuf 1

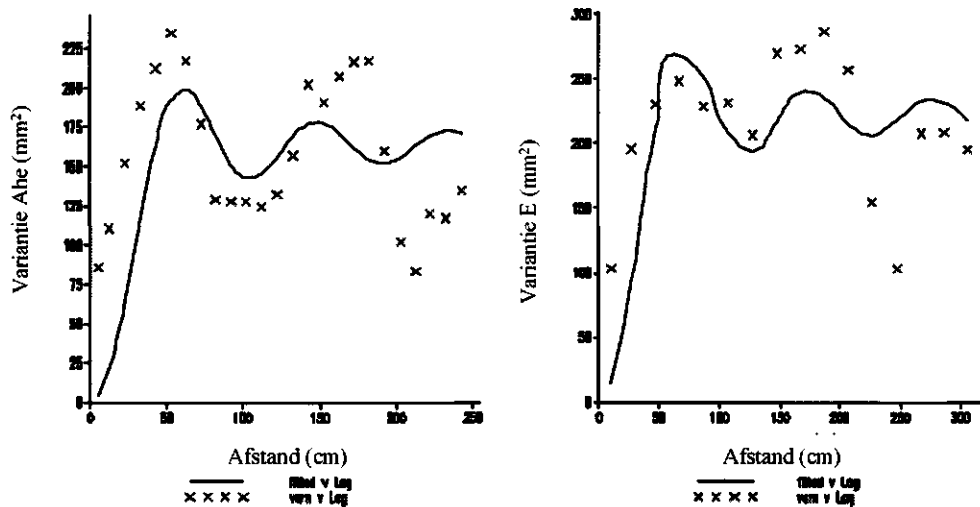
De amplitude van de golf is echter gering ten opzichte van de standaardafwijking. De amplitude van de golf bij de F/H-verhouding is zodanig dat de F-horizont steeds de grootste dikte behoudt. Dit impliceert dat er geen typologische consequenties zijn van het golfvormige karakter van de sill.

Binnen de F-horizont kan onderscheid worden gemaakt tussen een F1- en een F2-horizont. Omdat de F1 enige gelijkenis vertoont met de bovenliggende L-horizont en de F2- met de onderliggende H-horizont zijn de diktes gecombineerd. In figuur 5 zijn variogrammen weergegeven van de dikte van de L+F1-horizont en de F2+H-horizont.



Figuur 5 Variogrammen van de dikte van de L+F1- en de F2+H-horizont in sleuf 1

De golflengte van de L+F1-horizont bedraagt 31 cm terwijl die van de F2+H-horizont met 51 cm duidelijk groter is. Het patroon van de golf in de L+F1-horizont is echter vrij onregelmatig. De amplitude van de golf is gering.



Figuur 6 Variogram van de dikte van de Ahe- en de E-horizont.

In figuur 6 zijn variogrammen voor de dikte van de Ahe- en de E-horizont weergegeven. De golflengte van de sillwaarde voor deze horizonten bedraagt resp. 85 en 100 cm en komt in grootteorde het meest overeen met de dikte van de L-horizont.

In zijn algemeenheid lijkt het erop dat de golflengte van de sillwaarde het grootst is voor de L-horizont en afneemt in de richting van de H-horizont. Voor de samengestelde diktevariabelen is de grootteorde 30 tot 50 cm. De golflengte van de verhouding tussen F- en H-horizont is vergelijkbaar met die van de H-horizont.

3.1.2 Sleuf 2

Tabel 3 geeft een overzicht van de gemiddelden en de standaardafwijkingen van de diktevariabelen. Tabel 4 geeft een overzicht van de parameters van de variogrammen die voor de diktevariabelen van sleuf 2 zijn gevonden.

Tabel 3 Gemiddelde dikte (mm) en standaardafwijkingen (s.a) van de verschillende variabelen van het humusprofiel in sleuf 2

	L	F	H	L+F1	F2+H	F/H	Ahe	E
Gem.	8,94	75,3	9,4	46,8	40,6	8,8	74,8	78,3
s.a.	4,61	16,3	2,76	8,47	6,94	4,2	14,4	14,6

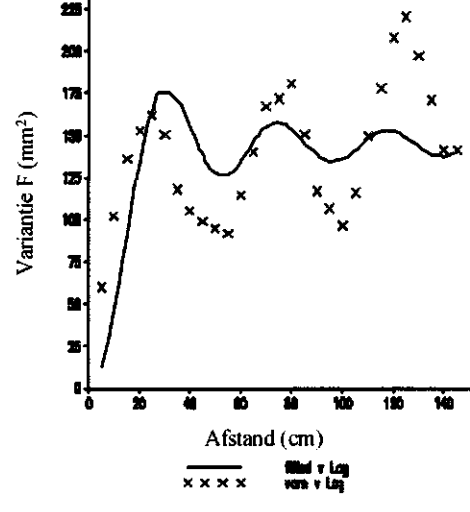
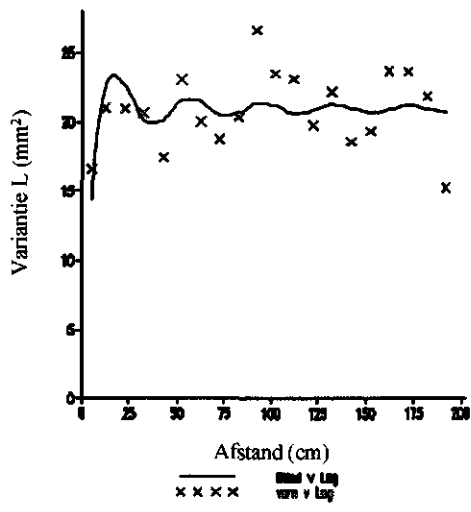
Tabel 4 Het gefitte model, waarden voor sill en b en de verklaarde variantie (r^2) van het gefitte model van de diverse variabelen in sleuf 2

Horizont	Model	Sill (mm ²)	b(cm)	Golflengte (cm)	r^2
L	Wave	20,9	2,15	13,5	-
F	Wave	144,6	6,8	42,7	12,0
H	Wave	7,14	7,96	50,0	-
L+F1	Wave	72,3	6,9	46,9	16,1
F2+H	Wave??	53,6	7,0	44,0	trend
r _{FH}	Wave	15,98	3,24	20,4	25,8
Ahe	Wave	202	6,71	42,1	10,1
E	Wave	225	9,4	63,9	-

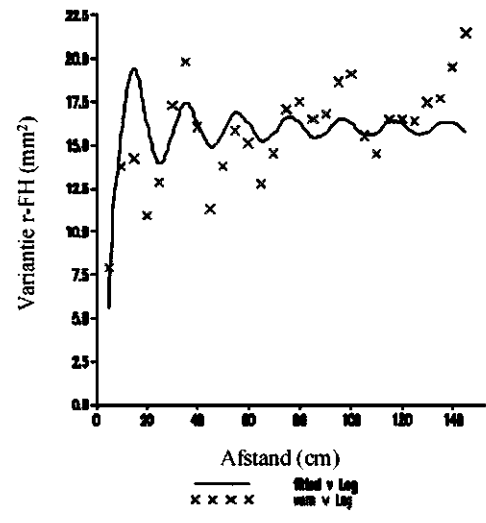
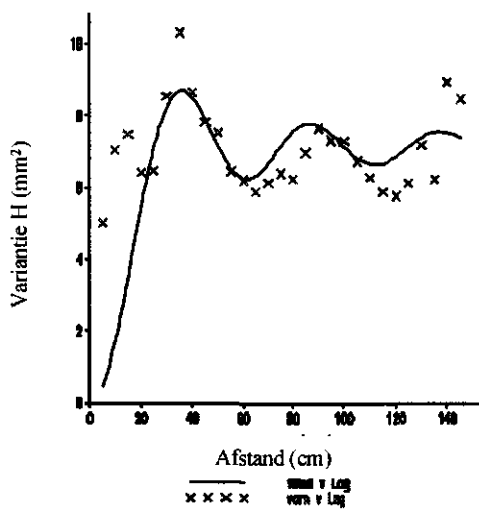
Opvallend is dat de golflengtes van de diktevariabelen in sleuf 2 toenemen vanaf de L- in de richting van de H-horizont, terwijl dit bij sleuf 1 juist andersom was. Blijkbaar is bij dergelijk gedetailleerd onderzoek de plaats van de sleuf sterk bepalend voor de dikte van de variabelen. De grootteorde van de golflengte van de samengestelde diktevariabelen en de F/H-verhouding komen in beide sleuven beter met elkaar overeen. De waarden voor de Ahe- en E-horizont lopen eveneens vrij sterk uiteen.

In de figuren 7 tot en met 10 zijn de variogrammen voor sleuf 2 grafisch weergegeven.

De golflengte in de L-horizont is onregelmatig en bedraagt 13 cm. De amplitude is zeer klein. De golflengte van de F-horizont heeft een regelmatiger karakter en bedraagt 42 cm. In de sill lijkt een geleidelijke stijging (trend) waarneembaar. De amplitude is aanzienlijk.

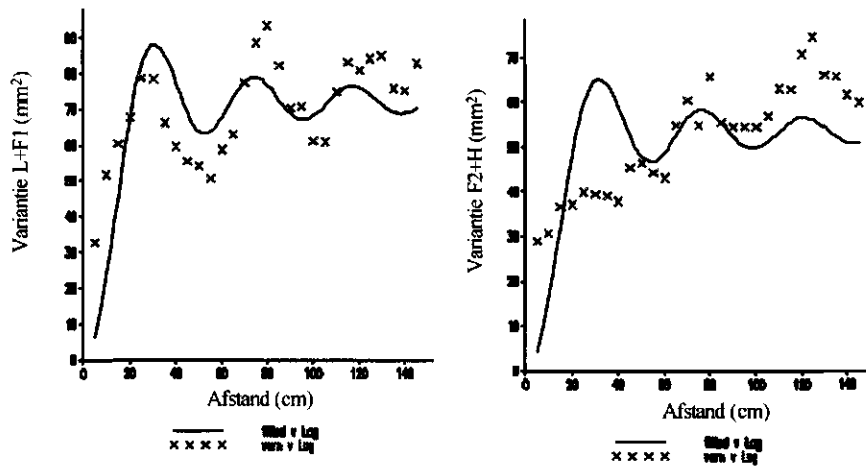


Figuur 7 Variogrammen van de dikte van de L- en F-horizont uit sleuf 2



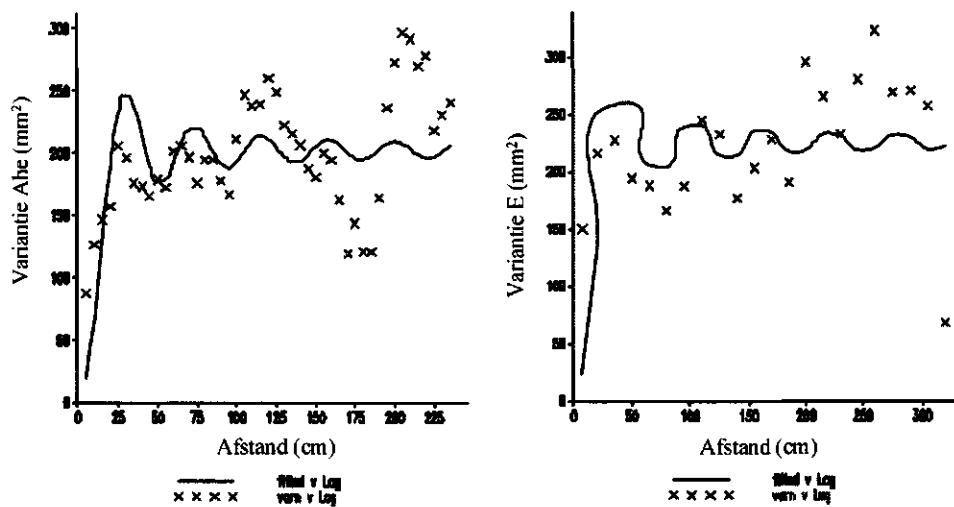
Figuur 8 Variogrammen van de dikte van de H-horizont en de dikteverhouding van de F- en H-horizont

De H-horizont (fig. 8) heeft een golflengte van 50 cm met een geringe amplitude, terwijl de F/H-verhouding zich manifesteert met een golflengte van 20 cm, waarbij een zekere trend valt waar te nemen.



Figuur 9 Variogrammen van de dikte van de L+F1- en de F2 +H-horizont in sleuf 2

De samengestelde diktevariabelen (figuur 9) hebben een ongeveer gelijke golflengte van 45 cm. De sill in het variogram van de F2+H-horizont lijkt uit een golf- en een trendcomponent te zijn opgebouwd.



Figuur 10 Variogrammen van de dikte van de Ahe- en de E-horizont

De Ahe- en E-horizont (figuur 10) hebben een onregelmatig karakter ten aanzien van golflengte en amplitude van de sill. De golflengte bedraagt 42 tot 64 cm, wat in orde van grootte overeenkomt met die van de F- en H-horizont.

3.1.3 Conclusies

Uit het sleuvenonderzoek kan worden geconcludeerd dat de dikte van alle horizonten een ruimtelijk herhaald patroon te zien geeft. De dikte varieert met afstanden van 15 tot 75 cm voor de ectorganische horizonten (L-, F- en H-horizonten) en 40 tot 100 cm voor endorganische horizonten (Ahe- en E-horizonten). Daarbij verschilt de herhalingsafstand van een horizont per sleuf aanzienlijk. Kennelijk is op deze gedetailleerde schaal de ligging van de sleuf sterk bepalend voor de dikte van de horizonten. De herhalingsafstand van de gecombineerde diktevariabelen komt in beide sleuven beter overeen: 30 tot 45 cm voor de L+F1-horizont en 45 tot 50 cm voor de F2+H-horizont. De verhouding tussen de F- en H-horizont heeft in beide sleuven een vrij constante herhalingsafstand van 18 à 20 cm.

3.2 Transsectonderzoek

In tabel 5 zijn de gemiddelden en standaardafwijkingen weergegeven van de dikte van de verschillende horizonten die in het transsect zijn bemonsterd. De parameters van de berekende variogrammen van de diktevariabelen zijn weergegeven in tabel 6 (zie ook Kemmers et al., 1998).

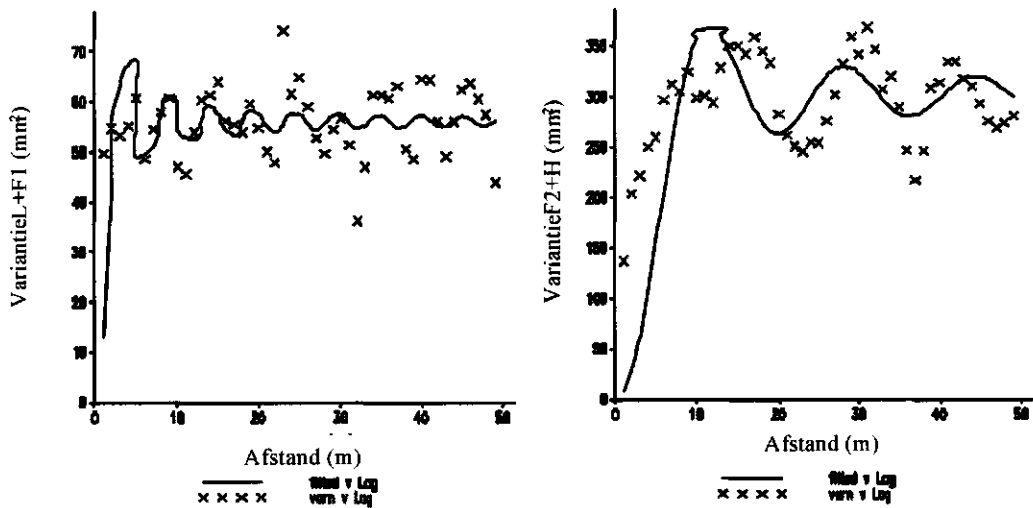
Tabel 5 Gemiddelde dikte (mm) en standaardafwijkingen (s.a.) van de verschillende variabelen van het humusprofiel in het transsect

	F	H	L+F1	F2+H	F/H
Gem.	54,7	21,45	22,4	43,23	4,05
s.a.	15,5	12,96	7,67	16,66	3,90

Tabel 6 Het gefitte model, waarden voor sill en b en de verklaarde variantie (r^2) van het gefitte model van de diverse variabelen in het transsect

Horizont	Model	Sill (mm ²)	b(m)	Golflengte (m)	r^2
L ¹⁾	Wave	4	1,55	9,7	-
L+F1	Wave	56,1	0,82	5,1	-
F2+H	Wave	301,98	2,58	16,2	-
F	Wave	252,0	3,0	18,8	-
H	Trend				
F/H	Wave	13,4	2,54	16,0	-

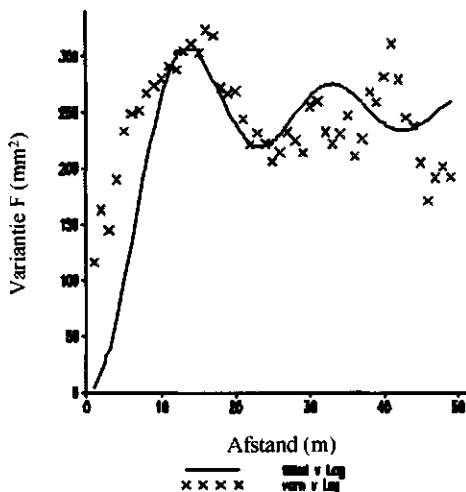
1) Geschatte waarden



Figuur 11 Variogrammen van de dikte van de L+F1- en F2+H-horizont uit het transectonderzoek

In figuur 11, 12 en 13 zijn de variogrammen van de diktevariabelen uit het transectonderzoek grafisch weergegeven.

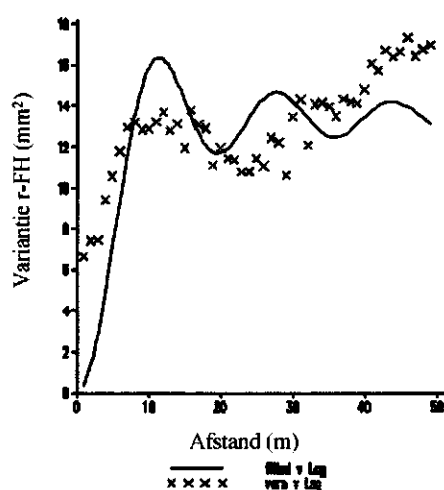
In het transect zijn de diktes van de L-horizont afzonderlijk niet opgenomen. Wel is dit in combinatie met de dikte van de F1-horizont gedaan. De golflengte van de L+F1-horizont bedraagt ongeveer 5 m wat aanzienlijk kleiner is dan de 16 m van die van de F2+H-horizont. De amplitude van de golf in de variantie van de L+F1-horizont is gering en bedraagt 20 mm^2 , die van de F2+H-horizont is aanzienlijk en bedraagt 100 mm^2 .



Figuur 12 Variogram van de dikte van de F- en H-horizont in het transect

De golflengte van de F-horizont bedraagt 19 m en heeft een vrij grote amplitude. Bij de H-horizont kon geen passend wave model worden gevonden. Bij het variogram van de H-horizont blijkt tot een laggrootte van 50 m beter een sferisch model te

passen. De sill heeft een waarde van 140 mm^2 en wordt bereikt bij een range van 30 m.



Figuur 13 Variogram van de verhouding tussen de F- en H-horizont in het transect

De golflengte van de dikte van de F/H-verhouding heeft een regelmatig patroon en is van dezelfde orde van grootte als die van de F2+H-horizont en bedraagt 16 m.

In het transectonderzoek werd de dikte van de Ahe- en de E-horizont niet geregistreerd. Hiervan zijn dus ook geen variogrammen gemaakt.

3.2.1 Conclusies

Ook bij een grovere schaal van onderzoek blijkt dat de dikte van humushorizonten varieert volgens een ruimtelijk herhaald patroon. Het diktepatroon herhaalt zich met golflengtes van 5 m voor de L+F1-horizont tot 16 m voor de F2+H-horizont. De dikteverhouding van de F- en H-horizont varieert ook met een golflengte van 16 m. Deze golflengten zijn aanzienlijk groter dan die welke in het sleuvenonderzoek werden vastgesteld. Verder is het opvallend dat de sillwaarden (variantie) van de diktes in de transecten aanzienlijk groter zijn dan die in de sleuven. De sleuven zijn kennelijk niet toereikend om de totale variantie van de diktevariabelen in een bosperceel te bestrijken.

4 Discussie en synthese

Discussie

De conclusie die uit de ruimtelijke analyses kan worden getrokken is, dat er duidelijk sprake is van een zich herhalend patroon in de dikte van horizonten. Het transectonderzoek, met een bemonsteringsdichtheid van 1 steek per meter, geeft een indruk van het ruimtelijk gedrag van humusprofielkenmerken op het schaalniveau van tientallen meters. Het blijkt dat de dikte gecorreleerd is aan de afstand via een golfvormig verloop met een golflengte tussen 5 en 20 m. Binnen een afstand van 5 tot 20 m vertonen de variabelen meer gelijkenis met elkaar dan buiten deze afstand. Het sleuvenonderzoek zoomt in op een gedetailleerder niveau van decimeters. Uit het sleuvenonderzoek blijkt eveneens dat er sprake is van een variatie in de dikte met een herhalingslengte van 20 tot 50 cm.

Het herhaalde patroon in dikte van horizonten heeft geen typologische consequenties. De verhouding tussen de F- en H-horizont, wat een belangrijk typologisch criterium is, verandert in essentie niet ten gevolge van de ruimtelijke variatie.

Een verklaring voor het golfvormig verloop in de ruimtelijke variabiliteit kan zijn, dat het golvende patroon samenhangt met de dichtheid van bomen, struiken en kruiden die de belangrijkste bron van strooisel vormen. Onder bomen, struiken en kruiden zou meer stooiselaanvoer zijn dan daar tussenin, of tussen bomen etc. zou juist een versterkte strooiselafbraak plaatsvinden.

Het golfvormige patroon in de ruimtelijke variabiliteit van de F2- en H-horizont zou overeen kunnen stemmen met de onderlinge afstanden tussen bomen en grotere struiken (meters tot tientallen meters). De ruimtelijke variabiliteit van de L- en F1-horizont zou kunnen samenhangen met de onderlinge afstand tussen kruiden en kleine struiken (decimeters tot een meter).

De resultaten wijzen erop dat van L- , via F- naar H-horizont de golflengte van de sill steeds groter wordt. Hieruit is af te leiden dat de invloed van de vegetatie via stooiselaanvoer aan het maaiveld het meest nadrukkelijk aanwezig is (L-horizont) en vervaagt in de diepere horizonten van het humusprofiel (H-horizont).

Synthese

Resultaten van onderzoek op beide schaalniveaus kunnen worden geïntegreerd tot een synthese. Tabel 6 vat de resultaten nog eens overzichtelijk samen. Daarbij zijn de resultaten van de sleuven gemiddeld. In de verdere discussie wordt uitgegaan van het gemiddelde beeld van het sleuvenonderzoek.

Tabel 6 Sillwaarden (mm^2) en golf lengtes (m) van onderzoek op verschillende schalen. Bij het gemiddelde van sleuf 1+2 is aangegeven hoe de sill zich in procenten verhoudt tot de sill van het transectonderzoek

Horizont	Transect		Sleuf1		Sleuf2		Gem. sleuf 1+2		Sill _{tr} /Sill _{dr} (%)
	Sill	golf	Sill	golf	Sill	golf	Sill	golf	
L	4 ¹⁾	9,7	19	0,75	20,9	0,14	20	0,44	> 100
F	242	18,8	64,3	0,51	144,6	0,43	105	0,47	43
H	140 ²⁾	-	10,9	0,18	7,14	0,50	9	0,34	6
L+F1	55	5,1	41,8	0,32	72,3	0,47	57	0,38	100
F2+H	302	16,2	56,4	0,52	53,6	0,44	55	0,48	18
F/H	26	16,0	3,8	0,18	15,98	0,21	9,9	0,19	38
Ahe			163	0,86	202	0,42	183	0,63	?
E			22	1,01	225	0,64	224	0,82	?

¹⁾ Geschatte waarde

²⁾ Heeft een sferisch model (max. lag=50!) met range 30, dus geen golf

In figuur 14 zijn de resultaten van het onderzoek op de verschillende schalen in een samenvattend schema weergegeven met geïdealiseerde variogrammen voor de verschillende variabelen.

Uit het sleuvenonderzoek blijkt dat de L+F1-horizont een sillwaarde heeft die van dezelfde grootteorde ($50\text{-}70\text{ mm}^2$) is als de sillwaarde die wordt gevonden in het transectonderzoek. De variantie van de dikte van de L+F1-horizont is op beide schalen gelijk. De sillwaarde schommelt echter bij de sleuven over korte afstanden. Er is sprake van ruimtelijke variabiliteit over zeer korte afstanden. De grootste variatie wordt binnen 20 cm bereikt. Als de afstand groter wordt dan 20 cm neemt de sillwaarde (variantie) weer af en gaan de punten weer meer gelijkenis vertonen. Dit golfachtige karakter van de sill zet zich ook bij groter wordende afstand voort. De lengte van de golf bij afstanden tot 3 is 40 cm en groeit bij afstanden boven de 3 m uit tot 5 m.

Van de F2+H-horizont is de sillwaarde tot een afstand van 3 m (sleuflengte) ten opzichte van de sillwaarde die in de transecten werd gevonden laag (18%). Kennelijk zijn de sleuven te kort om de totale ruimtelijke variatie van de F2+H-horizont te bestrijken. De variabiliteit over afstanden tot 3 m is gering ($50\text{ mm}^2 < \text{sill} < 70\text{ mm}^2$) en wordt pas bij afstanden van 8 m groot ($250\text{ mm}^2 < \text{sill} < 350\text{ mm}^2$). Vanaf een afstand van 8 meter kunnen punten als ruimtelijk onafhankelijk worden beschouwd. Ook hier geldt dat bij grotere afstanden de punten weer meer op elkaar gaan lijken vanwege het golfachtige karakter van de sill. De golf lengte bij afstanden tot 3 m is 55 cm en groeit uit tot 16 m bij grote afstanden.

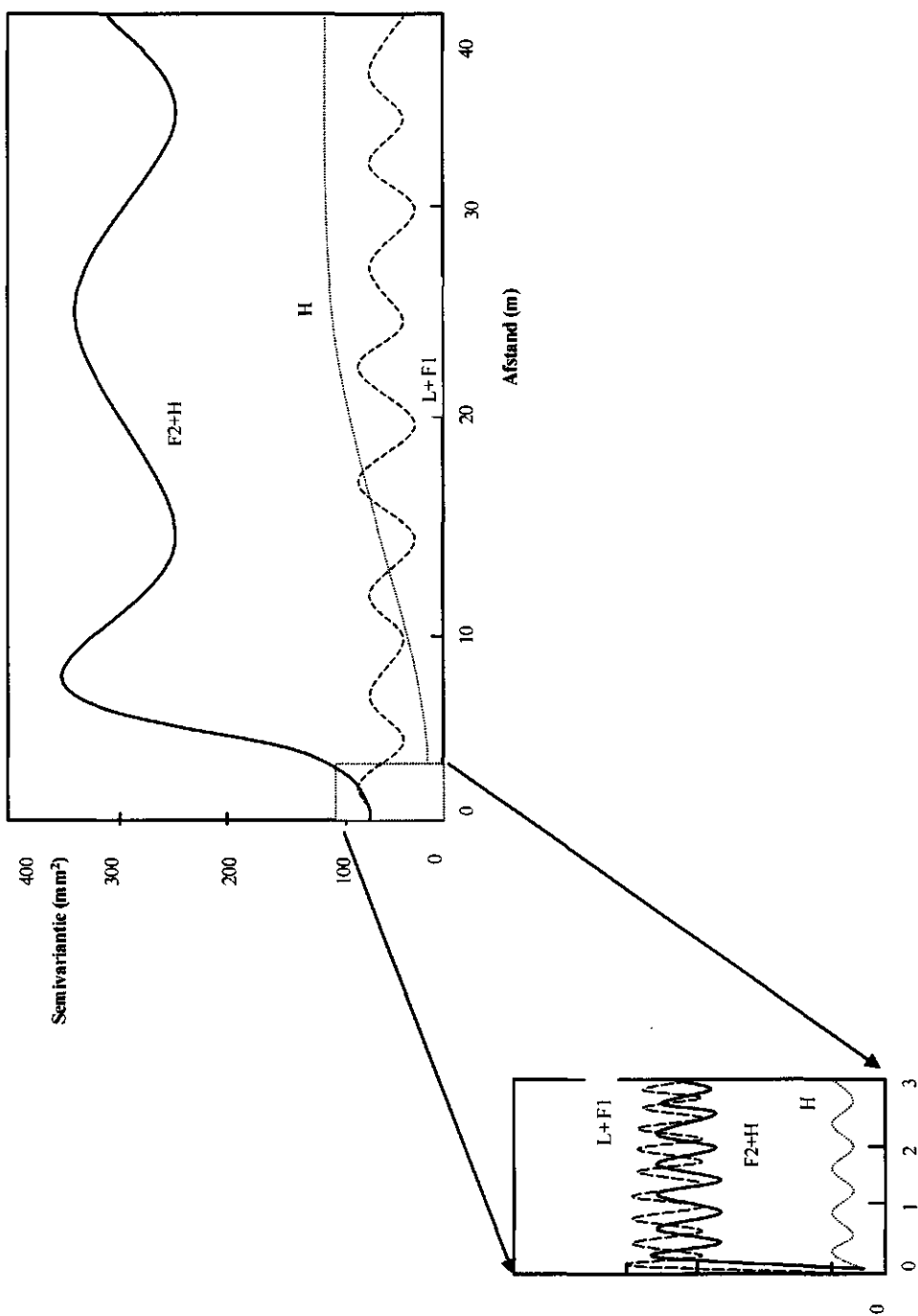
De fenomenen die optreden bij de L+F1-horizont lijken ook aanwezig indien de L-horizont afzonderlijk wordt geanalyseerd. Evenzo lijkt het ruimtelijk gedrag van de F-horizont afzonderlijk op dat van de F2+H-horizont.

Het gedrag van de H-horizont afzonderlijk geeft de meest extreme verschillen in sillwaarden voor de korte afstand ($9\text{ mm}^2 < \text{sill} < 11\text{ mm}^2$) en de lange afstand (sill = 140). Over korte afstand wordt de totale ruimtelijke variabiliteit van de H-horizont niet bestreken. Het bijzondere van de H-horizont is dat over grotere afstanden het golfkarakter van de sill verdwijnt. Uit de analyse van het gedrag bij grote afstanden

blijkt de range 30 m te bedragen. Dit impliceert dat een afstand van 30 m nodig is om de ruimtelijk variabiliteit voldoende te bestrijken. Daarbij lijkt het erop dat bij analyse van de ruimtelijke variabiliteit van de H-horizont over afstanden van meer dan 100 m er een golfkarakter in de sill optreedt met een golflengte van vele tientallen meters.

Over het ruimtelijk gedrag van de Ahe- en E-horizont valt minder te zeggen, omdat gegevens over het gedrag bij grote afstanden tussen punten (transsectonderzoek) ontbreken.

Nagegaan is hoe de variabiliteit in het sleuvenonderzoek zich verhoudt tot die in het transsectonderzoek. De grootschalige variabiliteit (sleuven) bedraagt voor de L+F1-, F2+H- en de H-horizont resp. 100, 18 en 6% van de kleinschalige variabiliteit (transsecten). De variabiliteit van de L+F1-horizont bereikt zijn maximale waarde binnen een afstand van een halve meter. Voor het vaststellen van de variabiliteit van de F2+H-horizont is bemonstering over een afstand van enkele meters noodzakelijk. Om de variabiliteit van de H-horizont te bestrijken is bemonstering over een afstand van enkele tientallen meters noodzakelijk.



Figuur 14 Geschematiseerde diagrammen van diktes van strooisellagen voor beide schalen van onderzoek

Literatuur

Genstat 5 Committee, 1993. Genstat 5, Release 3, Reference manual. Oxford Science Publications. Clarendon Press. Oxford.

Isaaks, E.H & R. Mohan Srivastava, 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University press, New York, Oxford.

Kemmers, R.H., 1996. Bodemkartering voor ecologische toepassingen. In: R.H. Kemmers (ed.). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, Wageningen, 6 Oktober 1995. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 438.

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

Mekking, P., 1996. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 19 Bosreservaat Tongerense hei. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 98.19.

Sevink, J., R.H. Kemmers & I.M. Emmer, 1993. Soil research in Dutch forest reserves: the implications of spatial and temporal soil variability. In: Broekmeyer, M.E.A., W. Vos, en H. Koop (eds), European Forest Reserves. Pudoc, Wageningen.

Niet gepubliceerde bronnen

Waal, R.W. de & R.H. Kemmers (in voorb.). Ecologische bodemtypologie; een raamwerk. DLO-Staring Centrum. Wageningen.