

The logo consists of the letters 'R', 'A', 'A', and 'P' in a white, bold, sans-serif font. The second 'A' is enclosed within a red square frame that has a white border. A vertical blue line is positioned to the right of the logo.

RAAP

RAAP-RAPPORT 3705

Optimale strategieën voor de veldtoetsing van bodembewerkingsdiepten op agrarische percelen. Een theoretische en praktische verkenning

An aerial photograph of a landscape. In the foreground, there is a wide, winding river with a reddish-brown hue. The middle ground shows a green field with several small, dark structures, possibly tents or huts, and some people. The background features a hazy, mountainous landscape under a blue sky with light clouds.

Archeologie | Cultuurhistorie | Erfgoed

## Colofon

Opdrachtgever: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed

**Titel:** Optimale strategieën voor de veldtoetsing van bodembewerkingsdiepten op agrarische percelen. Een theoretische en praktische verkenning

**Versie:** 30-01-2019

**Auteur:** N.W. Willemse

Projectcode: CEBV3

**Bestandsnaam:** RAAPrap\_3705\_CEBV3\_20190130

**ISSN:** 0925-6229

RAAP

Leeuwenveldseweg 5b

1382 LV Weesp

Postbus 5069

1380 GB Weesp

Telefoon: 0294-491 500

E-mail: [raap@raap.nl](mailto:raap@raap.nl)

Website: [www.raap.nl](http://www.raap.nl)

© RAAP Archeologisch Adviesbureau B.V., 2019

RAAP Archeologisch Adviesbureau B.V. aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Samenvatting

Het project Verstorings in Kaart van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed draagt bij aan het effectiever maken van de archeologische monumentenzorg door het voor professionals eenvoudiger en doeltreffender te maken om de diepte van bodembewerkingen binnen – met name – agrarische percelen gedetailleerd in kaart te brengen. Een van de projectdoelen is om een aanzet te geven voor een efficiënte strategie voor veldtoetsing van (verwachte) fysieke bodembewerkingsdiepten aanwezig op agrarische percelen. Onderzoek naar bodembewerkingsdiepten komt nog maar weinig voor en wordt meestal gebaseerd op bureauonderzoek, dus zonder veldtoets. Dit rapport onderzoekt de methoden om door middel van veldtoetsing inzicht te krijgen in de omvang en diepten van agrarische bodembewerkingen met als achterliggende vraag: wat is het meest efficiënte aantal waarnemingen per hectare en wat is het meest efficiënte waarnemingsgrid voor het vaststellen en toetsen van agrarische bodembewerkingen in het veld, uitgaande van in de archeologie gangbare waarnemingsmethoden (handboringen en proefputjes).

Uit het onderzoek komt naar voren dat voor het bepalen van de meest optimale werkwijze voorkennis over de aard van de huidige grondbewerkingen, de frequentie ervan maar ook kennis over de verdere gebruikshistorie van een perceel onontbeerlijk is. Bodembewerkingsprofielen ontstaan door de jarenlange toepassing van een ruime set aan bodembewerkingen. Waargenomen bodembewerkingsdiepten en -patronen zijn daarom in de regel niet (meer) te herleiden tot één of meerdere specifieke ingrepen maar wel in te delen in een viertal dominante bewerkingslagen: de teellaag (I) en hoofdgrondbewerkingslaag (II), een iets diepere bewerkingslaag (III) die meestal het gevolg is van het decompacteren van de hoofdgrond en een grondverbeteringslaag (IV) waaronder tal van grondverbeteringen worden begrepen zoals ontwateringsingrepen en het breken van diepere verdichtingslagen.

Het vermoede voorkomen van deze lagen in een bodembewerkingsprofiel zijn samen met (statistische) gegevens over diepten en patronen gebruikt als uitgangspunt voor het bepalen van de meest efficiënte steekproefmethode(n). Globaal geldt uiteraard dat elk verwacht bodembewerkingspatroon (of groepen van bodembewerkingspatronen) zijn eigen specifieke steekproefmethode vereist. Een getrapte werkwijze verdient daarbij de voorkeur. Een optimale verdeling van waarnemingspunten met een groot toepassingsbereik voor het onderzoeken van patronen op verschillende schaalniveaus kan bereikt worden door uit te gaan van een (fijnere of grovere) gestratificeerde clustersteekproef. Deze kan vrij eenvoudig worden aangepast aan de veronderstelde ruimtelijke patronen en de dominante richtingen daarin. De clustersteekproef is geschikt om met beperkte middelen bodembewerkingspatronen op het perceel te identificeren/op te sporen en om de monsterdichtheid te optimaliseren.

Het belangrijkste nadeel van de gestratificeerde clustersteekproef is echter dat daarmee niet het hele perceel gekarteerd wordt. Dit nadeel kan worden weggenomen door deze steekproefmethode te combineren met een gestratificeerde aselechte steekproef (een variant van het bekende systematische gelijkbenige driehoeksgrid) zodat het perceel verder uitgekarteerd kan worden. Een gestratificeerde aselechte steekproef is in algemene zin een goed werkend steekproefraster omdat het de variabiliteit vrij precies en nauwkeurig kan schatten en omdat het nog (min of meer) voldoet aan 'random sampling' wat de statistische berekeningen vereenvoudigt.

Deze twee samengevoegde steekproefmethoden maken dus gebruik van elkaars sterke punten en worden in de geografische wetenschappen ingezet als steekproefrasters indien een 'kostenoptimalisatie' gewenst is. Voor het opsporen van een fijnmazig patroon kan eerst een *sweepsearch* worden uitgevoerd indien er geen oriëntatie bekend is of een *transectengrid* als de oriëntatie wel bekend is.

Voor de veldtoetsing zijn een uniforme beschrijving van uitgevoerde bodembewerkingen op de percelen, maar ook een uniforme aanpak van metingen en eenduidige weergave van meetresultaten, van groot belang. Dit enerzijds om (in een later stadium) meetresultaten over verschillende percelen en landbouwarealen te kunnen vergelijken of te integreren in één dataset, en anderzijds om verbanden tussen landbouwmethoden en bodembewerkingsprofielen beter in kaart te kunnen brengen.



# Inhoud

Samenvatting .....	3
Inhoud.....	5
1 Inleiding .....	6
1.1 Projectkader.....	6
1.2 Onderwerp .....	6
1.3 Definitie en afbakening .....	7
1.4 Doelstelling .....	8
1.5 Onderzoeksvragen .....	8
1.6 Uitgangspunten .....	9
1.7 Opzet van het onderzoek/leeswijzer .....	9
2 Weten of meten? De rol van voorkennis .....	10
2.1 Inleiding.....	10
2.2 Voorkennis .....	10
2.3 Historische en historisch-geografische bronnen .....	12
2.4 Proceskennis .....	14
2.5 Gebruikerskennis .....	21
3 Analyse van grondbewerkingsgegevens .....	22
3.1 Secundaire gegevens afgeleid uit bewerkingsmethoden .....	22
3.2 Primaire gegevens over bewerkingsdiepten .....	25
3.3 Analyse van bewerkingspatronen .....	30
3.4 Conclusie.....	34
4 Kartering en statistiek .....	36
4.1 Inleiding.....	36
4.2 De keuze van waarnemingspunten .....	36
4.3 De keuze van waarnemingswijze .....	49
4.4 Hoeveel is genoeg? .....	51
4.5 Analyse van de variabiliteit van bodembewerkingsdiepten .....	55
4.6 Naar een optimale werkwijze.....	58
5 Conclusie .....	67
5.1 Algemeen.....	67
5.2 Aanbevelingen voor de werkwijze(n) in het veld .....	68
Literatuur .....	69
Verklarende woordenlijst .....	73
Overzicht van figuren, tabellen en bijlagen .....	75
Bijlage 1 Vergelijking methoden en waarnemingsdichtheden veldonderzoek naar bodembewerkingsdiepten .....	78
Bijlage 2 Gangbare werkbreedten en werkdiepten van landbouwmachines.....	80
Bijlage 3 Dataset RAM244 .....	81

# 1 Inleiding

## 1.1 Projectkader

Het project Verstoringen in Kaart maakt deel uit van het programma 'Kennis voor Archeologie' (figuur 1) van de Rijksdienst voor het cultureel erfgoed (RCE). Dit project draagt bij aan het effectiever maken van de archeologische monumentenzorg door het voor professionals eenvoudiger en doeltreffender te maken om de diepte van bodembewerkingen gedetailleerd in kaart te brengen.<sup>1</sup> De qua oppervlak grootste grondgebruiker is de agrarische sector en het zwaartepunt van Verstoringen in Kaart ligt dan ook op de gevolgen van agrarisch grondgebruik voor het archeologisch bodemarchief. Een van de projectdoelen is om een aanzet te geven voor een efficiënte strategie voor veldtoetsing van (verwachte) fysieke bodembewerkingsdiepten aanwezig op agrarische percelen.<sup>2</sup> In dit rapport wordt hiervan verslag gedaan.



Figuur 1. Organisatiestructuur van het programma Kennis voor Archeologie.

## 1.2 Onderwerp

Hoewel tijdens vrijwel ieder archeologisch project rekening wordt gehouden met de mate van bodembewerking, komt veldonderzoek speciaal om bodembewerkingen op te sporen, nog maar weinig voor (bijlage 1). Als 'verstoringen' al in kaart zijn gebracht - bijvoorbeeld op gemeentelijke archeologiekaarten - is dit meestal gebaseerd op bureauonderzoek zonder dat een veldtoets heeft plaatsgevonden.<sup>3</sup>

1 Een handeling als diep ploegen is voor de ene persoon een verstoring van de enige bron van informatie over het grootste deel van de geschiedenis maar voor de ander juist een verbetering van de bodem. In dit rapport wordt daarom consequent de neutralere term 'bodembewerking' gebruikt.

2 <https://www.archeologieinnederland.nl/verstoringen-in-beeld>.

3 De meeste informatie over verstoringen op deze kaarten is afkomstig van provinciale datasets als de verleende ontgrondingsvergunningen en de Bodemkaart van Nederland. Lascaris *et al.* 2019.

Daar waar dit wel is gebeurd, is doorgaans sprake van slechts enkele controleboringen.<sup>4</sup> Het aantal veldonderzoeken dat speciaal bedoeld is om de mate van verstoring op perceelsniveau te bepalen is klein en de methodische insteek groot (bijlage 1). Er bestaat geen consensus over de keuze van methode of methodiek, noch over de waarnemingsdichtheid en het waarnemingsgrid.<sup>5</sup> Waarnemingstype, waarnemingsdichtheid en waarnemingsgrid zijn van invloed op de (mate van) betrouwbaarheid van de uitkomsten van de veldtoets.<sup>6</sup>

De eerste vraag is hoe je de bewerkingsdiepten van het bodemprofiel van agrarische percelen op een betrouwbare maar ook proportionele wijze in het veld kunt toetsen, een tweede welke methoden van veldwaarneming je daarbij zou moeten inzetten. Een eerste aanzet om de tweede vraag te beantwoorden is gegeven in het rapport *Verstoorde Percelen (RAM 244)*, een beperkt vergelijkend onderzoek naar de bruikbaarheid/effectiviteit van handboringen en profielkuilen/proefputjes voor het vaststellen van de mate van bodembewerking op een perceel.<sup>7</sup> Hieruit bleek onder meer dat een combinatie van boringen en proefputjes te verkiezen is boven alleen boringen of putjes.<sup>8</sup> In deze pilot werd echter nog geen aandacht besteed aan de waarnemingsdichtheid en de ligging van waarnemingspunten in relatie tot de vorm/het patroon en de omvang van bodembewerkingen op een perceel.

### 1.3 Definitie en afbakening

Tijdens een expertmeeting is het belangrijk gebleken om duidelijk te zijn over wat wordt bedoeld met een bodemverstoring of bodembewerking.<sup>9</sup>

#### 1.3.1 Definitie

Op hoofdlijnen is sprake van drie typen bodembewerking:

1. de grond en de eventueel daarin aanwezige archeologische informatie zijn niet verwijderd maar zijn veranderd/aangetast door chemische en biologische processen (water, chemicaliën, doorworteling etc.) die samenhangen met menselijk handelen (drainage, peilverlaging, wateronttrekking, oxidatie, gewasteelt, bemesting, verzilting, etc.);
2. de grond en de eventueel daarin aanwezige archeologische informatie zijn niet verwijderd maar omgekeerd/omgewoeld omdat de bodem door menselijk handelen vergraven, verploegd of anderszins door menselijk handelen fysiek geroerd of (om)gekeerd is. Bodemdeeltjes en bodemlagen zijn daarbij over korte horizontale en verticale afstand (cm-dm) gemengd en of verplaatst geraakt.
3. de grond en de eventueel daarin aanwezige archeologische informatie zijn verwijderd, bijvoorbeeld door zandwinning, bouwwerkzaamheden of andere civieltechnische ingrepen, of door erosie. In de eerste gevallen is het bodemarchief geheel verwijderd tot op de diepte van de ontgraving. In het laatste is het bodemarchief verdwenen tot aan de erosiebasis.

---

4 Berkvens *et al.* 2011. In slechts zes van de 33 in het kader van het RCE-project *Waardenkaarten in veelvoud* bestudeerde gemeentelijke verwachtingskaarten met daarop verstoringen zijn deze gecontroleerd met een veldtoets (Van Doesburg *et al.* 2016; Lascaris *et al.* 2019).

5 Zie: Breimer & Sueur 2014; Ten Broeke 2012; Kroes & Kloosterman 2013; Wink & Sprangers 2016.

6 In de meeste bodemverstoringrapporten wordt geen informatie verstrekt over de nauwkeurigheid of over de betrouwbaarheid van de uitkomsten of blijft de informatie beperkt tot een zeer globale indicatie.

7 Lascaris & De Kort 2017.

8 Lascaris & De Kort (2017), 20: boringen geven een goede indruk van de omvang en verspreiding van verstoringen maar pas na aanleg van profielputten komt informatie ter tafel die een goede interpretatie van de boorgegevens mogelijk maakt.

9 RCE 2016. Zie voetnoot 1

Dit rapport handelt uitsluitend over de tweede categorie fysieke bodembewerkingen en binnen deze categorie uitsluitend bodembewerkingen door agrarische grondroerende activiteiten.

### **1.3.2 Afbakening**

Natuurterreinen en agrarische percelen die zijn omgezet in 'nieuwe natuur' vallen buiten het onderwerp. Ook veranderingen in het bodemprofiel die het gevolg zijn van delfstofwinning, niet-agrarische cultuurtechniek of infrastructurele werken (bovengronds, ondergronds) worden buiten beschouwing gelaten. Effecten van egalisatie/kilveren (ten dele ook een ontgroning), het aanbrengen van buisdrainage, maaiveldgreppels of sloten, worden wel onder grondroerende activiteiten verstaan, net als de afvoer van grond met geoogste producten (grondtarra bij zoden, kluiten, etc.).

Verder richt deze studie zich alleen op de in de naoorlogse landbouw meest gangbare hoofdgrondbewerkingsmethoden (ondiepe grondbewerkingen) en grondverbeteringsmethoden, dat wil zeggen incidentele diepe bewerkingen.<sup>10</sup>

### **1.3.3 Bodembewerking en archeologie**

Het begrip bodembewerking is in dit rapport losgekoppeld van verstoring van archeologische informatie.<sup>11</sup> Voor het bepalen van de mate van verstoring van archeologische informatie is immers kennis nodig over de informatiewaarde ervan en die kennis ontbreekt doorgaans op agrarische percelen. De diepte en oppervlakte van bewerking van de bodem geeft echter wel een goede eerste indruk van de mate van verstoring van te verwachten archeologische niveaus wat het bepalen ervan zonder meer zinvol maakt.

## **1.4 Doelstelling**

Tot nu toe is nog nauwelijks onderzoek gedaan naar methoden om door middel van veldtoetsing inzicht te krijgen in de omvang en diepten van agrarische bodembewerkingen. De meest optimale methode is ongetwijfeld mede afhankelijk van de bewerkingsmethoden, het type landbouwproduct en de bodem (zand, klei, löss, veen). Waarschijnlijk zal er dan ook geen sprake van één methode, maar van een samenhangende set met meerdere methoden (methodiek). Uiteraard spelen bij deze keuze tevens de kosten en de beschikbare tijd een rol. Doel van deze studie is om het werkveld dan ook te voorzien van een goed onderbouwd advies over:

- a) de verschillende vormen/patronen/oppervlakten/diepten van fysieke bodembewerkingen die het gevolg zijn van agrarisch grondgebruik;
- b) het meest doelmatige aantal waarnemingen en de plaatsing daarvan per hectare om deze agrarische bodembewerkingen op te sporen en te kwantificeren;
- c) de mogelijkheden en de beperkingen van de in de archeologie beproefde waarnemingsmethoden (handboringen en proefputjes) voor het vaststellen van bodembewerkingen in het veld.

## **1.5 Onderzoeksvragen**

Wat is het meest efficiënte aantal waarnemingen per hectare en wat is het meest efficiënte waarnemingsgrid voor het vaststellen en toetsen van agrarische bodembewerkingsdiepten het veld, uitgaande van in de archeologie gangbare waarnemingsmethoden (handboringen en proefputjes).

---

10 Ibid.

11 Zoals in Heunks 1995 en Reuler *et al.* 2014.

## **1.6 Uitgangspunten**

1. Het betreft theorievorming, (nog) zonder veldtoets.
2. Voor de waarnemingsmethoden moet uitgegaan worden van de in de archeologie gangbare technieken, met (hand)boringen als belangrijkste methode met daarnaast profielkuilen ter controle.
3. Bij het bepalen van de dichtheid en vorm van het waarnemingsgrid wordt geen onderscheid gemaakt tussen boringen en profielkuilen.

## **1.7 Opzet van het onderzoek/leeswijzer**

De basis van de studie wordt gevormd door drie deelonderzoeken, uitgewerkt in hoofdstukken 2, 3 en 4. Hoofdstuk 2 beschrijft het theoretische kader van bodembewerkingen op agrarische percelen en de verschillende informatiebronnen om deze te kunnen beschrijven. Deze theoretische kennis wordt in hoofdstuk 3 gebruikt voor een analyse van, en het formuleren van uitgangspunten voor, het kwantificeren van bodembewerkingsdiepten en –patronen. Hoofdstuk 4 vormt de statistische basis van deze pilotstudie. Door middel van steekproefstatistiek en steekproefmodellen wordt aan de hand van een simpele casus inzicht gegeven in de doelmatigheid van verschillende veldmethoden om bodembewerkingen op agrarische percelen te kunnen beschrijven. Deze theoretische en statistische inzichten vormen de uitgangspunten voor een aantal uitgewerkte praktische voorstellen om de mate van bodembewerking op agrarische percelen vast te kunnen stellen.



# 2 Weten of meten? De rol van voorkennis

## 2.1 Inleiding

Kenmerkend voor veldonderzoek naar bodemeigenschappen is dat de bodem vrijwel nooit in zijn volledigheid onderzocht wordt. Dit type onderzoek richt zich nagenoeg altijd op een zeer beperkte selectie van de bodems in een onderzoeksgebied. Die selectie bestaat uit bijvoorbeeld verspreid gezette boringen, bodemmonsters of uit opnamen in profielkuilen. Toch heeft vrijwel al het onderzoek tot doel om uitspraken te kunnen doen over de rest van het perceel of misschien zelfs over gelijkende gebieden elders. Het onderzoeken van een bepaalde selectie van de bodem met als doel om uitspraken over een groter gebied te doen is een steekproefonderzoek.

Een simpele benadering voor het uitvoeren van een steekproef stelt dat er een een-op-een relatie is tussen de hoeveelheid gegevens, de kwaliteit van de beschrijvingen en de bereikte inzichten. Het verzamelen, uitwerken en analyseren van grote hoeveelheden veldgegevens is echter duur en het kost veel tijd. Een belangrijke vraag die je voorafgaand aan de veldverzameling zou kunnen stellen is dus: met welke minimale hoeveelheid gegevens kun je toch met een zekere mate van betrouwbaarheid voorspellingen doen over de werkelijke bodemeigenschappen binnen een gebied. Toegespitst op bodembewerkingen:

1. Hoe vaak, waar, en op welke wijze, moet bemonsterd worden om op een betrouwbare manier het verloop van het bodembewerkingsprofiel op een perceel te karakteriseren?
2. Hoe kan men voor de minste kosten en inspanning het bodembewerkingsprofiel buiten de waarnemingslocaties voorspellen?<sup>12</sup>
3. Hoe kan de kwaliteit en betrouwbaarheid van voorspelde bodembewerkingsprofielen gemeten en gekarakteriseerd worden?

Om bovenstaande drie vragen te kunnen beantwoorden heb je - voordat je voor een veldstrategie kiest - een zekere mate van voorkennis over de te onderzoeken bodemeigenschappen en hun variatie nodig.<sup>13</sup>

## 2.2 Voorkennis

### 2.2.1 Algemeen

Voorspellen, bemonsteren en toetsen zijn alleen zinvol als ze worden uitgevoerd binnen een context van aannamen/veronderstellingen. Dit wordt voorkennis genoemd.<sup>14</sup> In algemene zin geldt: hoe beter de voorkennis, des te minder waarnemingen nodig zullen zijn en hoe effectiever en optimaler de bemonsteringsstrategie wordt.<sup>15</sup> Door gebruik te maken van voorkennis is het namelijk mogelijk om een beter onderbouwd verwachtingsmodel voor de ruimtelijke verdeling van bodembewerkingen (met bekende of onbekende plaats van voorkomen) op te stellen en op basis daarvan de bijbehorende optimale bemonsteringsstrategie te ontwerpen.<sup>16</sup>

---

12 Zoals verwoord in Breimer & Seuer 2014, 3.

13 Burrough *et al.* 1993; Orton 2002; De Gruijter *et al.* 2006.

14 Burrough 1993.

15 Brus & De Gruijter 1997; De Gruijter *et al.* 2006, 15 e.v.

16 Van Tooren 1993; Burrough 1993; De Gruijter & Brus 1997; Rep 1999; Davis 2002; De Gruijter *et al.* 2006.

## 2.2.2 Gegevenstypen en bronnen

Voor wat betreft bodembewerkingen bestaan de veronderstellingen doorgaans uit een verzameling van diverse bronnen en gegevenstypen. In dit onderzoek worden twee soorten van gegevens onderscheiden en drie typen bronnen

### Gegevenssoorten

Er kunnen grofweg twee soorten gegevens worden onderscheiden: specifieke (primaire) gegevens en afgeleide (secundaire) gegevens.

*Primaire gegevens* zijn specifiek over de bodembewerking (zowel ruimtelijk als in de diepte) en meestal gebaseerd op meetgegevens. Voorbeelden zijn te vinden in de detailkarteringgegevens die bij het samenstellen van de bodemkaarten voor de ruilverkavelingen zijn verzameld<sup>17</sup> of in de opstandleggers bij bosbouwvakken die door bosbeheerders worden bijgehouden

figuur 2).<sup>18</sup> Facturen en bonnen van loonbedrijven kunnen - afhankelijk van de nauwkeurigheid van de opdrachtomschrijving - ook als primaire informatie worden gezien.<sup>19</sup> Een voorbeeld zijn drainagewerkzaamheden. Hoewel de exacte locatie en richting (het patroon) soms wat ongewis is, is veel bekend over de aanlegdiepte ('110 cm -Mv'), de aanlegwijze ('V-bak') en het drainagepatroon ('om de 8 m').

Bosbouwvaknummer		Terenotype		Jaar van oprichting		Oppervlakte		Vak/afst.																			
1510040		BMY SPRIELDERBOS		85 02-10-1985		1,10 ha		vak/afst. 108 L																			
Teren. beschrijving		NAALDBOS		GELIJKJ. MONOCULT.																							
11 NAALDBOS		EUR. LARIKS		HFD.BMSRT HFD.OPST		07	4	100	1	10	42	1940	045	21	0	18	19	0	8	08	187	205	2	9	9		
1		vegetatietype		bossoort		g.s.		opmerkingen																			
huidige opstand(en)		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand																									
Bijzonderheden		Begroeiing en terreintypen (zie ook rnp. afgevoerd) water fauna flora overige bijz.																									
Geschiedenis		grondbewerking bij aanleg		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand		aanlegmethode huidige (hoofd)opstand			
1		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND	
2		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND	
3		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND	
bepaling groeiperiode:		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13	
Periode:		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13	
Voorg. huidige toestand		NAALDBOS		VOLLEDIG		50 CM EN DIEPER		41		ONBEKEND		SCHERMKAP		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND		ONBEKEND	
11		LEEGKAPBOS		1915		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
voormalige (hoofd)opstand		aanlegmethode voormalige (hoofd)opstand																									

Figuur 2. Voorbeeld van een opstandlegger uit de database van Staatsbosbeheer.

17 Zie Willemse & Kocken 2012, 27-29

18 Zie Roos & Neefjes 2006, verwerkt in Willemse 2009.

19 Zie voor de beperkingen daarvan bijvoorbeeld Kroes & Kloosterman 2013.

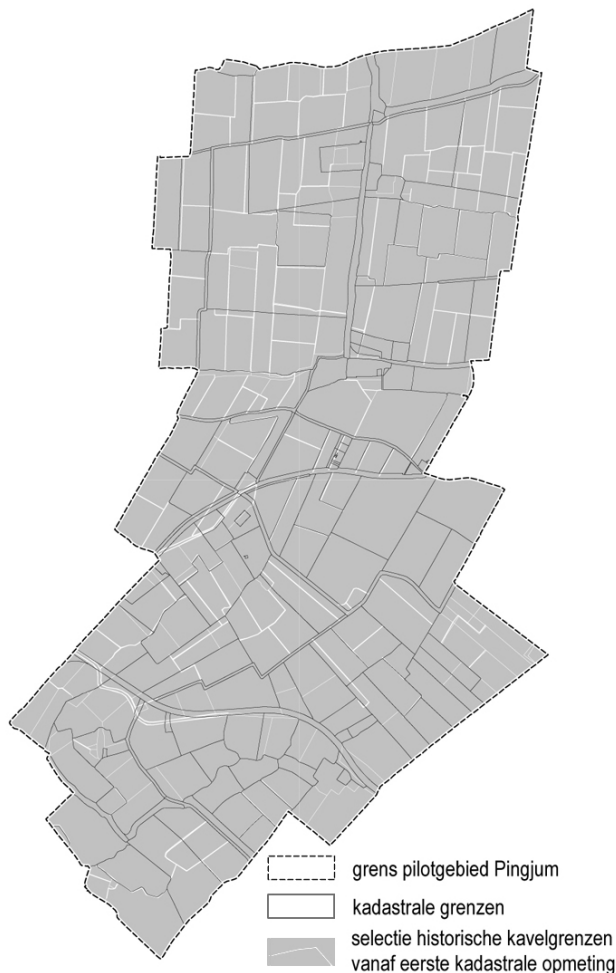
*Secundaire gegevens* over bodembewerking betreft specifieke gegevens over bodembewerkingsdiepten die echter zijn *afgeleid* uit andersoortige gegevens. Deze andersoortige gegevens zijn indirect gerelateerd aan een mate van bodembewerking. Voor het afleiden van bodembewerkingsdiepten wordt gebruik gemaakt van proceskennis over bijvoorbeeld teeltwijzen<sup>20</sup>, informatie die betrekking heeft op historisch landgebruik<sup>21</sup> of gegevens ontleend aan ruilverkavelingsdocumenten.<sup>22</sup>

### Brontypen

Er kunnen grofweg drie typen bronnen worden onderscheiden die gebruikt kunnen worden voor het opstellen van een verwachtingsmodel:

1. historische en historisch-geografische bronnen (paragraaf 2.3);<sup>23</sup>
2. informatie over landbewerkingsmethoden en –processen (paragraaf 2.4);<sup>24</sup>
3. informatie en praktijkervaringen van landeigenaren/-gebruikers (paragraaf 2.5).<sup>25</sup>

## 2.3 Historische en historisch-geografische bronnen



*Figuur 3. Moderne kavelgrenzen (kadaster) en historische kavelgrenzen vanaf eerste kadastrale opmeting (selectie) binnen het pilotgebied Pingjum (Súdwest Fryslân). Bron: Willemse et al. 2016.*

Dit betreft informatie over bijvoorbeeld de veranderde percelering zichtbaar op oudere topografische kaarten of luchtfoto's, over grondactiviteiten en over teeltwijzen die in het verleden op het perceel of binnen delen van het perceel hebben plaatsgevonden. Het gaat bijvoorbeeld om teeltwisselingen en bijhorende veranderingen in de hoofdgrondbewerkingen, uitgevoerde grondverbeteringen, herpercelering (figuur 3), dempen of graven van sloten/greppels, sloop van agrarische bebouwing, egalisatie, aanbrengen van drainage, ontgrondingen, etc. Mutatiegegevens die betrekking hebben op de ontwikkeling van maaiveldhoogten (figuur 18) kunnen ook gezien worden als historische informatie, net als bodemverstoringsinformatie uit archiefmateriaal en gegevens van landeigenaren over ingrepen op hun land (paragraaf 2.5).

Een voorbeeld van ingrijpende historische bodemingrepen betreft de bollengebieden langs de Noord-Hollandse en Zuid-Hollandse kust.

20 De Vries *et al.* 2016; zie ook Reuler *et al.* 2014.

21 Roos & Neefjes 2006; Willemse *et al.* 2016, paragraaf 5.2.

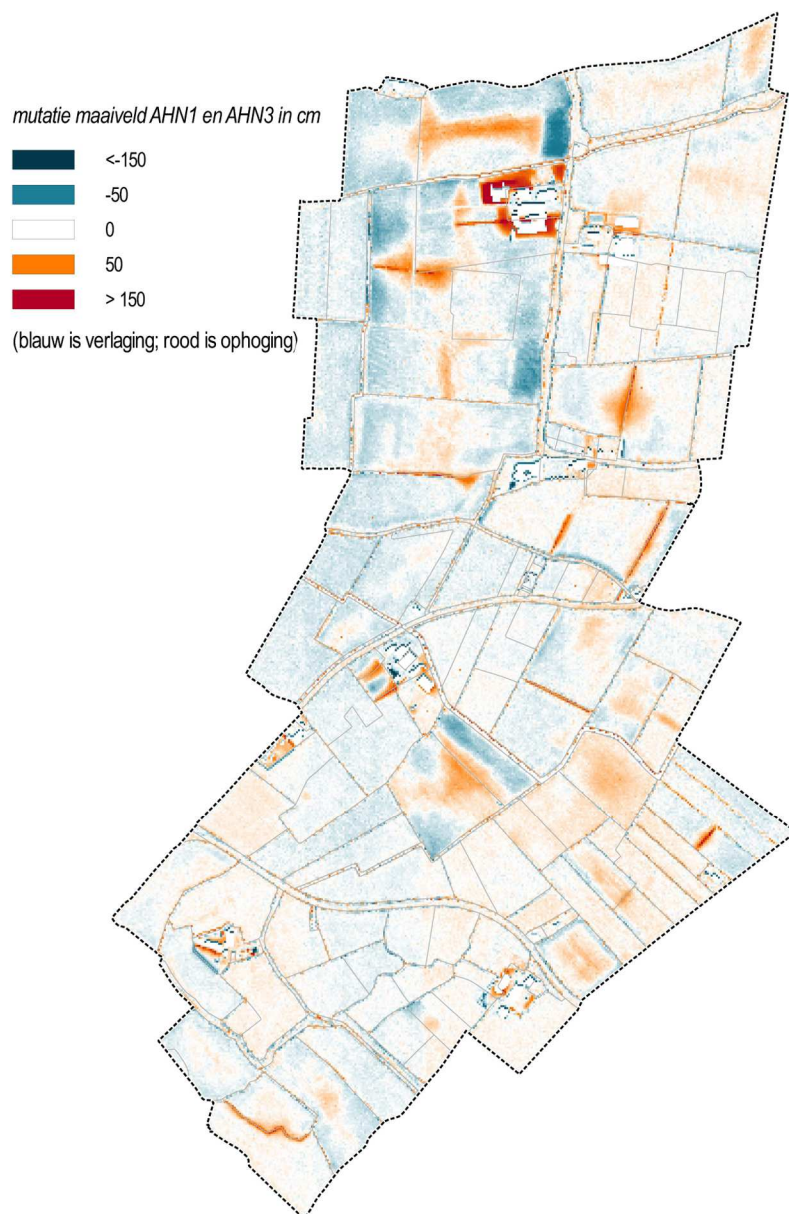
22 Willemse *et al.* 2016, paragraaf 4.3.

23 Bijvoorbeeld Willemse *et al.* 2016.

24 Bijvoorbeeld Reuler *et al.* 2014.

25 Bijvoorbeeld Willemse *et al.* 2016; Lascaris & De Kort 2017; Breimer & Seuer 2014..

Deze ontstonden na de grootschalige afgraving van de strandwallen en binnenduinen die vooral in de tweede helft van de negentiende eeuw een grote vlucht nam. Het zand werd voor tal van toepassingen gebruikt zoals terreinophoging bij steden, het dempen van grachten, het ophogen van veen en klei bij tuingronden, dijkonderhoud, ballast voor schepen en de fabricage van kalkzandsteen.<sup>26</sup> Een ander voorbeeld zijn de gegevens die betrekking hebben op de ruilverkavelingen of de landinrichtingen van de afgelopen decennia.<sup>27</sup>



*Figuur 4. Maaiveldmutaties berekend door vergelijking van de meetgegevens uit het AHN1 en AHN3 voor het pilotgebied Pingjum (bronhouder: Unie van Waterschappen, dataset: [www.ahn.nl/www.pdok.nl](http://www.ahn.nl/www.pdok.nl)).*

26 Niemeijer 2018.

27 Willemsse *et al.* 2016, par. 4.3 ; Lascaris *et al.* 2019.

Landinrichtingen gingen vaak gepaard met kavelverbeteringswerken, waarbij percelen werden samengevoegd en een (diepe) grondbewerking plaatsvond. Vaak werd in het kader van de landinrichting namelijk in de volgende (vaak door het rijk gesubsidieerde) werkzaamheden voorzien:

- dempen en graven van sloten (vaak met perceelseigen grond) met het doel grotere percelen met zoveel mogelijk rechte grenzen te formeren;
- verwijderen van oude en aanleggen van nieuwe ontsluitingswegen;
- profileren van kavelsloten in verband met de door te voeren nieuwe peilbesluiten;
- (her)leggen van drainage als gevolg van de peilverandering en de vergroting van percelen;
- aanpassen of verbeteren van ondoelmatige greppelpatronen op samengevoegde percelen;
- egaliseren, diepploegen en/of frezen van moeilijk bewerkbare percelen.

## 2.4 Proceskennis

Proceskennis betreft met name voorkennis over landbewerkingsmethoden en -processen op agrarische percelen en het effect daarvan op bodembewerkingsprofielen.

### 2.4.1 Frequentie van bodembewerkingen

Agrarische bodembewerkingen zijn naar de frequentie waarmee ze worden uitgevoerd in te delen in:<sup>28</sup>

*Reguliere bewerkingen.* Dit zijn jaarlijks terugkerende hoofdgrondbewerkingen van de teellaag. Op hoofdlijnen gaat het om grondkerende en grondmengende activiteiten in de bouwvoor gekoppeld aan de teelt van gewassen. Alle typen hebben één gemeenschappelijk kenmerk: het loswerken van grond. Dit wordt echter om zeer diverse redenen uitgevoerd. Denk aan bodembeluchting, opheffen van storende lagen, zaai- of pootbedbereiding, stoppelbewerking, egaliseren, onkruidbestrijding, onderwerken van gewasresten of organische mest, of het aanaarden van ruggen.<sup>29</sup>

*Periodieke bewerkingen.* Dit zijn grondbewerkingen die met tussenpozen van een aantal jaren wordt herhaald. Doordat er door het jaar heen veel over het veld gereden wordt met grote machines wordt de bodem relatief zwaar belast. Na de oogst is de grond dan verdicht geraakt. Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat in de gangbare landbouw elk jaar een vrij diepe hoofdgrondbewerking wordt uitgevoerd – 20 à 30 cm diep – om de verdichte grond weer los te maken voordat het volgende gewas ingezaaid wordt. Eén keer per zoveel jaar wordt een nog diepere grondbewerking toegepast om een verdichting onder de ploegzool weg te nemen (decompacteren, zie figuur 5). Bij deze bewerking wordt de verdichte laag – naar inschatting- tussen 30 en 40 cm-mv voor 60% geroerd.

*Eenmalige of incidentele bewerkingen.* Dit zijn ingrepen die over het algemeen één keer worden uitgevoerd, zoals de aanleg van drainage of eenmalige diepe grondverbeteringen.

---

28 De Vries *et al.* 2015; Reuler *et al.* 2014.

29 Ten Berge & Postma 2010.





*Figuur 5. Een cultivator/ ondergronder voor het tot 65 cm diep decompacteren van de verdichte ondergrond (foto: Lemke Gmbh/Labrador).*

#### **2.4.2 Hoofdgrondbewerkingen<sup>30</sup>**

Hoofdgrondbewerkingen zijn nodig voor het onderwerken van gewasresten (bijv. stoppelresten) en onkruiden ter vertering en bestrijding, het inwerken of gedeeltelijk inwerken van dierlijke mest, het verbeteren van de waterafvoer en waterberging en het wegnemen/losmaken van bodemverdichtingen in de bouwvoor die zijn ontstaan door berijding en grondkerende bewerkingen zoals ploegen. Onder hoofdgrondbewerkingen worden ook verstaan ondiepe zaai- en pootbedbereiding en andere ondiepe verzorgende bewerkingen. Tot de grondkerende bewerkingen worden ploegen en spitten gerekend maar ook het aanleggen van plantruggen/ plantgaten. Bewerkingen die de grond 'mengen' zijn bijvoorbeeld woeien, frezen, eggen en kilveren.

In de huidige, landbouw worden praktisch alle hoofdgrondbewerkingen op het veld gemechaniseerd uitgevoerd. Bovendien vindt doorgaans meer dan één werkgang plaats voorafgaand aan het zaaien/poten van de hoofdteelt, en worden ook vaak verschillende werktuigen gecombineerd in één werkgang. Het standaard werktuig voor de hoofdgrondbewerking is nog altijd de (rister)ploeg.

Op lichte zavel- en zandgronden wordt de grond in het voorjaar vlak voor de zaaibedbereiding en het zaaien geploegd. Daarbij wordt het perceel om het jaar afwisselend afgeploegd zodat ook de perceelsranden en de kop- of wendakker wordt meegenomen. Men begint vaak op de plaats waar het ploegen vorig jaar is geëindigd (zie figuur 18).

Op kleigronden moet de grond intensiever bewerkt worden dan op zandgronden. Op kleigronden wordt in het najaar geploegd om de grond in de winter te laten verweren, opdat in het voorjaar voldoende losse grond aanwezig is om een zaaibed te maken en voor een snellere opdroging, opwarming en stikstofmineralisatie in het voorjaar. Wintertarwe wordt in de herfst ingezaaid op een grof zaaibed, gemaakt na ploegen, direct na een bewerking met een spitmachine of, steeds meer, na een niet-kerende bewerking met een cultivator met vaste tanden (figuur 6).

---

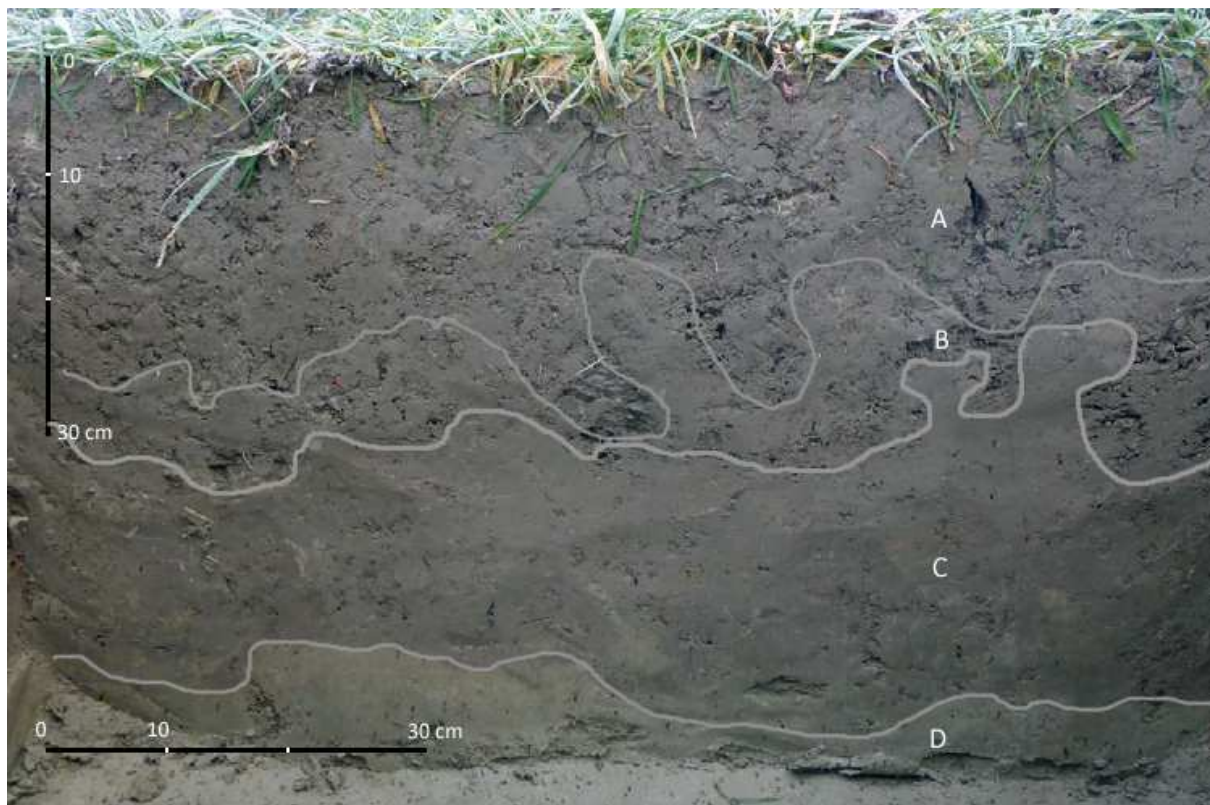
<sup>30</sup> Gebaseerd op Ten Berge & Postma 2010, Reuler *et al.* 2014; Peekel *et al.* 2016, Schooten *et al.* 2018.



Figuur 6. Stoppelcultivator (naar: Lemke GmbH/karat).

Op gronden met een dunne bouwvoor, zoals veel arme zandgronden, moet minder diep geploegd worden om te voorkomen dat de voedselarme ondergrond boven komt. Daarnaast hangt de gewenste diepte van bewerking ook af van het te verbouwen gewas. Aardappelen vereisen bijvoorbeeld een diep doorluchte bouwvoor, zodat een aardappelakker wat dieper geploegd moet worden (30 cm). Voor granen daarentegen hoeft niet zo diep geploegd te worden (15 tot 20 cm). Voor zaaibedden met een zaaibed van enkele centimeters diep wordt de grond oppervlakkig bewerkt. Voor poot- en plantbedden wordt de grond dieper (8 cm) bewerkt en bij aardappels en peen worden ruggen gevormd. Gronden waarop bijvoorbeeld asperges, maar ook schorseneren of (fruit)bomen zijn geteeld hebben in veel gevallen een diepere grondbewerking tot soms 100 cm –mv ondergaan (figuur 16).<sup>31</sup>

31 Bijvoorbeeld Poll 1988; Ten Broeke 2012; Reuler *et al.* 2014.



Figuur 7. Pingjum. Noordprofiel profielput 3, ter hoogte van boring 9, maaiveld 0,53 m NAP. De grijze lijnen geven de overgangen tussen de geploegde laag A, de decompactielaag B en een laag C die geïnterpreteerd is als een fossiele bodem (naar Lascaris & De Kort 2017, fig. 3.4).

Bomen planten met kluit word door een plantmachine gedaan waarbij kluiten op dezelfde afstanden in de grond worden gezet in plantgaten. Het rooien van bomen gaat met een graafmachine met kluitenbak. De bomen worden gekluit met een omtrek van 10 tot 55 cm. Er bestaan ook kluitenbakken met een omtrek van 130, 160, 200 en 260 cm.<sup>32</sup>

### 2.4.3 Grondverbetering

Onder grondverbetering worden doorgaans cultuurtechnische ingrepen verstaan die dienen ter verbetering van het gehele bodemprofiel. Grondverbeteringen zijn onder te verdelen in toplaagverbetering, profielverbetering, en egalisatie/kilveren.<sup>33</sup> Het aanbrengen van buisdrainage, maaiveldgreppels of sloten wordt in deze studie ook als grondverbetering gezien.

#### *Toplaagverbeteringen*

Toplaagverbeteringen kunnen worden onderverdeeld in technieken waarbij materiaal op de bouwvoor wordt gebracht (in het verleden door het opbrengen van plaggenmest, huisafval of terpaarde) en technieken waarbij enkel de structuur van de bouwvoor wordt verbeterd.<sup>34</sup> Toplaagverbeteringen zijn over het algemeen weinig verstorend voor het bodemarchief.

32 Reuler *et al.* 2014, hoofdstuk 5.

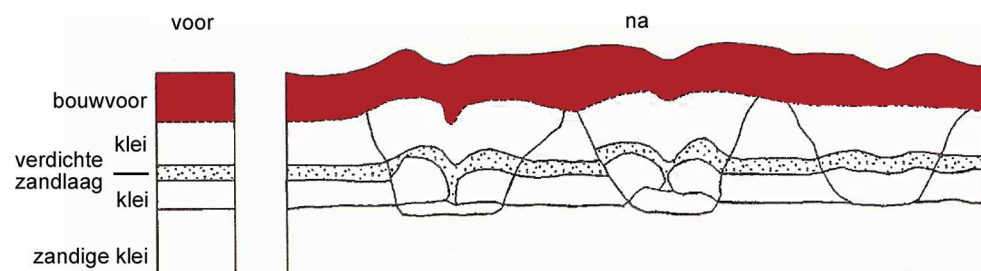
33 Bijvoorbeeld Otto 1959.

34 Boelens & Koning 1974; Heunks 1995.

### Profielverbetering

Bij profielverbetering worden vaak 'stagnerende/verdichte' lagen in de ondergrond doorgespit of omgewerkt. Deze storende lagen kunnen van nature voorkomen, zoals door textuurovergangen of een oerbank (figuur 8). Ze kunnen ook het gevolg zijn van (secundaire) verdichting door berijding of groundbewerking onder, bijvoorbeeld, natte omstandigheden tijdens de oogst.<sup>35</sup>

Maatregelen zijn vaak het opheffen van de storende laag door een (diepe) groundbewerking (losmaken van de grond) door verschillende vormen van (diep)woelen, -ploegen, spitzfreen en mengroteren of omwerken met een graafmachine (figuur 17).<sup>36</sup> Omdat diepploegen tot gevolg heeft dat de bodem in grote banen 'gekeerd' wordt, kunnen er omgekeerde profielen ontstaan. Deze worden bij booronderzoek niet altijd herkend omdat het profiel 'natuurlijk' oogt of omdat er niet diep genoeg wordt bemonsterd.



Figuur 8. Geschematiseerd bodemprofiel voor (linker kolom) en na woelen met een drieplatige woeler. De verdichte zandige tussenlaag is gebroken (uit: Heunks 1995)

Methoden om een voor bollen geschikte teellaag te maken betreft sinds het eind van de negentiende eeuw het diepe 'omzanden of, sinds grofweg 1950, het 'omspuiten' waarbij zand dat zich onder een voor de bollenteelt ongunstig kleidek bevindt naar het oppervlak wordt gebracht, soms vanaf meer dan 2 meter diepte.

### Egalisatie

Egalisatie van percelen kan in verschillende gradaties worden uitgevoerd, van zeer lichte afvlakking van een terrein (kilveren) tot het afgraven van complete dekzandruggen (egaliseren). Meestal heeft het tot doel om vernattings- of verdrogingschade te voorkomen door een homogene en vlakke teellaag te creëren. Voorafgaand aan de egalisatiewerkzaamheden worden hoogtemetingen en boringen verricht om het profiel en de samenstelling van de grond te beoordelen en om de meest ideale hoogte te berekenen en de wijze waarop de egalisatie moet worden uitgevoerd. Vervolgens wordt de nieuw gewenste maaiveldhoogte ingevoerd in een laser-zender, welke is opgesteld op de rand van het perceel, of in een GPS. De laser-zender of GPS geeft aan waar en hoe diep geploegd en geëgaliseerd dient te worden.

Om bij egalisatie vermenging van de bouwvoor met de schrale ondergrond te voorkomen wordt egalisatiewerk vaak gecombineerd met diepploegen. In eerste instantie wordt alleen op het hoger gelegen terreingedeelte (waar grond afgevoerd moet worden) gediepploegd. Daarna wordt de naar boven ge-

35 Otto 1959; Boels & Havinga 1974; Ten Berge & Postma 2010, 42 e.v.; Zwart *et al.* 2011.

36 Heunks 1995; Zwart *et al.* 2011.

ploegde schrale grond verplaatst naar de lager gelegen terreingedeelten met kilver- en dozerbakken. Hierdoor vindt een minimale vermenging plaats van de bouwvoor met de schrale ondergrond. Na de egalisatie wordt ook het voormalige lager gelegen terreingedeelte gediëpploegd, waardoor de bouwvoor weer naar boven wordt gebracht en de opgebrachte schrale grond naar beneden wordt geploegd.

### *Drainage*

Onderdeel van grondverbetering is ook het aanbrengen van drainage ter verbetering van de (grond)waterhuishouding. Wanneer er geen storende lagen in de grond aanwezig zijn ligt de ideale draindiepte 20 centimeter onder de gewenste voorjaars-grondwaterstand. De minimale drainagediepte bedraagt 70 cm omdat er anders beschadiging kan optreden door wieldruk en vorst. Vaak geldt voor grasland een draindiepte van 80 centimeter.<sup>37</sup> Akkerbouwers op veen, zand of klei leggen hun drains doorgaans op respectievelijk 95, 100 en 110 cm diepte.<sup>38</sup> Klei op klei heeft met 120 centimeter de grootste draindiepte. Vroeger werden buizen nog wel eens aangelegd op een diepte van 140 centimeter maar dit bleek te diep. Verder vragen intensieve teelten om een nauwere drainafstand, zodat het water tussen de buizen minder hoog komt te staan. Als de drainafstand bij traditionele akkerbouwgewassen bijvoorbeeld 12 meter moet zijn op kleigronden, kan dit bij vollegrondsgroenten op zandbodems 6 meter zijn.<sup>39</sup> De meest recente buisdrainagekaart voor landbouwpercelen in Nederland is vervaardigd in 2017 (figuur 9).

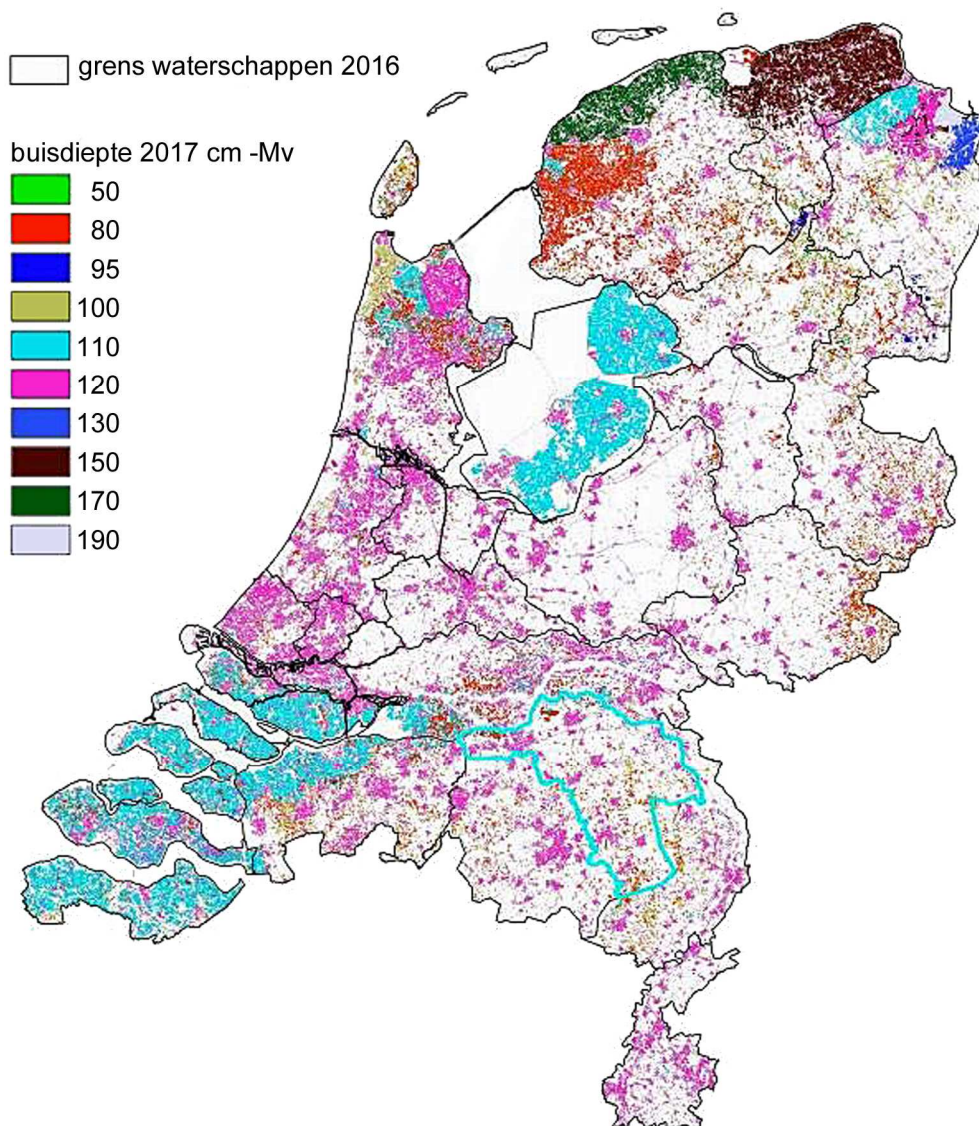
---

37 Florax & De Wilde 1988; Massop & Schuiling 2016, par. 2.2.2.

38 Ibid.

39 Bijvoorbeeld Florax & De Wilde 1988; Breimer & Seuer 2014, par. 5.1.4; Willemse *et al.* 2016, 52 e.v.





Figuur 9. Buisdrainagekaart 2017 (uit: Massop & Schuiling 2017).

De oudere drainagesystemen van gebakken buizen zijn voornamelijk handmatig aangelegd door het graven van sleuven waarin de buizen gelegd werden. Tegenwoordig worden drainagesystemen voornamelijk grootschalig aangelegd waarvoor een draineermachine wordt gebruikt. Drainage kan in de bodem worden gebracht door middel van het trekken van circa 30 cm brede sleuven waarbij de gehele bodem boven de buis wordt verstoord, maar het kan ook 'sleufloos' gebeuren. Bij sleufloos draineren wordt door middel van een grote V-vormige bodemfrees de bodem in zijn geheel iets opgetild waarbij tegelijkertijd de drainagebuis de bodem wordt gelegd waarna de V-kolom weer terugvalt op zijn plaats. De verstoring, de v-vormige inkeping van de bodem, kan niet of nauwelijks in de bodemprofielen waar te nemen zijn. Dit gegeven maakt het visueel vaststellen van de directe verstoring van recente drainage lastig.

Het aanleggen van drainage heeft er voor gezorgd dat de oorspronkelijke kruinigheid (bolle ligging) van sommige percelen niet meer nodig was voor de ontwatering. Deze werd dan ook in het kader van bijvoorbeeld ruilverkaveling, inclusief plaatselijke depressies en hogere delen, in de meeste gevallen geëgaliseerd (zie hierna, paragraaf 2.5).

### *Maaiveldgreppels/sleuven*

In bodems waar buisdrainage niet of beperkt werkt, worden maaiveldgreppels (soms in combinatie met buisdrainage) toegepast.<sup>40</sup> Dit zijn bodems met geringe doorlatendheid, bijvoorbeeld in komkleigebieden of met ondiepe grondwaterstanden, zoals in laagveengebieden. Maaiveldgreppels zijn verlagingen van het maaiveld die zijn aangelegd voor de afvoer van overtollige neerslag naar de kavelsloten. Maaiveldgreppels zijn ondieper dan 0,5 m en staan niet op de topografische kaart aangegeven maar zijn wel goed zichtbaar in AHN-beelden en soms op luchtfoto's.

## **2.5 Gebruikerskennis**

Een derde en vaak heel belangrijke bron voor bodembewerkingsinformatie vormen de aangeleverde gegevens van de gebruikers zelf. Dit wordt ook wel *gebruikers- of respondenteninformatie* genoemd.<sup>41</sup> Bij dit type informatie zijn de gegevens afkomstig van agrariërs of grondeigenaren die in de gelegenheid zijn gesteld informatie te overleggen met betrekking tot de grondbewerkingen op hun land. Agrarische bedrijven bestaan soms al enkele decennia waarbij het bedrijf jarenlang in familiebezit is gebleven. De kennis en praktijkervaringen die deze gebruikers hebben over de hoofdgrondbewerkingen, teelten, teeltwijzen en grondverbeteringen reikt vaak vele malen verder dan uit de andere bronnen kan worden afgeleid. Deze kennis kan worden geïnventariseerd door middel van enquêtes en interviews.<sup>42</sup> Belangrijk is om deze gegevens naast die uit andere bronnen te leggen, zodat er een gebiedsdekkend beeld wordt verkregen van de verschillende typen bronnen en hun waarde voor het verwachtingsmodel.

Een voorbeeld van gebruikerskennis is de informatie uit het respondentenonderzoek in het pilotgebied in Pingjum (Súdwest-Fryslân).<sup>43</sup> Daaruit is gebleken dat boeren bij het samenvoegen van hun percelen en het dempen van tussengelegen sloten met grond uit de directe omgeving zoveel mogelijk hun teellaag wilden sparen. Daarom werd de bouwvoor óf eerst ondergeploegd (grondkering, veelal door diep-ploegen) waarna de bovengrond werd afgeschoven, óf eerst terzijde geschoven waarna het maaiveld werd verlaagd en de bouwvoor teruggezet.<sup>44</sup> Beide methoden leveren een aanzienlijke historische versterking op van het bodemprofiel.<sup>45</sup>

---

40 Massop & Schuiling 2016, par. 3.7.

41 Zie ook Willemse *et al.* 2016 en Lascaris & De Kort 2017.

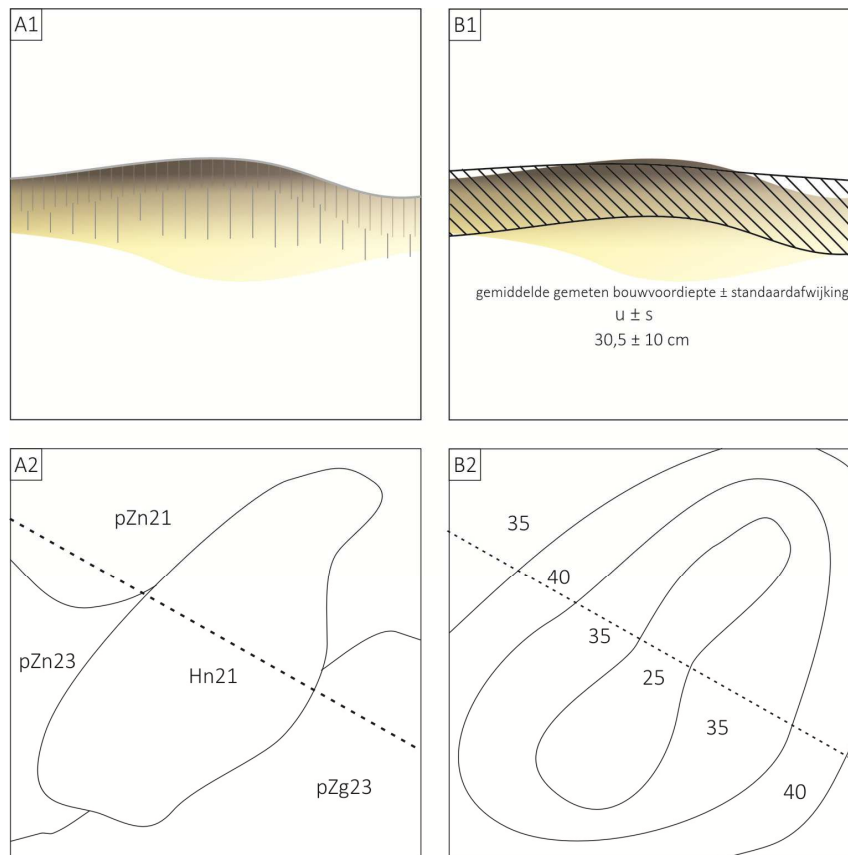
42 Kroes & Kloosterman 2013; Willemse *et al.* 2016, par. 5.7.

43 Willemse *et al.* 2016, par. 5.7.

44 Willemse *et al.*, 2016.

45 Zie ook Lascaris & De Kort 2017, paragraaf 3.2.

### 3 Analyse van grondbewerkingsgegevens



Figuur 10. Ontwikkeling van de bouwvoor. A1: sterk geschematiseerde weergave van een natuurlijk bodemprofiel langs de stippellijn in A2; A2: hypothetische verbreiding van bodemtypen in een reliëfarm dekzandlandschap (bodemcodes volgens de NEBO50); B1: ontwikkeld bodembewerkingsprofiel na jarenlange hoofdgrondbewerking van profiel A1. Een deel van het oorspronkelijke bodemmateriaal is verplaatst; B2: sterk vereenvoudigd patroon van bodembewerkingsdiepten (in cm) na jarenlange hoofdgrondbewerking van landschap B2.

#### 3.1 Secundaire gegevens afgeleid uit bewerkingsmethoden

Op basis van bestaande overzichtswerken van landbouwmethoden kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende bewerkingsdiepten. Deze staan hieronder vermeld in tabel 1.

Reguliere (hoofdgrond)bewerkingen gaan meestal niet dieper dan 25-35 cm -mv. In het zuidelijk zandgebied wordt de bodem bij een derde deel van het areaal regulier tot een diepte van 35 cm bewerkt.<sup>46</sup> Incidentele diepe bewerkingen worden uitgevoerd om storende lagen in het bodemprofiel en verdichtingen die in de loop van de tijd onder de bouwvoor ontstaan, te breken. Deze bewerkingen gaan vaak tot 10 cm dieper dan de reguliere bewerkingen. Bepaalde gewassen, bijvoorbeeld asperges en schorseneren, vragen echter om een diep bewortelbare bodem. Om de aspergeplanten een zo goed mogelijke ontwikkelingskans te geven is een grondbewerking van 30-50 cm vereist. Vaste lagen op grotere diepte moeten worden gebroken en zo mogelijk worden gemengd.<sup>47</sup>

Ook bij boomteelt en fruitteelt gaat de beïnvloeding van de bodem dieper dan de bouwvoor. Bomen planten met kluit word door een plantmachine gedaan waarbij kluiten met een omvang van 25/30 cm tot 80 cm op dezelfde afstanden in de grond worden gezet in plantgaten. Voor op de plantmachine zitten schoepen die de grond omspitten. Het rooien of verplanten van bomen gaat met een graafmachine met

46 Reuler *et al.* 2014.

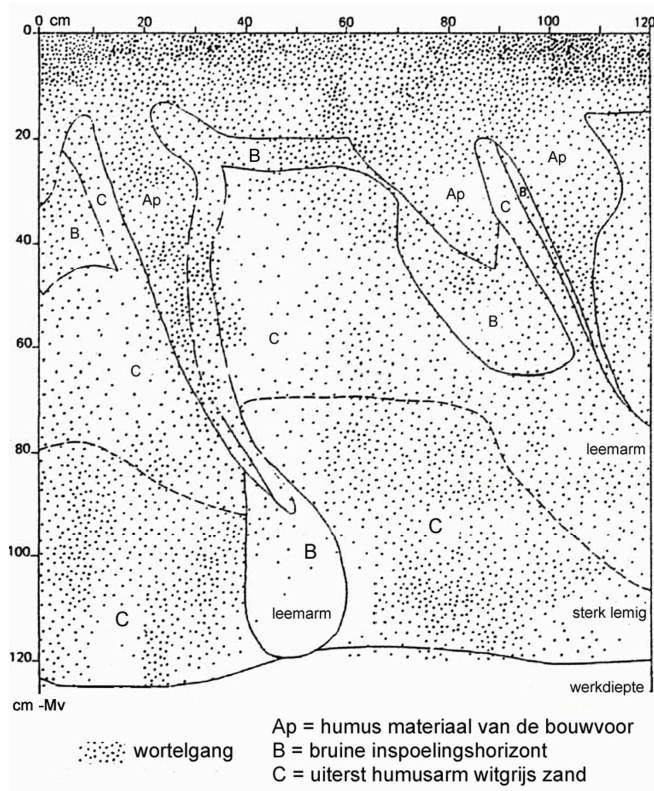
47 Zie bijvoorbeeld Poll 1988.

kluitenbak. Met 4 schoepen en een ondersnijmes worden de bomen gekluit met een omtrek van 10 tot 55 cm. Er bestaan ook kluitenbakken met een omtrek van 130, 160, 200 en 260 cm. Deze bestaan uit twee half ronde schalen die onder de grond de wortels doorknijpen. Deze wordt ook gebruikt voor de kleinere kluiten wanneer er geen plaats is voor een mobiele kraan tussen de bomenrijen. Zie verder de door De Vies et al. (2016) verzamelde gegevens in figuur 12 en figuur 13 en de gegevens in Reuler et al. (2014).

Type	Werkingsdiepte	Aantal bewerkingen
directzaai	0	1 x per jaar
minimale bodembewerking	5-7 cm	1 x per jaar
zaaibedbereiding	10-15 cm	2 of 1 x per jaar
spitten/woelen	25-35 cm	3 of 2 x per jaar
decompacteren	25-35 cm	3, 2 of 1 x per jaar
cultivator/tandeg	15-35 cm	2 of 1 x per jaar
grasland scheuren/ploegen	20-30 cm	eens in de 3 tot 5 jaar
ploegen	22-35 cm	3 of 2 x per jaar
ploegen met ondergronder en spitfrezen	35-40 cm	1 x per jaar
plantmachine kluit tot Ø 80 cm	10-80 cm	eens in de 3 tot 8 jaar
rooien met kluitenbak Ø 45-55-60-100 cm*	30-50 cm	een keer per 3 tot 8 jaar
spitfrezen/diepploegen asperge/schorseneren	40-100 cm	bij aanleg
diepwoelen/diepploegen/ondergronder	35-150 cm	Incidenteel, incidenteel dieper
maaiveldgreppels	30-70 cm	incidenteel
drainage	80-120 cm	sleuf/sleufloos om de 6-15 m
Sloten smaller dan 1 m tot > 3 m	100-250 cm	incidenteel
egalisatie/kilveren	onbekend	incidenteel

\* Reuler et al. 2014, par. 5.3

*Tabel 1. Werkingsdiepte en bewerkingsfrequenties voor verschillende hoofdgrondbewerkingen en grondverbeteringen (naar: Heunks 1995; Reubens et al 2012; Ten Broeke 2012; Reuler et al 2014; Breimer & Seuer 2014; Massop & Schuiling 2016; landbouwmechanisatiebedrijven Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH).*



Figuur 11. Geschematiseerd bodemprofiel van een met een mengploeg bewerkte veldpodzol. In het profiel is het bewortelingspatroon aangegeven dat is ontstaan na bewerking (oorspronkelijke bewortelingsdiepte was 45 cm; naar: Houben 1980).

Figuur 12. De kans op bodemverstoring bij meerjarige teelten (bron: De Vries et al. 2016).

#### De kans op bodemverstoring bij meerjarige teelten.

Gewascategorie	Grondbewerking	Kans op verstoring per diepteklasse		
		40 cm	40-60 cm	>60 cm
Kwekerij	• Eenmalige aanleg kwekerij. Grondbewerking tot 40 cm -mv.	100%		
Coniferen en struiken	• Regulier onderhoud, onkruid vrij houden terrein door jaarlijks schoffelen (<30 cm -mv.). • Periodiek rooien. Eén keer per 3 à 5 jaar rooien met kluit (<40 cm -mv.).			
Laanbomen	• Eenmalige aanleg kwekerij (1500 – 2500 bomen per ha). Grondbewerking tot 40 cm -mv. • Regulier onderhoud, onkruid vrij houden terrein door jaarlijks schoffelen (<30 cm -mv.). • Periodiek rooien. Eén keer per 5 à 8 jaar rooien met kluit (>40 cm -mv.) en daarna grondbewerking en egalisatie om gaten op te vullen.	100%	20%	
Boomgaard	• Eenmalige aanleg laagstam boomgaard (1000-2000 bomen per ha). Grondbewerking tot 40 cm -mv. • Periodiek rooien. Na 12 à 15 jaar rooien wegens veroudering. Wortelstelsel zo goed mogelijk verwijderen (grondbewerking per rij tot dieper dan 40 cm -mv.).	100%	20%	
Asperges	• Eenmalige aanleg aspergeveld. Grondbewerking tot dieper dan 40 cm -mv., planten en opploegen aspergebedden. • Reguliere jaarlijkse verzorging, o.a. bedden opploegen en onkruid vrijhouden (<30 cm -mv). Jaarlijks oogsten door het steken van de asperges (<30 cm -mv.). • Na 10 tot 14 jaar zijn de planten uitgeput. Planten worden verwijderd en het terrein wordt geëgaliseerd. Grondbewerking < 40 cm -mv. Geen herplant.	100%	80%	
Miscanthus (olifantengras)	• Eenmalige aanleg. Grondbewerking tot 40 cm -mv. om ploegzool en verdichting te breken. • Reguliere jaarlijkse verzorging (<30 cm -mv.). • Na 15 tot 20 jaar beëindigen. Voor het verwijderen van de wortelstokken is een grondbewerking tot 40 cm -mv. nodig.	100%		100%



Bij *profielverbetering* worden vaak 'storende' lagen of verdichte lagen in de ondergrond doorgespit of omgewerkt. Maatregelen zijn vaak het opheffen van de storende laag door een (diepe) grondbewerking (losmaken van de grond) door verschillende vormen van (diep)woelen/cultiveren, ploegen, spitzfrozen en mengroteren of omwerken met een dragline. Naast de grondverbeteringsmethode is ook de bewerkingsdiepte zeer variabel (40-150 cm, incidenteel dieper) en hangt af van de opbouw van de ondergrond. Omdat de bodemopbouw binnen een perceel kan variëren worden deze grondverbeterende maatregelen niet altijd voor het hele perceel uitgevoerd. Zie verder ook figuur 13.

*Kans op bodemverstoring door diepe grondbewerking en drainage.*

Bron	Ingrep	Kans op verstoring per diepteklasse		
		40 cm	40-60 cm	>60 cm
Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000	Enmalige vergraving en egalisatie. Grondbewerking (bijvoorbeeld diepploegen) waarbij lagen worden gemengd, met als doel stagnerende lagen in het bodemprofiel op te heffen. De grondbewerking wordt veelal gecombineerd met egalisatiewerkzaamheden.	65%	65%	
Detail bodemkaarten	Idem.	100%	100%	
Drainagekaart NHI	Enmalige aanleg buisdrainage op onderlinge afstand van 5 à 25 m en op een diepte van 80 à 140 cm -mv. Voor de aanleg zijn verschillende machines in gebruik. De sleufloze machines richten minder verstoring aan dan de machines die een sleuf graven van ca. 25 cm breed.	5%	5%	5%
HGN 1900 – 1960, aangevuld met informatie uit topografische kaarten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eenmalige ontginning 1900-1950. Gedeeltelijk met mankracht omgespit (werkverschaffing) of gediëpploegd en geëgaliseerd.</li> <li>• Eenmalige ontginning 1950-1960. Gedeeltelijk gediëpploegd en geëgaliseerd.</li> </ul>	35%	25%	
		50%	35%	

Figuur 13. Kans op bodemverstoring door diepe grondbewerking, drainage en sporen van ontginning (bron: De Vries et al. 2016).

### 3.2 Primaire gegevens over bewerkingsdiepten

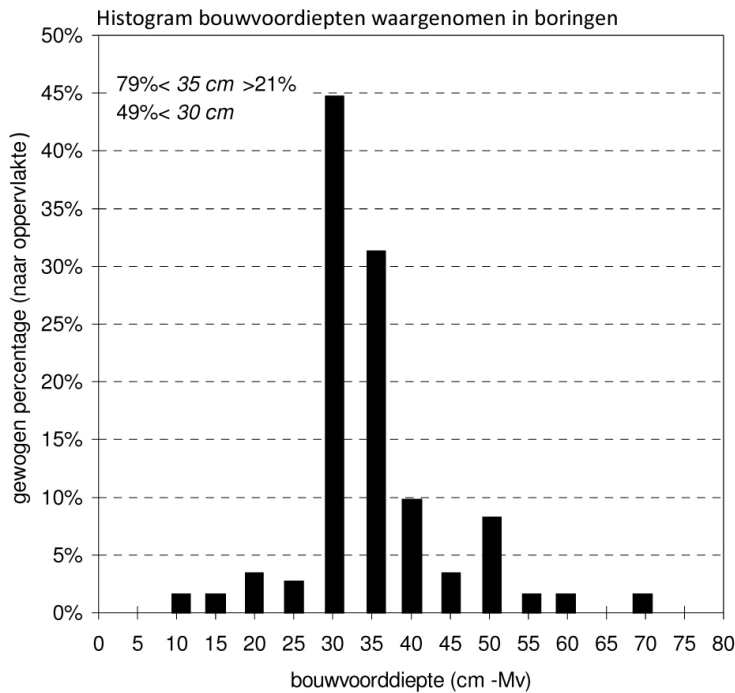
In het algemeen zijn primaire gegevens over bewerkingsdiepten op agrarische percelen schaars. Ook de mate waarin de gegevens enige statistische zeggingskracht hebben, dat wil zeggen de validiteit van de steekproefmethode om over het gehele perceel uitspraken te mogen doen, is lang niet altijd helder. Hieronder worden drie primaire datasets beschreven afkomstig uit Oost-Gelderland (regiogemeenten Regio Achterhoek, ruilverkavelingsgebieden), Noord-Limburg (gemeente Peel & Maas), Noord-Brabant (Reusel-De Mierden) en Zuidwest-Friesland (Pingjum) die waarschijnlijk wel representatieve kwantitatieve gegevens hebben opgeleverd.<sup>48</sup>

Voor de *Regio Achterhoek* is in 2011 door Boonstra *et al.* op basis van boorgegevens afkomstig van archeologische onderzoekslocaties een schatting gemaakt van de gemiddelde (totale) bouwvoordikte.<sup>49</sup> Deze kwam uit tussen de 30-35 cm (figuur 14). In 79% van de waarnemingen was sprake van een bouwvoordikte van minder dan 35 cm. In bijna de helft (49%) was sprake van een bouwvoordikte van

48 Regio Achterhoek: Boonstra *et al.* 2011 (maar zie Willemse & Kocken 2012, 41); Peel en Maas: Ten Broeke 2012; Noord-Brabant en Zuidwest Friesland: Lascaris & De Kort 2017. Voor de statistische methoden zie de betreffende rapporten.

49 Boonstra *et al.* 2011. De meeste archeologische boorgegevens worden in een systematisch roostergrid verzameld. Zie voor de voor- en nadelen van deze steekproefmethode hoofdstuk 5. Zie voor de herberekening van de dataset van Boonstra *et al.* 2011 Willemse & Kocken 2012, 41 (voetnoten 42 en 43).

minder dan 30 cm. De staartverdeling voor lagere waarden in figuur 14 waren voornamelijk afkomstig van graslandpercelen. Naar de ruimtelijke patronen van bewerkingsdiepten (per perceel, per bodemtype, naar gewasteelt, etc.) is geen onderzoek gedaan.



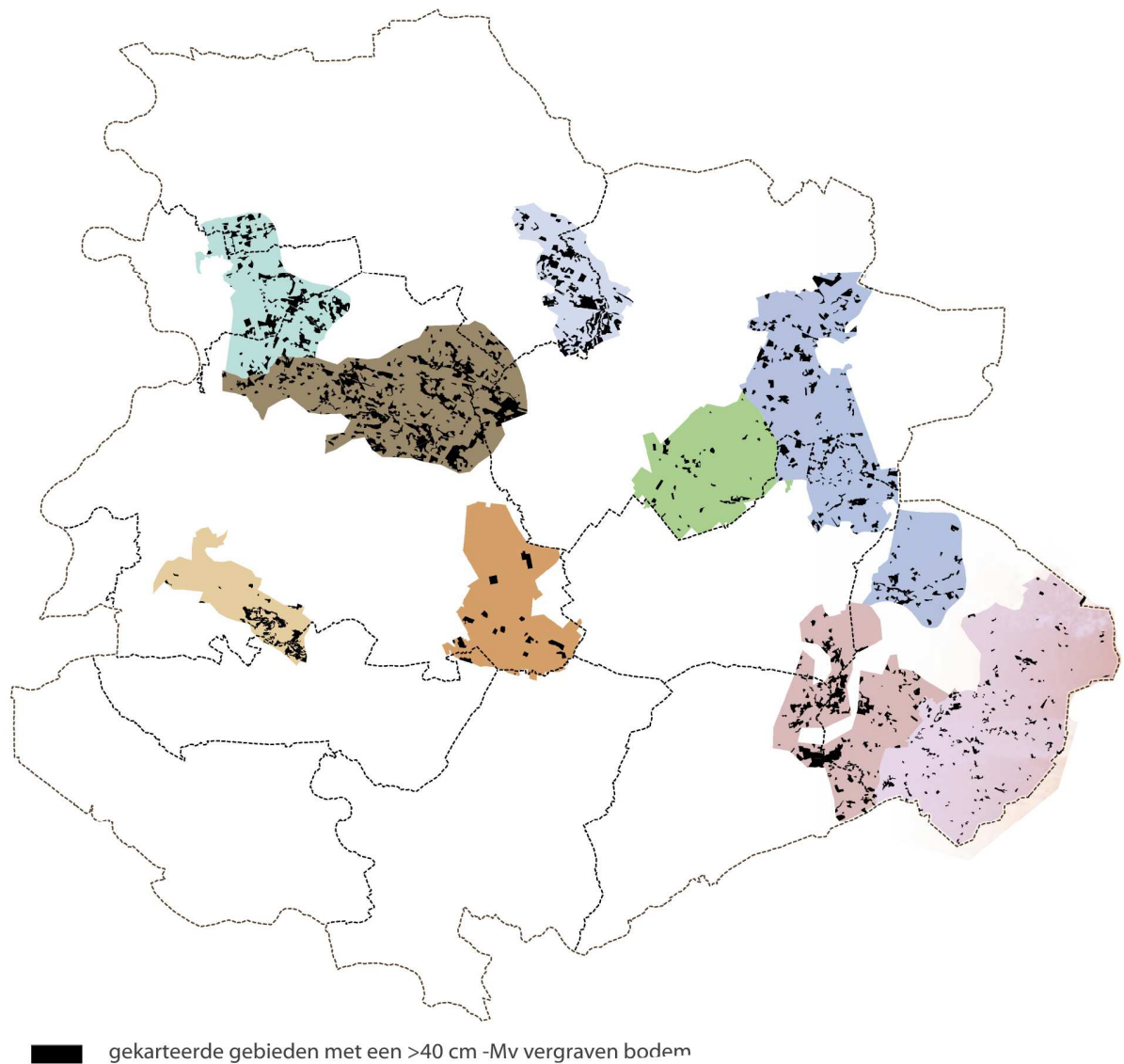
Figuur 14. Histogram van bouwvoordiepten in de Regio Achterhoek (dataset: Boonstra, Van Heeringen & Schrijvers 2011; statistische bewerking: Willemse & Kocken 2012).

Gerekend naar percentage van het totale (archeologisch) onderzochte landbouwareaal in de Regio Achterhoek (656 hectare) bleek dat binnen 88% van dit oppervlak een bewerkingsdiepte minder dan 40 cm voor te komen (figuur 14). 12% van het totale oppervlak bleek dieper bewerkt dan 40 cm. Onafhankelijke veldbodemkundige gegevens uit Oost-Gelderland<sup>50</sup> geven aan dat gemiddeld 9% van het onderzochte agrarisch buitengebied (38.258 hectare) dieper is vergraven dan 40 cm.<sup>51</sup> In het ruilverkavelingsgebied Berkeldal (1909 hectare) bleek dit voornamelijk grondverbetering van natvochtige tot zeer natte zandbodems.<sup>52</sup>

50 Verzameld door de Dienst Landbouwkundig Onderzoek/Staring Centrum en Alterra; zie Willemse & Kocken 2012, 38 en 29.

51 Willemse & Kocken 2012, 26 en tabellen 5 en 6. Het gaat in de digitale kaartbestanden om attribuutwaarde 'F' in attribuut: KEPR\_VERG.

52 Ibid., 28 en 29.



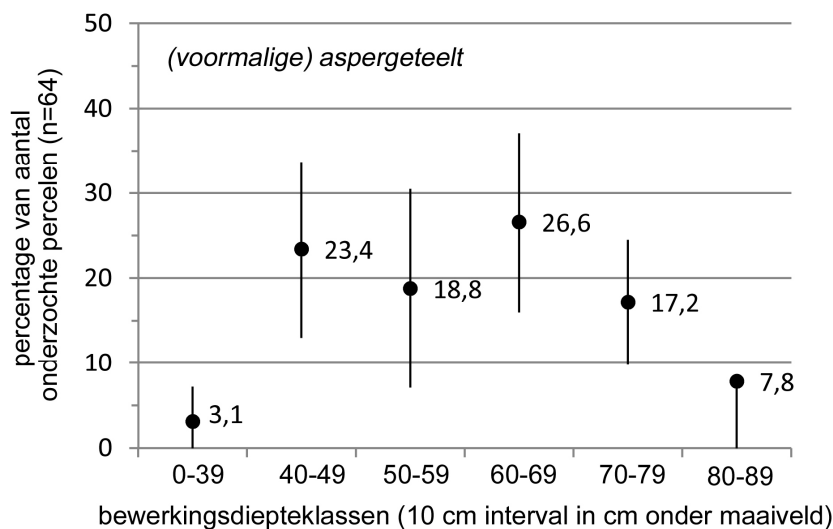
Figuur 15. Verschillende detailkarteringsgebieden (kleuren) met in zwart de gekarteerde terreinen met een meer dan 40 cm –Mv vergraven bodem in Oost-Gelderland(naar: Willemse & Kocken 2012, 26).

Het onderzoek op agrarische percelen in de gemeente Peel & Maas heeft alleen voor terreinen met (voormalig) aspergeteelt voldoende gegevens opgeleverd om een statistisch verantwoorde uitspraak te doen over de gemiddelde bewerkingsdiepte en de bandbreedte hiervan (tabel 2). Voor de andere typen (combinatie)teelt konden geen betrouwbare uitspraken worden gedaan.

Waar (voorheen) asperges werden geteeld bleek dat ruim 68% van het aantal onderzochte percelen tussen de 40 en 69 cm diep waren bewerkt (figuur 16). 25% bleek dieper bewerkt, tot 90 cm. De bandbreedte van deze schattingen (de verticale lijn figuur 16) loopt uiteen per individuele klasse, van 7 tot 10 %.<sup>53</sup> Gemiddeld genomen bleek de bewerkingsdiepte op percelen waar (voorheen) asperges werden geteeld 57 cm te bedragen maar de bandbreedte (standaardafwijking<sup>54</sup>) is met 21,5 cm groot.

53 Zie Ten Broeke 2012, 10 en 11 voor de waarnemingsstrategie. Alleen voor terreinen met (voormalig) aspergeteelt zijn voldoende gegevens beschikbaar om een statistisch verantwoorde uitspraak te doen over de gemiddelde verstoringsdiepte en de bandbreedte hiervan. Voor de andere typen (combinatie)teelt konden geen betrouwbare uitspraken worden gedaan of het ene type (combinatie)teelt leidt tot een gemiddelde diepere verstering dan het andere.

54 Indien daadwerkelijk sprake zou zijn van normaalverdeelde bewerkingsdiepten.



Figuur 16. Gemiddelde bewerkingstiepten (in klassen) naar percentage van het totaal aantal onderzochte agrarische percelen met aspergeteelt in de gemeente Peel en Maas, met bandbreedte (dataset: Ten Broeke 2012, bijlage 12). In de figuur is bijvoorbeeld af te lezen dat 33 tot 13% (gemiddeld 23,4%) van alle onderzochte percelen (n=64) een bewerkingstiepte van 40 tot 49 cm kent.

(Voormalig) gebruik /type teelt	Aantal percelen	Gemiddelde bewerkingstiepte	Stdev
asperges	64	57,2	21,5
schorseneren	3*	45,0	5,0
bomen	7*	59,3	20,5
asperges;bomen	7*	58,6	15,7
asperges;schorseneren	2*	45,0	7,1

Stdev = standaardafwijking

\*= geen representatieve steekproef

Tabel 2. Gemiddelde verstoringsdiepten per type (combinatie)teelt en de geconstateerde standaardafwijking van dit gemiddelde voor agrarische percelen in de gemeente Peel & Maas (dataset: Ten Broeke 2012, bijlage 12).

Met betrekking tot de variabiliteit van bodembewerkingen biedt vooral de primaire dataset van Lascaris & De Kort (2017) een aantal belangrijke aanknopingspunten voor de strategieënbepaling van een (optimale) veldtoetsmethode. De veldwaarnemingen werden systematisch (binnen een verspringend vierkant grid) en in drie stappen ingezameld. Het doel was om 'uit te zoeken welke methode (boringen, profielkuilen) of combinatie van methoden de meeste informatie oplevert'. Zie figuur 22 voor de schematische weergave van de drie onderzoekstrategieën en het rapport voor en gedetailleerde beschrijving.

Een van de strategieën was om de boorlocaties uit de eerste fase na het uitvoeren van de tweede fase (verdichten van het waarnemingsgrid) nogmaals te onderzoeken door het graven van een profielkuil op dezelfde locatie. Verder is de bewerkingstiepte van zowel de bouwvoor (hoofdgrondbewerking) als de bewerkingstiepte van daaronder gelegen lagen (op te vatten als grondverbeteringen) bepaald. De getalsmatige weergave van de resultaten voor wat betreft de bewerkingstiepten en hun statistische eigenschappen (gemiddelde, standaardafwijking en de mate waarin de waarnemingen rondom het gemiddelde verdeeld zijn, dat wil zeggen de scheefheid) staan samengevat in tabel 3. Zie bijlage 3 voor de volledige dataset.

	Pingjum			Lage Mierde 1			Lage Mierde 2			Lage Mierde 3		
	Db	Dg	Dmax	Db	Dg	Dmax	Db	Dg	Dmax	Db	Dg	Dmax
mean1	28	4	32	38	5	43	40	10	48	34	23	56
stdev1	4,9	7,5	7,2	2,9	10,0	8,7	0,0	8,2	5,0	2,5	38,6	39,2
skew1	1,9	2,0	0,4	0,0	2,0	1,5	0,0	0,0	-2,0	-2,0	1,9	2,0
mean2	30	7	37	34	8	43	39	4	43	39	0	39
stdev2	3,5	16,6	17,0	1,7	9,0	9,1	3,3	5,3	7,1	6,3	0,0	6,3
skew2	0,0	2,8	2,5	-3,0	0,6	0,9	-3,0	1,1	-0,3	0,3	1,2	0,3
mean3	30	8	39	34	10	45	32	19	51	31	10	41
stdev3	2,6	9,3	10,8	3,6	10,8	12,9	2,1	21,4	20,2	1,0	20,0	19,7
skew3	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,0	1,2	0,7	1,5	1,7	1,8	1,9	0,5
	<b>Db</b>	<b>Dg</b>	<b>Dmax</b>	<b>Db</b>	<b>Dg</b>	<b>Dmax</b>	<b>Db</b>	<b>Dg</b>	<b>Dmax</b>	<b>Db</b>	<b>Dg</b>	<b>Dmax</b>
Gmean	29	6	<b>36</b>	35	8	<b>43</b>	38	9	<b>46</b>	36	8	<b>44</b>
Gstdev	3,6	12,9	<b>13,5</b>	2,7	9,2	<b>9,3</b>	4,0	12,1	<b>10,8</b>	6,1	21,0	<b>20,8</b>
Gskew	0,2	2,7	<b>2,4</b>	-0,1	0,8	<b>0,6</b>	-1,2	2,6	<b>1,8</b>	1,0	3,1	<b>2,9</b>

Db = Diepte onderkant bouwvoor in cm

Dg = Dikte verstoring onder bouwvoor in cm

Dmax = Maximale beweringsdiepte in cm

mean = rekenkundig gemiddelde in cm

Stdev =- standaardafwijking (1 sigma) in cm

Skew = scheefheid van de verdeling van de meetwaarden rondom het gemiddelde

Tabel 3. Statistische samenvatting beweringsdiepten uit fasen 1, 2 en 3 bepaald op agrarische percelen in Zuidwest-Friesland (Pingjum, zandige kleigronden) en Noord-Brabant (Lage Mierde, zandgronden). Gegevensbron: Lascaris & De Kort 2017, tabellen 1 en 2. Zie bijlage 3 voor de gegevens.

Zoals te verwachten valt voor zowel de klei- en zandgronden hebben de beweringsdiepten voor de bouwvoor Db (lagen I en II in tabel 4 en figuur 20) in alle vier de gebieden gemiddelde waarden met een lage standaardafwijking en lage scheefheid.<sup>55</sup> Dit geldt voor zowel de kleibodem in Pingjum ( $29 \pm 3,6$ ) als voor de zandbodems te Lage Mierde (ca.  $36 \pm 4,3$  cm). Dit geeft aan dat de teellagen een vrij homogene en vlakke bewerking laten zien op alle vier de onderzochte percelen. Wel valt het verschil op tussen de waarnemingen uit boringen (fase 1) en de waarnemingen in de profielkuil (fase 3) op exact dezelfde locatie. Zo was in Pingjum de bouwvoordikte in de boringen telkens dikker dan in werkelijkheid en in Lage Mierde telkens dunner.<sup>56</sup>

Interessant aan dit onderzoek is de dikte van de apart onderscheiden beweringslaag D<sub>g</sub> die onder de bouwvoor voorkomt op de vier percelen (laag III en lokaal IV in tabel 4, zie figuur 7). Voor deze laag/lagen geldt dat de standaardafwijking gedurende elke onderzoekstap (dus ongeacht de waarnemingsmethode) beduidend groter uitvalt dan de gemiddelde waarde en dat de verdeling van deze beweringsdiepten behoorlijke scheef is. Met andere woorden, de verschillen tussen elk van de waarnemingspunten is tijdens elke onderzoekstap groot en er komen behoorlijk wat uitschieters voor. De gemiddelde dikte van deze laag bedraagt ongeveer 8 cm met standaardafwijkingen tussen de 10 en 21 cm (Lage Mierde 3) en lokale uitschieters tot 50 cm (Pingjum, fase 2) en 80 cm (Lage Mierde 3, fase 1). Deze laag onder de hoofdgrond kent op alle vier de percelen dus, zoals te verwachten valt op basis

55 Bij een waarde van 0 is sprake van een niet-scheve normale kansverdeling. Een negatief getal duidt op een scheefheid richting de lagere getallen (bijvoorbeeld minder diep dan de gemiddelde ploegdiepte) een positief getal op een scheefheid richting de hogere getallen (bijvoorbeeld dieper dan de gemiddelde ploegdiepte).

56 Zie Lascaris & De Kort 2017, 45.

van tabel 1 en paragraaf 2.4.2, een behoorlijk variabel patroon aan grondverbeterende bewerkingen. Deze laag onder de reguliere teellaag draagt in belangrijke mate bij aan de totale bewerkingsdiepte die voor de percelen kon worden vastgesteld ( $36 \pm 13,5$  cm te Pingjum en circa  $44 \pm 0$  tot 21 cm te Lage Mierde).

Op basis van deze gegevens kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat een optimale veldstrategie voor het schatten en toetsen van bewerkingsdiepten rekening moet houden met de ruimtelijke variabiliteit binnen deze laag III of lagen III/IV (tabel 4, figuur 20).

<i>Bodembewerkingsniveaus</i>	<i>dieptebereik</i>	<i>Standaardafwijking t.o.v. het gemiddelde</i>	<i>Scheefheid van de verdeling</i>
I zaaibedbereiding	0-15 cm	zeer laag	laag
II periodieke hoofdgrondbewerking	25-35 cm	laag	laag
III decompactielaag	tot 35-40 cm	afhankelijk van methode	afhankelijk van methode
IV diepe grondbewerkingen	> ca. 40 cm	afhankelijk van methode	hoog

Tabel 4. Indeling in bodembewerkingsniveaus volgens figuur 20.

### 3.3 Analyse van bewerkingspatronen

Naast de bewerkingsdiepten (tabel 5, zie ook bijlage 2) dient ook rekening te worden gehouden met het aantal passages, de mengingsgraad, de mate van keren van de bodem en de richting waarin dit gebeurt. Reguliere hoofdgrondbewerking (paragraaf 3.3) zal al snel een vlakdekkende homogenisatie tot gevolg hebben ('bouwvoor'). Veel van de diepere sporen van moderne landbouwwerktuigen zijn in het vlak onder de hoofdgrond echter herkenbaar in de vorm van repeterende parallelle lineaire verstoringen, of het nu gaat om drains, reguliere sporen van decompacteren, niet vlakdekkend diepploegen (figuur 17), bodemvriezen of beddenbouw. Eenzelfde diepere bodembewerking die periodiek herhaald wordt zal echter niet telkens op precies dezelfde plaats plaatsvinden waardoor na verloop van tijd de overlap van dit type bewerkingspatronen zal toenemen met soms uiteindelijk een vlakdekkende homogenisatie als gevolg. Vanwege de frequentie waarin hoofdgrondbewerkingen, decompactiebewerkingen en grondverbeteringen worden uitgevoerd (paragraaf 2.4.1) valt het bodembewerkingsprofiel doorgaans uiteen in meerdere lagen (figuur 20).<sup>57</sup>

57 In de meeste datasets over bewerkingsdiepten die betrekking hebben op de hoofdgrond (de bouwvoor) wordt dit onderscheid echter niet gemaakt.



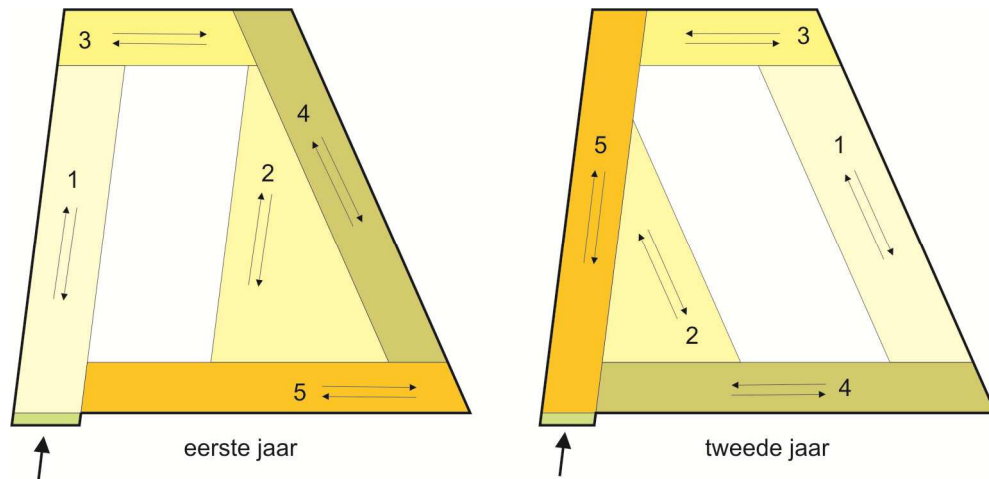


Figuur 17. a: sporen van diepploegen onder het omgewerkte dunne plaggendeck op de Rimpeleres te Putten; b: gediëpploegd perceel (schaalstok = 90 cm); c: gefreesd perceel (schaalstok is 70 cm); d: dieppgespit perceel (schaalstok is 80 cm). b t/m d uit: Breimer & Seuer 2014..

Vlaktewijze bewerkingen zijn eenvoudig op te sporen als deze een heel perceel beslaan, zoals bij de meeste hoofdgrondbewerkingen (10-35 cm diep) of periodieke bewerking om verdichtingen onder de teellaag weg te nemen (30-40 cm diep). Meestal wordt een perceel op enkele randen na (om te kunnen keren en insteken) integraal - dus in zijn geheel - (machinaal) bewerkt (figuur 18). Zelden zal een agrariër of teler maar een (klein) deel van zijn perceel bewerken. Anderszins zijn in de loop der tijd ontzettend veel percelen samengevoegd met als netto resultaat dat percelen kunnen bestaan uit segmenten met een verschillende gebruiksgeschiedenis. Verder is bekend dat ontgroningen of diepere profielverbeteringen van een beperkte omvang kunnen zijn zodat deze niet altijd het gehele perceel beslaan. In de Noordoostpolder is bijvoorbeeld heel lokaal gediëpploegd op basis van een vooraf gemaakte groot-schalige bodemkaart.<sup>58</sup> Ook bij egaliseren/kilveren van akkers wordt vaak heel lokaal gediëpploegd of omgegraven (paragraaf 2.4.3). In de bodem ontstaat door egalisatie- en profielverbeteringswerkzaamheden aldus een onregelmatig patroon van diep bewerkte, minder diep bewerkte, onverstoorde en zelfs

58 Lascaris *et al.* 2019.

afgedekte bodems. Ook in de boom- en fruitteelt ontstaan door het planten en rooien gatenpatronen in het terrein.



*Figuur 18. Schematische voorstelling van meerjarige ploegrichtingen op een akkerbouwperceel (bron landbouwpraktijk-school/wikiwijs).*

De consequentie is dat er binnen een perceel vaak verschillende patronen aanwezig zullen zijn, elk met een meer of minder specifiek patroon en diepte. Als een vlakverstoring niet een heel perceel inneemt, wordt het schatten van de bodembewerking(en) op een perceel wat ingewikkelder. De vorm van vlakverstoringsen richt zich meestal op de geometrie van de percelen en is meestal hoekig. Verschillende vlakverstoringsen naast elkaar kennen doorgaans abrupte grenzen. Vlakverstoringsen door egalisatie kunnen echter uitgesproken onregelmatig en diffuus zijn. Onder de doorgaans homogene teellaag kunnen de volgende vormen en patronen worden onderscheiden (tabel 5):

- Regelmatige patronen met lijnvormige of dambordvormige verstoringen zoals drains, maaiveldgreppels en plantgaten. Ook diepploegsporen of diepe cultivatorsporen kunnen hiertoe worden gerekend.
- Regelmatige patronen met vlakvormige verstoringen zoals freeslagen of spitlagen.
- Onregelmatige patronen zoals die ontstaan door het egaliseren of kilveren van het (micro)reliëf.





Figuur 19. Sporen van nieuwtijds maaiveldgreppels en oudere ontginningsgreppels op de Rimpeleres-Putten.

type	werkbreedte	werkdiepte	patroon
ploeg (een-of meerscharig)	60-300	22-35	baan/vlak
voorkantcultivator	250-400	5-35	baan/vlak
cultivator	300-400	5-35	lijn
diepwoeler	100-200	50-70	lijn
diepspitter	200-300	30-75	baan
diepploeg	40-100	30-80	baan/lijn
plantmachine	tot 80	tot 80	gaten/spitbaan/dambord
kluitenbak	10-260	10-260	gaten/dambord
sleuvenfrees	20 tot 40	80-140	lijn
kilverbak	200-300	10-40	baan/vlak/onrefegelmatic
greppelfrees	tot 140	tot 70	lijn

*alle maten in centimeter*

Tabel 5. Gangbare werkbreedten, werkdiepten en patronen van landbouwmachines (bron: Heunks 1995; Reuler et al 2014; er 2014; Massop & Schuiling 2016; informatie landbouwmechanisatiebedrijven zoals Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH). Zie ook bijlage 2..

### 3.4 Conclusie

In de praktijk is een bodembewerkingsprofiel een optelsom van machines, bewerkingen en teeltwijzen waarbij de delen bestaan uit al dan niet frequent uitgevoerde bodembewerkingen (paragraaf 2.4.1). Het uiteindelijke bodembewerkingsprofiel wordt daarom steeds bepaald door de combinatie van een ruime set aan bodembewerkingen waarvan nagenoeg oneindig veel combinatiemogelijkheden bestaan.<sup>59</sup> In de praktijk is verder echter moeilijk om op basis van datasets met informatie over bewerkingen,<sup>60</sup> of uit gesprekken met de grondgebruiker, vermoede grondbewerkingen te isoleren van nog onbekende grondbewerkingen, zoals het dempen van sloten. Een ander punt is dat verstoringen zoals diepploegen of ontgrondingen niet altijd het gehele perceel beslaan terwijl de gebruikte bronnen dat vaak wel suggereren. Wel is vaak aan het ontbreken van (micro)reliëf in het veld te zien dat een perceel afgevlakt is, maar is het ook na steekboringen en/of proefputjes niet altijd duidelijk of dit het gevolg is van een bewuste egalisatie, jarenlang ploegen of een andere vorm van diepere bodembewerking. Dit betekent dat de interpretatiebreedte voor waargenomen bodembewerkingdiepten en -patronen zeer ruim is en gewoonlijk niet meer te herleiden is tot één of meerdere specifieke ingrepen of teelten.<sup>61</sup>

Het is van cruciaal belang om zich van die complexiteit bewust te zijn; niet alleen met het oog op het opzetten van betekenisvolle steekproeven maar ook voor een correcte en genuanceerde interpretatie van de veldresultaten. Daarom is voor een werkbaar steekproefmodel een zekere vereenvoudiging noodzakelijk waarbij de uitdaging is om die factoren te gebruiken die de meest doorslaggevende rol spelen voor de effecten van bewerking op het bodemprofiel. Daarbij gelden in theorie de volgende uitgangspunten:

1. Dezelfde bodembewerkingen kunnen verschillende bodembewerkingsprofielen tot gevolg hebben, De maximale diepte is machine-afhankelijk maar de boer bepaalt hoe diep er bewerkt wordt.<sup>62</sup>
2. Hoe dichter twee punten bij elkaar liggen, des te groter is de kans dat voor beide punten de bodembewerking gelijk zal zijn geweest;
3. Eenzelfde reguliere bodembewerking die periodiek herhaald wordt, zal niet telkens op precies dezelfde plaats plaatsvinden (paragraaf 3.3) waardoor na verloop van tijd de overlap van de bewerkingspatronen van dit type bodembewerking zal toenemen met soms uiteindelijk een vlakdekkende homogenisatie als gevolg;
4. De bodembewerking die in een bepaald gebied aanwezig is zal gewoonlijk niet willekeurig verspreid zijn;
5. Een groep van aan elkaar grenzende en verwante bodembewerkingsprofielen zal volgens een bepaald regelmatig systeem worden afgewisseld door andere groepen van verwante of juist geheel contrasterende bodembewerkingsprofielen (ondiepe vs. diepe grondbewerkingen).
6. Vanwege de frequentie waarin hoofdgrondbewerkingen, decompactiebewerkingen en grondverbeteringen worden uitgevoerd (paragraaf 2.4.1) valt het bodembewerkingsprofiel doorgaans uiteen in meerdere lagen (figuur 20, figuur 7).<sup>63</sup> Deze bewerkingen zijn in profielkuilen vaak nog goed herkenbaar.

---

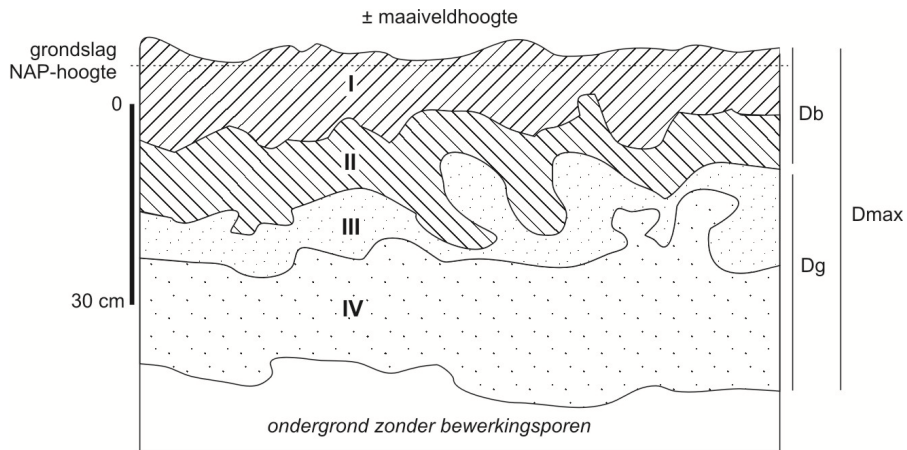
59 Willemse *et al.* 2016; Lascaris *et al.* 2017b.

60 Zie o.a. De Vries *et al.* 2016; Willemse *et al.* 2016; Peekel *et al.* 2016.

61 Zie Lascaris & De Kort 2017, 45.

62 Bij eenzelfde teelt kan sprake zijn van verschillende bodembewerkingen en bodembewerkingsdiepten. Niet iedereen volgt de laatste ontwikkelingen (op) en er is ook nog zoiets als gewoonte

63 In de meeste datasets over bewerkingsdiepten die betrekking hebben op de hoofdgrond (de bouwvoor) wordt dit onderscheid echter niet gemaakt.



*Figuur 20. Opdeling van het bodembewerkingsprofiel in verschillende bewerkingslagen. De dikte van elke laag is variabel en afhankelijk van bewerkingstype en bewerkingsfrequentie en het resulterende patroon. Zie tevens figuur 7.*

- I: teellaag/zaai-bed/zode
- II: ploeglaag/scheurlaag
- III: decompactielaag
- IV: grondverbeteringslaag

Db = diepte onderkant bouwvoor in cm  
 Dg = dikte verstoring onder bouwvoor in cm  
 Dmax = maximale bewerkingsdiepte in cm

# 4 Kartering en statistiek

## 4.1 Inleiding

Voor een kartering van de bestaande bodembewerkingen op een perceel moeten beslissingen worden genomen over plaats en aantal van de benodigde waarnemingspunten.<sup>64</sup> Daarbij moeten uiteraard ook beslissingen genomen worden over de gewenste mate van nauwkeurigheid van de beschrijving en de kans op missers. Uitgangspunt is meestal dat plaats en aantal waarnemingen zodanig gekozen worden dat de kans op een vertekend beeld van de bodembewerkingen op een perceel klein blijft. Waarnemingen moeten dus doelmatig over het gebied verdeeld worden en wel zodanig dat de waarnemingen een zekere garantie bieden voor een representatief beeld. De onderzoeksvragen zijn dan ook of het gebruik van voorkennis over agrarische grondbewerking (hoofdstuk 2 en 3) voor dit doel zinvol te gebruiken is en hoe deze voorkennis optimaal kan worden ingezet voor het bepalen van een waarnemingsstrategie.<sup>65</sup>

Om deze vragen te beantwoorden gaan we eerst in algemene zin in op de keuze van de waarnemingspunten (paragraaf 4.2), de keuze van de waarnemingswijze (paragraaf 4.3) en het ideale aantal waarnemingen per oppervlakte-eenheid (paragraaf 4.4). Vervolgens wordt kort ingegaan op de statistische variantie binnen percelen voor wat betreft de aanwezigheid van bewerkingspatronen en perceelsdelen met een afwijkende gebruiksgeschiedenis (paragraaf 4.6). Afgesloten wordt met een uitwerking van de twee waarschijnlijk meest optimale waarnemingsgrids voor dit soort onderzoek: een gestratificeerde aselechte steekproef en een clustersteekproef (paragraaf 4.6).

## 4.2 De keuze van waarnemingspunten

Bij de keuze van de plaats van de waarnemingen kunnen twee werkwijzen worden onderscheiden die essentieel verschillend zijn: de *niet-probabilistische* methoden (zonder kansmodel voor de verwachte waarden) en de *probabilistische* methoden (met kansmodel voor de verwachte waarden).<sup>66</sup> De *niet-probabilistische* methode wordt ook wel een 'black box' benadering genoemd; over de plaats en aantal waarnemingen dat in een gebied zal worden verricht wordt beslist door de veldonderzoeker voorafgaand aan het veldwerk of gaande het veldwerk. Daartoe worden criteria gebruikt als intuïtie, kostenbeperkingen en/of eerdere ervaringen. De *probabilistische techniek* gaat uit van een kansmodel waarbij de plaats en dichtheid van de waarnemingen van te voren worden vastgelegd in een statistisch bemonsteringssysteem waarbij uitsluitend rekening wordt gehouden met de gegevens verkregen uit voorkennis.<sup>67</sup> De onderzoeker kan hierop tijdens het veldwerk geen invloed uitoefenen.

De beide systemen van keuze van de te beschrijven bodemprofielen leiden tot verschillende verzamelingen van waarnemingen en verschillen tussen de schatting (van bodembewerkingsdiepten) op een perceel.<sup>68</sup>

---

64 Een toegankelijke bron is bijvoorbeeld Cotteleer *et al.* 2003.

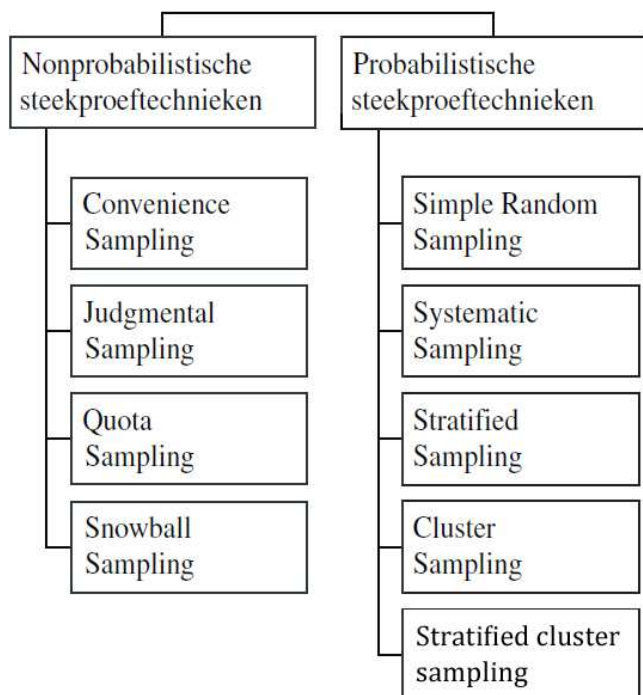
65 Bijvoorbeeld Verhoef 2002.

66 Zie bijvoorbeeld De Gruijter *et al.* 2006, 15.

67 Zie voor de archeologie bijvoorbeeld Tol *et al.* 2012 en Verhagen *et al.* 2011. Zie ook De Gruijter *et al.* 2006.

68 Brus & De Gruijter 1997; De Gruijter *et al.* 2006.





Figuur 21. Steekproeftechnieken (naar Cotteleer et al. 2003).

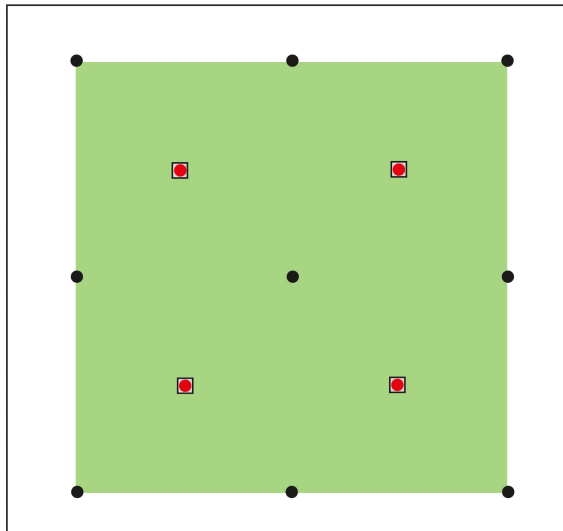
#### 4.2.1 Black box waarnemingsstrategie

In RAM 244 wordt verslag gedaan van een ‘black box’ strategie om in het veld bodembewerkingen en bodembewerkingsprofielen te kunnen beschrijven.<sup>69</sup> Bij het ontwerpen van de veldstrategie is opzettelijk niet uitgegaan van een op basis van bureauonderzoek en verklaringen van de grondgebruiker geformuleerd verwachtingsmodel. De confrontatie van de interpretatie van veldgegevens met de vanachter de PC verzamelde gegevens en de verklaringen van de grondeigenaar vond dus achteraf plaats. Als uitgangspunt voor de waarnemingslocaties werd een verspringend vierkant roostergrid gebruikt van 50 bij 50 meter (figuur 22).<sup>70</sup> Door middel van (Edelman)boringen en profielputten is stapsgewijs onderzocht welke strategie de meeste informatie oplevert bij de minste inspanning (tijd/kosten). Pas na afloop is nagegaan in hoeverre het mogelijk is om de veldwaarnemingen te duiden aan de hand van verklaringen van de grondgebruiker en informatie afkomstig van een beperkt bureauonderzoek. Het nadeel van het gehanteerde verspringend vierkant roostergrid is dat de nauwkeurigheid van de bepalingen gevaar loopt als er sprake is van herhalende ruimtelijke patronen binnen het perceel (zie hierna, paragraaf 4.2.2).<sup>71</sup> Verder kan pas na afloop worden bepaald (op basis van de gemiddelden, varianties en de scheefheid) in hoeverre er voldoende waarnemingen zijn gedaan voor een representatieve beschrijving van de bewerkingsdiepten en -patronen.

69 Lascaris & De Kort 2017, 9.

70 Burrough 1989: roostervormige systematische steekproef.

71 Burrough 1989; Davis 2002; De Gruijter et al. 2006.



Figuur 22. Schematische weergave van de drie onderzoekstrategieën uit het rapport 'verstoorde percelen' (Lascaris & De Kort 2017).

- Onderzoekgebied van 100 bij 100 meter
- Fase 1
- Fase 2
- Fase 3

#### 4.2.2 Modelmatige waarnemingsstrategie

Er bestaan velerlei kansmodel benaderingen om de bodembewerkingsdiepten en –patronen op een representatieve manier te kunnen beschrijven.<sup>72</sup> De verschillen met de ‘*black box*’ benadering worden (onder andere) uitgelegd in de publicaties van Brus en De Gruijter en collega’s<sup>73</sup> maar een van de belangrijkste kenmerken van de modelmatige aanpak is dat de geografische locatie van de waarnemingspunten wordt bepaald aan de hand van een vooraf opgesteld (statistisch) verwachtingsmodel. In tegenstelling tot de ‘*black box*’ benadering wordt met deze benaderingswijze dus wel gebruik gemaakt van voorkennis. Men noemt dit daarom ook wel ‘design based sampling’. In algemene zin is de consensus dat dit de doelmatigheid van een waarnemingsstrategie sterk verbeterd.<sup>74</sup> Dergelijke methoden hebben namelijk het voordeel dat de toetsing van het verwachtingsmodel met behulp van relatief weinig waarnemingspunten kan worden afgedaan.<sup>75</sup> Een nadeel van deze methode is dat systematische afwijkingen in de verzamelde gegevens kunnen ontstaan wanneer de voorinformatie onnauwkeurig of onvolledig was. In het geval van veelvormige bewerkingspatronen en –diepten niet geheel denkbeeldig.

De meest klassieke voorbeelden van modelmatige steekproefrasters zijn het vaste roostergrid (zoals vaak toegepast in de archeologie<sup>76</sup>), het roostergrid met aselechte waarnemingen, het verspringende roostergrid, het willekeurige clustergrid en het systematische clustergrid (figuur 23 en 21 links).<sup>77</sup> Afhankelijk van de patronen/de ruimtelijke variabiliteit op een perceel zal elk steekproefraster leiden tot verschillende verzamelingen van waarnemingen en verschillen tussen de schatting van (in dit geval)

72 Bijvoorbeeld Davis 1986; Burrough 1989; Brus & de Gruijter 1997; Verhoef 2002; De Gruijter *et al.* 2006; Brus & Noij 2008. Zie verder ook Biswas & Zhang 2018.

73 Bijvoorbeeld Steur 1961; Davis 1986; Burrough 1989; Brus & De Gruijter 1997; EPA 2002; De Gruijter *et al.* 2006, 15.

74 Ibid.

75 Steur 1961.

76 Verhagen *et al.* 2011; Tol *et al.* 2012.

77 Bijvoorbeeld Davis 1986; Burrough 1989; Brus & de Gruijter 1997; Verhoef 2002; De Gruijter *et al.* 2006; Brus & Noij 2008; zie verder ook Biswas & Zhang 2018.

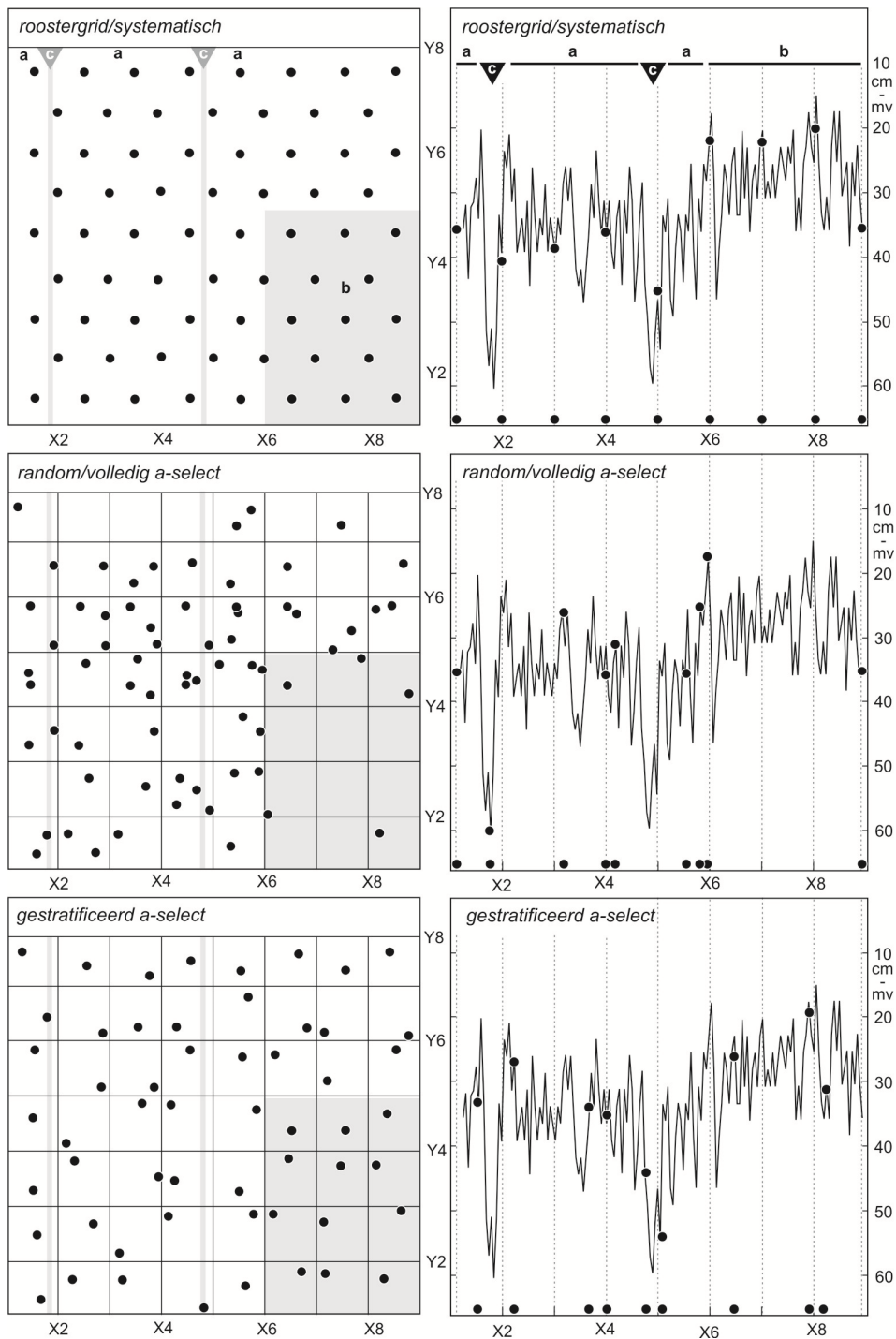
bodembewerkingsdiepten op een perceel.<sup>78</sup> In de statistische literatuur is veel aandacht besteed aan de onderlinge vergelijking van de opbrengsten van de steekproefrasters en steekproefprocedures.<sup>79</sup> Om de verschillen tussen de steekproefmethoden inzichtelijk te maken is in figuur 23 (rechts) een bodembewerkingsprofiel gesimuleerd. Door uit te gaan van een vast aantal waarnemingen per perceel en door steeds nieuwe steekproeven uit de gesimuleerde gegevens te nemen, leent deze methode zich goed om het verschil tussen verschillende steekproefmethoden inzichtelijk te maken. Wel is het getoonde een gesimplificeerde verstoringssimulatie met maar twee drie patronen **a**, **b** en **c**, terwijl de werkelijkheid uiteraard oneindig veel gecompliceerder kan zijn.

Uitgangspunt voor de simulatie in figuur 23 (rechts) is een samengevoegd perceel die vroeger bestond uit een iets lager gelegen perceel **a** met een hoofdgrondbewerking van gemiddeld  $35 \pm 7$  cm diepte en een aantal in het verleden gedempte ca. 60 cm diepe maaiveldgreppels (**c**, grijze dunne lijnen ingetekend in de panelen links). In het patroon zijn repeterende patronen te zien die veroorzaakt worden door opeenvolgende bewerkingsgangen. Perceel **b** kent een hoofdgrondbewerkingsdiepte van gemiddeld  $28 \pm 7$  cm met enkele diepere bewerkingssporen en ook een zekere mate van periodiciteit.

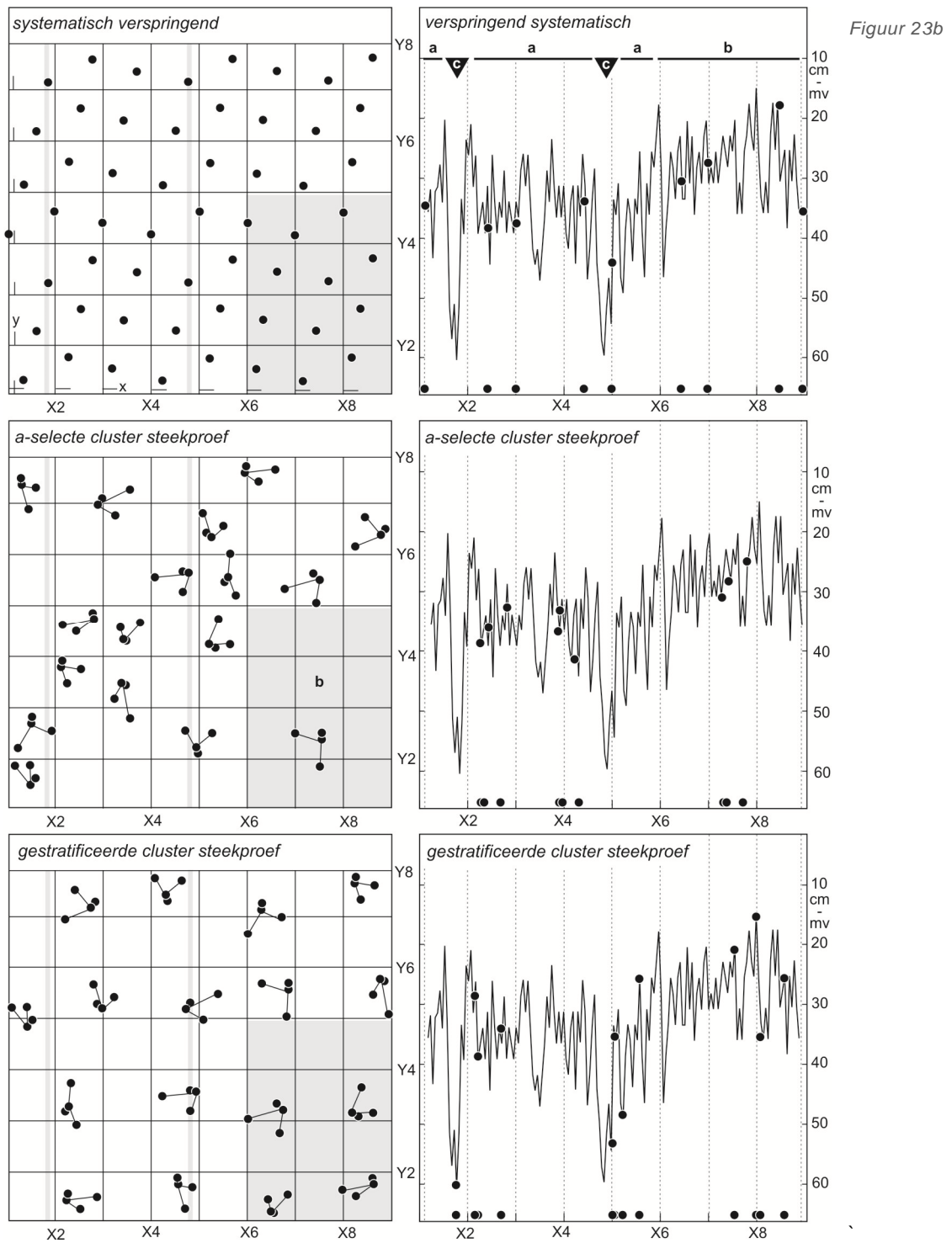
---

78 Brus & De Gruijter 1997; De Gruijter *et al.* 2006.

79 Bijvoorbeeld Brus & De Gruijter 1997; Verhoef 2002; De Gruijter *et al.* 2006; Biswas & Zhang 2018.

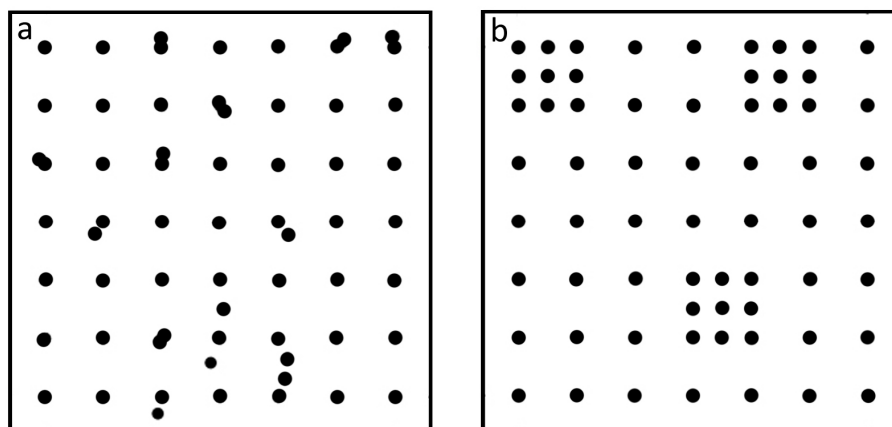


Figuur 23a en b. Vergelijking van zes verschillende steekproefrasters voor het schatten van ruimtelijke waarden uitgaande van telkens 68 waarnemingen per perceel. Links staat het steekproefraster. Rechts een gesimuleerde verdeling van bewerkingsdiepten op een samengevoegd perceel **a** en **b** (zie tekst). De punten zijn de waarnemingslocaties. In de panelen rechts zijn de waarnemingen geprojecteerd op de bewerkingsdiepte en op de X-as om een indruk te krijgen van het effect van het steekproefraster op de uitkomsten van de bepaling.



### Systematisch roostergrid

Onder een systematisch roostergrid wordt een steekproefraster verstaan waarbij de waarnemingspunten op een vierkant rooster of, zoals in het eerste model in figuur 23 getoond, gelijkzijdig driehoeksgrid liggen.<sup>80</sup> De waarnemingspunten liggen doorgaans op de snijpunten van het rooster of kunnen op een willekeurig bepaalde maar vaste afstand van het snijpunt komen te liggen (bijvoorbeeld door telkens 5 meter bij de x- en y-waarden van het snijpunt op te tellen). Een roostergrid wordt gezien als een vrij praktische methode om een perceel te onderzoeken waarover weinig of geen betrouwbare gegevens bestaan. In een driehoeksgrid zijn de afstanden tussen elk van de punten gelijk. Dit is ook meteen het gevaar van de methode. Als er repeterende patronen in het proefveld voorkomen (statistici spreken over periodiciteit), zoals het voorkomen van gedempte sloten of greppels op vaste afstanden, dan is de kans zeer groot dat deze gemist worden en dus niet in de steekproef terecht komen. Deze methode zal in deze gevallen de slechtste beschrijving opleveren. In de simulatie in figuur 23 komt de geschatte bodembewerkingsdiepte voor perceel **a** door periodiciteit te laag uit en die voor perceel **b** te hoog. Een roostergrid wordt daarom vaak aangevuld met waarnemingslocaties op kortere afstanden om het gevaar van gemiste onderliggende patronen weg te nemen (figuur 24).



Figuur 24. a: systematisch roostergrid met duploeringen op basis van 63 waarnemingen; b) verdicht systematisch roostergrid (7x7) met 3 clusters (3x3) op basis van 63 waarnemingen.

### Random sampling

Bij random sampling (volledig aselechte steekproef) hebben alle waarnemingslocaties binnen het perceel dezelfde kans om getrokken te worden, dat wil zegen dat de x en y volledig willekeurig worden gekozen. Een illustratie van random sampling is dat alle x en y coördinaten van de snijpunten van een 10x10 meter roostergrid als extra waarde een willekeurig cijfer krijgen (random getal, meestal tussen de 1 en 0) waarna de 25 hoogste waarden als waarnemingslocatie worden gebruikt. De steekproefgrootte (formaat roostergrid, aantal locaties) wordt vooraf vastgesteld, bijvoorbeeld afhankelijk van doel en middelen.

Het belangrijkste nadeel van random sampling is dat de waarnemingslocaties erg onregelmatig over het perceel verdeeld kunnen zijn. Sommigen liggen erg dicht op elkaar terwijl er grote gaten kunnen ontstaan. In de simulatie is te zien dat perceel (of vlak) **b** nauwelijks in de schatting wordt meegenomen maar dat de schatting van de bodembewerkingsdiepte voor perceel/vlak **a** waarschijnlijk goed zal uit-

80 In een vierkant roostergrid is er veel horizontale en verticale ruimte tussen de roosterpunten; in een gelijkbenig driehoeksgrid is er ruimte over beide diagonalen. Bij een gelijkbenige driehoeksgrid is echter sprake van de minste tussenliggende ruimte. Zie ook Tol et al. 2012, 17 e.v..



komen zij het met een behoorlijk grote standaardafwijking. Door toeval is greppel **c** geraakt. Nog steeds is het gevaar van periodiciteit niet geweken. Om de kans op een betere spreiding te vergroten zijn echter (veel) meer waarnemingen nodig zijn.

### *Gestratificeerd aselechte steekproef*

Dit is een variant op het roostergrid waarbij voor elke rastercel geldt dat de waarnemingslocatie volledig willekeurig wordt gekozen. De procedure is dezelfde als die voor het roostergrid zij het dat nu elke rastercel wordt opgedeeld in een groot aantal deelvakken waarna er een random selectie van één centrumcoördinaat plaatsvindt (die in de GPS wordt ingeladen). De x- en y-coördinaten van zo'n punt hangen dus niet af van de punten in de andere rastercellen. Met behulp van dit grid wordt een betere verdeling over het perceel bereikt terwijl de kans op het effect van periodiciteit kleiner wordt (maar nog steeds bestaat). De kans op twee dicht bij elkaar liggende punten blijft onverminderd groot. De gegevensset zal waarden en ook patronen beter representeren dan in de eerste twee steekproefrasters. Het is in algemene zin een goed werkend steekproefraster omdat het de variabiliteit vrij precies en nauwkeurig zal schatten en omdat het nog (min of meer) voldoet aan 'random sampling' wat de statistische berekeningen vereenvoudigd.<sup>81</sup>

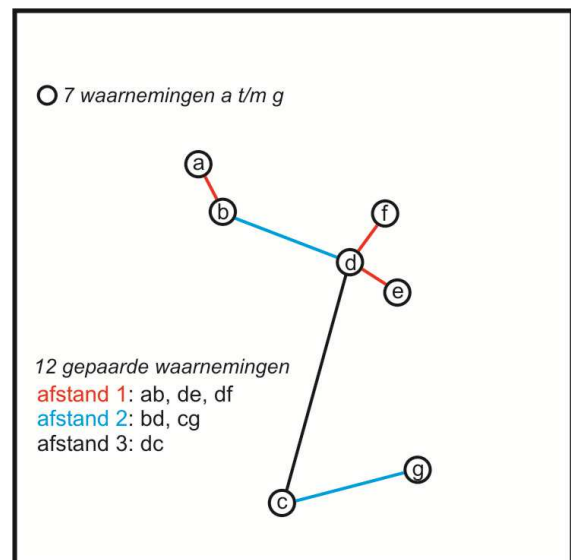
### *Systematisch verspringend grid*

Ook in het systematisch verspringend grid wordt uit elk van de kleinere deelvakken een centrumpunt gekozen maar dan niet op een willekeurige manier maar met een vast patroon. Er wordt voor elke rij van rastercellen een x-coördinaat geloot (met behulp van random nummers) die geldt voor alle punten in de rij. Voor elke kolom wordt een y-coördinaat geloot die geldt voor alle punten in de kolom. Met deze methode wordt de kans op twee dicht bij elkaar gelegen punten verkleind maar er is in mindere mate sprake van een aselechte keuze omdat er over de diagonaal toch een vast patroon ontstaat.

### *Willekeurig clustergrid*

Voor een clustergrid wordt eerst een random steekproefraster bepaald waarna een beperkt aantal van deze punten als eerste waarnemingspunt wordt uitgeloot. Vervolgens worden in willekeurige richting rondom een aantal waarnemingslocaties geloot waarvan de afstand tot het centrale punt een of andere hiërarchie vormen (100-10-1, of 24-12-6-3).<sup>82</sup> Dit worden 'geneste' genoemd. Het opdelen van een rooster in (steeds) kleinere deelvakken is hier een voorbeeld van. Door combinatie van waarnemingen op verschillende afstanden (gepaarde waarnemingen, figuur 25) kan de variabiliteit op verschillende ruimtelijke schalen worden onderzocht.

*Figuur 25. Voorbeeld van een cluster met 7 geneste waarnemingen a t/m g met in totaal 12 paren.*



81 Brus et al. 2011.

82 Bijvoorbeeld Webster 1977.

Clustersteekproeven worden vaak als herkenningstechniek gebruikt, bijvoorbeeld om uit te zoeken of er discrete ruimtelijke schalen of patronen in een gebied aanwezig zijn die elk op een ander schaalniveau opereren.<sup>83</sup> Clustersteekproeven worden vaak gecombineerd gebruikt met andere steekproefrasters. Het voordeel van deze techniek is dat de bijdrage van de verschillende schaalniveaus aan de totale variabiliteit kan worden berekend. Op basis van deze gegevens kan dan een optimale waarnemingsdichtheid (en soms waarnemingsrichting) worden bepaald. Zie paragraaf 4.6.2 voor een uitwerking.

De voordelen van de methode zijn dus die van patroonherkenning en optimalisatie. Het nadeel van de in figuur 23 getoonde clustersteekproef is dezelfde als die bij random sampling; de waarnemingslocaties kunnen erg onregelmatig over het perceel verdeeld komen te liggen. Sommige clusters liggen erg dicht op elkaar terwijl er grote gaten kunnen ontstaan. Een nadeel is verder dat er een relatief geringer oppervlak daadwerkelijk kan worden onderzocht. De kans dat de greppels geraakt worden is dan ook klein.

Overigens is niet iedereen het erover eens dat de geneste waarnemingen steeds in een willekeurige richting worden gedaan. Wanneer er een patroonmatige trend in het perceel aanwezig is, zijn willekeurige richtingen misschien contraproductief. Zelfs wanneer er geen trend of patroon op voorhand bekend is, kan een keuze voor twee haakse richtingen, of drie onder een hoek van 60 graden, of vier onder een hoek van 45 graden, een optimaler resultaat geven. Het probleem met willekeurige richtingen ligt in het feit dat er wellicht teveel waarnemingen haaks op een trend of parallel aan een patroon komen te liggen, en dus weinig informatief meer zijn. In het geval van agrarische bodembewerkingen is het goed om hier rekening mee te houden. Zie hieronder onder 'transectengrid' (figuur 27).

#### *Gestratificeerde clustersteekproef*

Dit is dezelfde steekproefmethode als het willekeurig clustergrid met als enige uitzondering dat de afstand tot de individuele clusters min of meer evenwichtig verdeeld wordt. Dat kan door uit de snijpunten van bijvoorbeeld een gelijkbenig driehoeksgrid 4 punten te kiezen, zodanig dat de afstand tussen de eerste clusterpunten 50 meter is. Het voordeel is, naast de eerder aangehaalde patroonherkenning en optimalisatie, een ruimtelijk beter verdeelde clusterwaarnemingen dan in het geval van een niet-gestratificeerde clustersteekproef. Het nadeel blijft bestaan dat grotere delen van het perceel niet gekarteerd worden. Dit nadeel kan worden weggenomen door steekmethoden te combineren (paragraaf 4.6). De gestratificeerde clustersteekproef is uitgewerkt in paragraaf 4.6.3.

Wanneer er informatie over bewerkingsrichtingen bestaat (bijvoorbeeld op basis van historische informatie), of kan worden afgeleid uit zoiets praktisch als een langgerekte vorm in het perceel of de oriëntering van sloten, dan kan er wél in een vooraf bepaalde richting worden gemonsterd. Het is dan wel belangrijk om de richting(en) met de grootste variantie te bestrijken, dus bij voorkeur haaks op een trend of patroon figuur 27.<sup>84</sup>

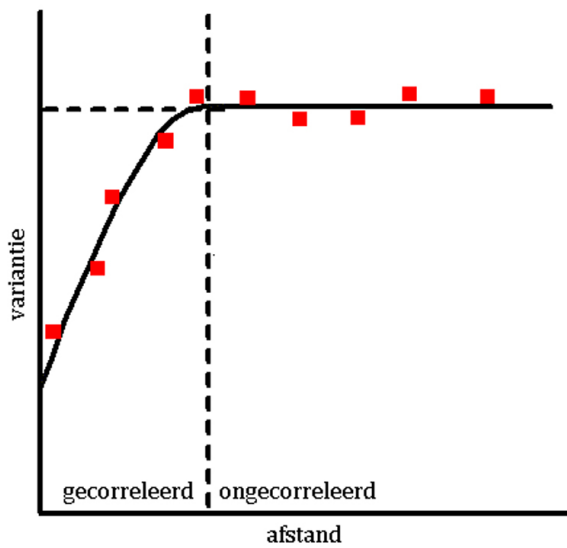
Een specifieke uitwerking van clusterdata (of transectendata) is de bepaling van het variogram. Deze grafiek zet de variantie uit tegen de waarnemingsafstand waarna bepaald kan worden in hoeverre er gecorreleerde patronen in de bodembewerkingsdiepten voorkomen en met welke afstand (figuur 26).

---

83 Webster & Lark 2012.

84 De Gruijter *et al.* 2006.

Dit is een geostatistische techniek om de optimale waarnemingsdichtheid te bepalen en wordt onder andere uitgelegd in Davis 2002, Kerry & Oliver 2003 en De Gruijter *et al.* 2006, hoofdstuk 9.

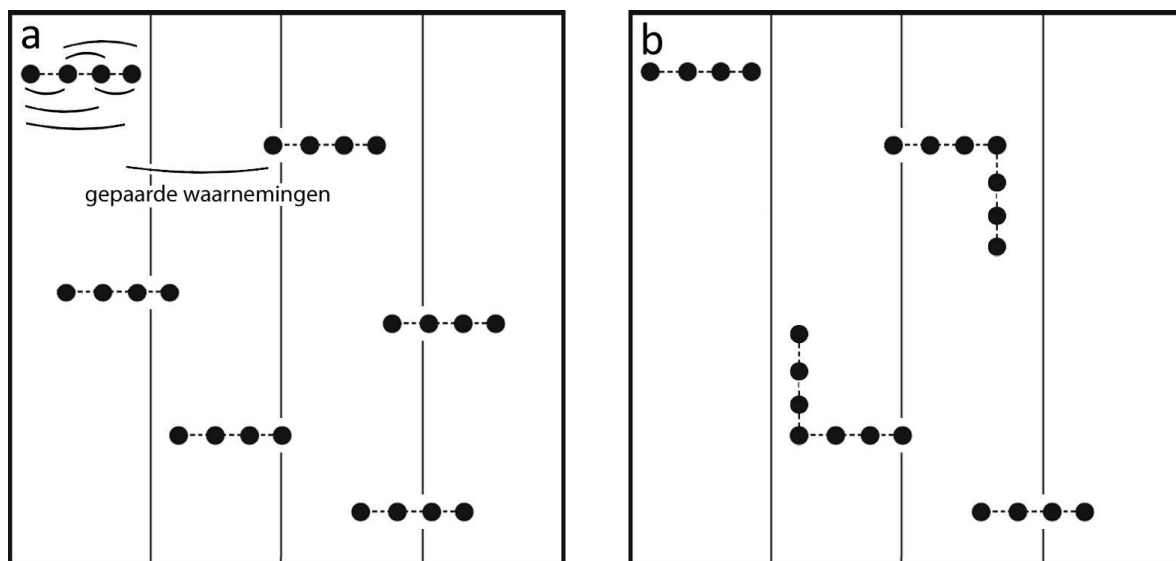


Figuur 26. Een variogram met een gecorrleerd deel van de variantie (afstanden tot de stippellijn) en een niet gecorrleerd deel (rechts van de stippellijn). De stippellijn geeft de zogenaamde 'range' aan welke bijvoorbeeld kan worden gebruikt om monsterafstanden te bepalen.

#### Overig: het transectengrid

Wanneer het doel van de steekproef is om langgerekte patronen te beschrijven kan, wanneer de oriëntatie bekend is (bijvoorbeeld op aangeven van de landeigenaar, uit historische bronnen of door een slootkantinspectie), gekozen worden voor het zogenaamde transectengrid. In een transectengrid worden de waarnemingspunten op een doorgaande lijn geprojecteerd waarbij de onderlinge afstand een functie is van het patroon/trefkans (bij gedempte sloten is de afstand dan de helft van de slootbreedte,  $d = \frac{1}{2}P$ ), bij voorkeur haaks op de lange as (figuur 27a). Ook deze punten kunnen als een cluster worden opgevat waarbij de varianties van gepaarde waarnemingen op vaste afstanden kunnen worden berekend.<sup>85</sup> Dit kan ook op een geneste manier worden gedaan met intervallen tussen de punten oplopend van bijvoorbeeld 0.2, 1, 5 en 25 meter. In dit geval is het een speciale vorm van een clustersteekproef omdat voorkennis over de oriëntatie van patronen in het model wordt ingevoegd. Zie figuur 27a voor een voorbeeld van een geclusterd transectengrid opgebouwd uit 6 transecten met 4 elk waarnemingen (24 waarnemingen met in totaal 72 gepaarde waarnemingen).

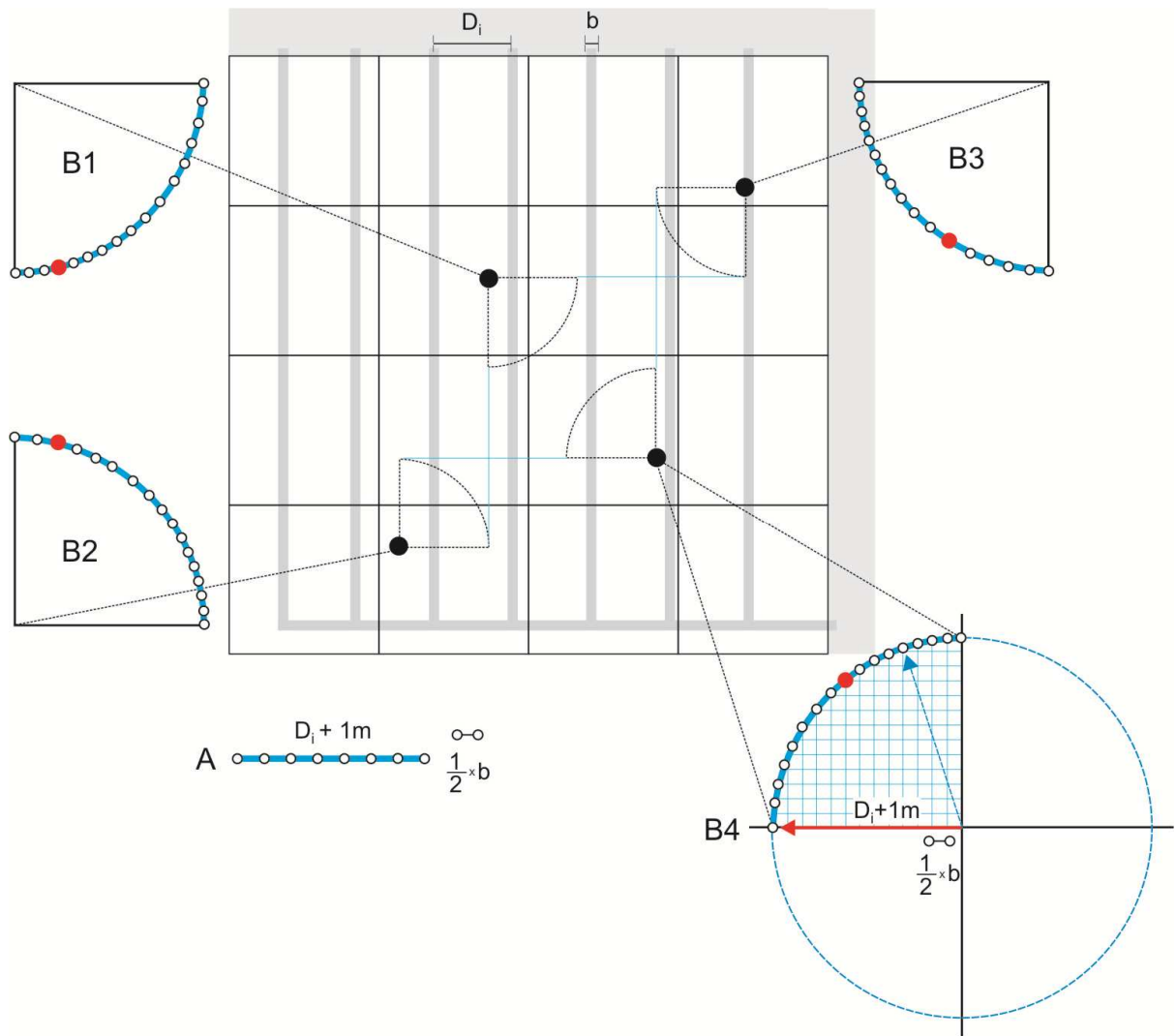
85 De Gruijter & Marsman 1985.



Figuur 27. Twee voorbeelden van gestratificeerde clustergrids van gepaarde waarnemingen (accolades) waarbij de richting van de transectengrids wordt bepaald door het voorkomen van patronen (rechter paneel: van boven naar beneden, linker paneel: in twee haakse richtingen).

#### Overig: sweepsearch

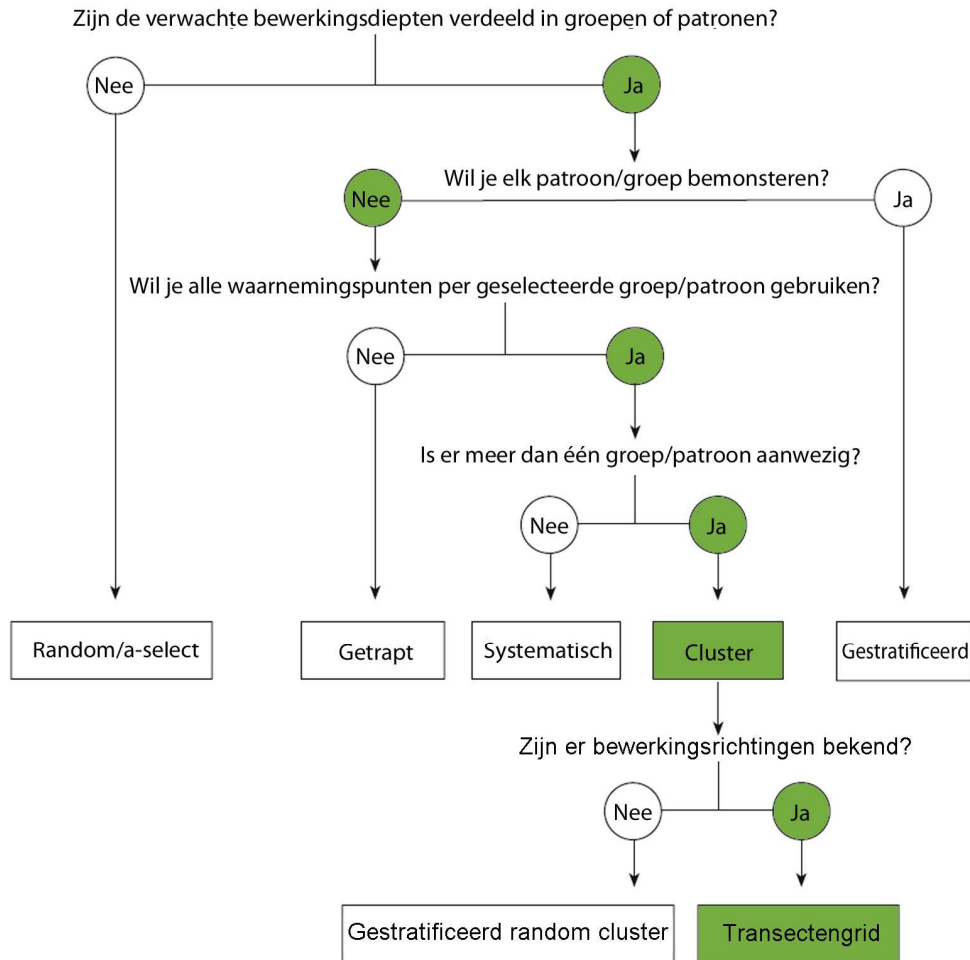
Wanneer er een vermoeden van systematische patronen bestaat, zoals oude drainagesleuven, gedempte maaiveldgreppels of plantgaten, waarvan de oriëntatie niet bekend is dan kan een *sweepsearch* een goede methode zijn. Dit is een meer efficiënte variant van het in verschillende richtingen over het perceel te leggen van een transectengrid. Bij het in verschillende richtingen aanleggen van een transectengrid moet de afstand tussen de waarnemingen ten opzichte van omvang van het patroon (voor de hoogste trefkans de lengte van de korte as) nog steeds ongeveer de helft zijn. Dit betekent dat bijzonder veel waarnemingen nodig zijn. Voor dichtgeschoven greppels en oude sloten kan in het geval van onbekende oriëntaties beter een zogenaamde *sweepsearch* worden uitgevoerd (figuur 22B). Dit vermindert het aantal benodigde waarnemingspunten voor een systematische opname sterk. Kanttekening daarbij is dat eventueel aanwezige oude drainagebuizen mogelijk makkelijker en effectiever met de grondradar kunnen worden opgespoord.



Figuur 28. A: toepassing van een transectengrid; B: toepassing van een sweepsearch **B1** t/m **B4**. **D** is de afstand tussen repeterende patronen (zoals gedempte sloten) en **b** is de breedte van (in dit geval) de sloot.

Voor een sweepsearch worden op vier punten (of meer) in het perceel waarnemingen gedaan op vaste afstanden van dit punt waarbij de waarnemingen gezamenlijk een cirkel vormen. De twee assen van de kwarten wijzen daarbij in dezelfde richting. De afstand tussen de middelpunten is tweemaal de (verwachte) minimale afstand tussen de repeterende patronen. De straal bedraagt dan 1 maal de verwachte (minimale) afstand. Belangrijk is verder dat de assen op elkaar aansluiten om gaten in opname te voorkomen. De afstand **a** tussen waarnemingslocaties wordt aangepast aan de breedte van het patroon ( $a = 1/2b$ ). Wanneer bijvoorbeeld naar gedempte maaiveldgreppels van  $a = 1,5$  meter breed wordt gezocht die met een afstand **D** van 15 tot 20 m werden gegraven zijn per kwartcirkel 31 bepalingen nodig (in totaal 125). Het aantal kwartcirkels is afhankelijk van het doel. Voor een regelmatig plantgatengrid volstaat 1 kwartcirkel met een beperkte straal.

Een volledige sweepsearch is intensief en feitelijk een aangepaste vorm van een transectengrid. Het enige doel is om de omvang en richting van fijschalige patronen en richtingen van (veelal) diepere groundbewerkingen vast te stellen. Wanneer twijfel bestaat over de waarnemingskans (het 'contrast' tussen de diepere bodembewerking en de omliggende bodem is klein, of omdat er ook veel archeologische sporen verwacht worden) kan ook voor een beperkt machinaal proefsleuvenonderzoek worden gekozen. In proefsleuven kan zowel het vlak als de coupure bestudeerd worden.<sup>86</sup>



Figuur 29. Beslisboom voor het kiezen tussen veel gebruikte steekproefrasters met een voorbeeldkeuze voor agrarische percelen (naar De Gruijter et al. 2006, fig. 7.1).

86 Zie daartoe Borsboom & Verhagen 2009 (geactualiseerd 2012).

## 4.3 De keuze van waarnemingswijze

### 4.3.1 Profielkuil

Een profielkuil biedt de mogelijkheid om eigenschappen en aspecten van de bodembewerking op een perceel te bepalen die anders niet duidelijk worden of niet in beeld komen (figuur 30).<sup>87</sup> Het biedt naast meetmogelijkheden op relatieve korte afstanden eveneens de mogelijkheid van een visuele beoordeling. De verschillende aanzichtkanten van een gegraven profielkuil kunnen inzicht geven of een mogelijke verstoring - ook dwars op het profielvlak - dieper of breder zich ook voordoet. Bodembewerkingsprofielen kennen verder soms een grillige verloop (figuren 7 en 20) wat vooral in profielkuilen goed zichtbaar wordt. Ook kan er direct onder de bouwvoor een archeologisch spoorniveau voorkomen, wat vaak alleen zichtbaar wordt bij het uitgraven van de profielkuil. Verder bestaat er de mogelijkheid voor aanleg van tussenvlakken. Ook de samenstelling van de verstoring (homogeniteit, grootte en samenstelling bodembrokken, dateerbaar materiaal) is in de profielputten veel beter te bepalen dan in bijvoorbeeld (steek)boringen. Hetzelfde geldt voor laaggrenzen (scherp/difffuus; recht/kartelig/ onregelmatig) en de exacte diepte. Daarnaast is een transparantere verslaglegging mogelijk dan bij boringen.



*Figuur 30. Lage Mierde 1. Vlak op 35 cm -mv (26,88 m NAP) in put 2. De pijl wijst naar het noordwesten (uit: Lascaris & De Kort 2017).*

Er is geen voorgeschreven grootte van een profielkuil maar een kuil die tot doel heeft om de bodembewerkingsdiepte(n) te beoordelen is al snel twee a drie spaden (50-75 cm) diep (en zoveel minder tot in ieder geval de onverstoorde bodem zichtbaar is) en 75 bij 75 centimeter groot. In geval van twijfel hoe de bodem is bewerkt, kan de put ook nog worden verbreed of verdiept. Diepploegen kan wel tot 1,5 m diepte hebben plaatsgevonden, net als geldt voor sloten (1,5 tot 2 m diep) en archeologische sporen (zoals waterkuilen). Omdat het uitgraven van 280 tot 420 liter grond tijdrovend is, is een zorgvuldige keuze van de plek erg belangrijk. De plek moet echter wel representatief zijn voor wat men wil onderzoeken en passen in een vooropgezet waarnemingsgrid/ -plan (zie paragraaf 4.2.2). Verder is het altijd goed om het veldwerk te beginnen met een slootrandinspectie om eventuele gedempte oudere sloten en vooral drainagebuizen te kunnen lokaliseren (en de diepten en afstanden in te meten). Bij hogere waterstanden kan een prikstok gebruikt worden. Profielkuilen leveren vooral zinvolle (detail)informatie

<sup>87</sup> Koopmans, Zanen & Ter Berg 2005; Ten Broeke 2012; Lascaris & De Kort 2017.



over de aard van de profielopbouw maar minder over de grotere patronen daarin en dienen dus bij voorkeur gecombineerd te worden met een omvangrijker (steek)booronderzoek.

### *Te observeren aspecten van het bodembewerkingsprofiel*

Bij het bestuderen van een profielkuil kunnen de volgende bodemeigenschappen worden geobserveerd en beoordeeld in voor- en zij aanzicht:

1. kleur van de lagen en overgang tussen de lagen;
2. aanwezigheid en verteringsgraad van ondergewerkte gewasresten;
3. textuureigenschappen van de lagen (conform NEN-EN-ISO 14688-1);
4. mate van verkrumming/rijping/verbrokkeling;<sup>88</sup>
5. mate van compactie/verdichting/versmering;
6. aanwezigheid van natuurlijke bodemverschijnselen, zoals hydromorfe kenmerken (roestvlekken), in- of uitspoelingsverschijnselen etc.;
7. aanwezigheid van archeologische lagen/sporen;
8. aanwezigheid van sedimentaire gelaagdheid;
9. diepte van de hoofdgrondbewerking (lagen I en II);
10. diepten waarop geen bodemkering of bodemmenging meer zichtbaar is.

Vooraf op een pas geploegd perceel is het maaiveldreliëf grillig en voor een goede en consequente dieptebeoordeling is een duidelijke grondslag noodzakelijk, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een meetlijn of meetlat. Deze moet waterpas worden aangebracht en de hoogte moet worden ingemeten (ter latere referentie en omrekening). Tevens dient een gemiddelde maaiveldhoogte te worden bepaald door het aandrukken van de bovengrond (indien noodzakelijk), bijvoorbeeld met een lat. De bewerkingsdiepte wordt in beide aanzichten op meerdere locaties bepaald met een nauwkeurigheid van ca. 2 cm ten opzichte van de grondslag.

### *Te verzamelen informatie*

De resultaten van een profielbeoordeling kunnen worden verzameld op een invulformulier waarop de beoordeelde eigenschappen per bodemlaag worden vastgelegd. Ter documentatie, latere aanscherping en/of controle dient een foto van het opgeschaafde profiel met grondslag, identificatienummer (bordje) en maatstok met centimeter-aanduiding in twee aanzichten te worden gemaakt. Deze foto wordt niet en (na interpretatie) wel ingekrast genomen.

Het is verstandig om per profielkuil opvallende terreinkenmerken te noteren zoals reliëfkenmerken (laagten, hoogten), bodemkenmerken (droog, nat, kleur) en gewaskenmerken (gewastype, verschillen in groei, etc.). Deze kenmerken kunnen wijzen op trends/patronen in het onderliggende bodembewerkingsprofiel. Zo kan een perceel opvallend vlak voorkomen en is dan waarschijnlijk glad gemaakt met behulp van een kilverbak.

### **4.3.2 Steekmonsterboor**

Een ongestoord monster van het bodemprofiel kan in veel gevallen op een eenvoudige wijze worden verkregen met behulp van een eendelige gutsboor, ook wel *steekmonsterboor* of *landbouwboor* genoemd (figuur 31). Het boorlichaam van deze steekboren is nagenoeg half cilindrisch, met van boven naar beneden lopende, evenwijdige snijkanten. Met een werkzame monsterlengte van 50 tot 100 cm en een diameter van 30 mm of meer kan zo een smalle strook uit de ondergrond worden gestoken. Deze

---

88 Zie bijvoorbeeld Koopmans, Zanen & Ter Berg 2005.

kan daarna over de lengte kan worden opengesneden om de verschillende ongestoorde bodemlagen te bestuderen. Wanneer vanwege de compactheid van de bodem niet tot in de onbewerkte ondergrond kan worden gestoken kan een conische *Purckhauer-gutsboor* met een interne diameter van 18 mm voor zeer harde gronden in combinatie met een nylon hamer gebruikt worden. Door zijn conische vorm ondervindt de Purckhauer-gutsboor een lagere wrijvingsweerstand in de bodem.



*Figuur 31. Guts- of steekmonsterboor.*

Wanneer het nemen van een steekmonster tegenvallende resultaten oplevert, bijvoorbeeld omdat tijdens het omhoog trekken van de steekboor een deel van het gestoken profiel niet mee omhoog komt (zeer verdroogde grond) kan een edelmanboor met een diameter van 7 cm worden gebruikt. Belangrijk bij het interpreteren van het opgeboorde materiaal is dat door de vorm van de boorkop de mate van gestoordheid horizontaal naar buiten toe af neemt. Alleen de kern is

totaal verrommeld. Verschil met een steekmonster is dat een edelman schuin insnijdt zodat je alleen de zijkant van de onderste helft van de boorkern betrouwbare informatie oplevert over de horizontgrenzen. De boorkernen moeten goed worden bijgesneden en de diepte gecontroleerd door de lege boor in het boorgat terug te steken.

Het voordeel van de beide boormethoden is dat er veel verspreid liggende waarnemingen in korte tijd kunnen worden gedaan; het nadeel is dat niet alle bodemhorizonten of bewerkingen even goed 'leesbaar' worden in het aanzicht (gutsboor) of in het opgeboorde bodemmateriaal (edelmanboor). Doordat bijvoorbeeld bij mengwoelen en mengploegen een relatief grove vermenging wordt verkregen, is de werkelijke diepte van grondbewerking niet altijd direct in de boor of guts herkenbaar. Bij menging met de mengrotor treedt er een veel betere menging op waarbij een gelijkmatige profielopbouw ontstaat. De begrenzing van de werkdiepte is in dit geval wel goed in de boor te bepalen. Ook bij het diepe cultiveren met een tandeg treedt maar lokaal een verstoring op. Verder zal het zo zijn dat bij het aanleggen van een vlak onder de bouwvoor in de profielkuilen sporen van bodembewerking aan het licht komen die in boringen niet herkenbaar zijn of die niet worden 'geraakt'.

Voor de te observeren aspecten van de bovengrond, zie paragraaf 4.3.1.

### **4.3.3 Correctie van de testgegevens**

De gegevens voor het toetsen van de bodembewerkingsdiepten binnen een perceel zijn gebaseerd op schattingen in het veld. De geschatte waarden bevatten zowel toevallige als systematische schattingsfouten van de desbetreffende veldwerker. Als de gegevens een schattingsfout bevatten, zullen de resultaten van het toetsen daardoor worden beïnvloed. Ter bepaling van de systematische schattingsfouten kunnen de bewerkingsdiepten op verschillende locaties enkele malen 'in duplo' worden nagemeten.

## **4.4 Hoeveel is genoeg?**

### **4.4.1 Algemeen**

In het voorgaande zijn factoren genoemd die de plaatskeuze van de waarnemingspunten beïnvloeden: black box, probabilistisch, homogeen verdeeld, inhomogeen verdeeld, patroonmatig etc. Deze factoren zijn ook van invloed op de waarnemingsdichtheid. Ze kunnen aanleiding zijn om binnen een perceel of gedeelten daarvan met een grotere of geringere waarnemingsdichtheid te werken. De variatie in dicht-

heid is mede afhankelijk van de (verwachte) variabiliteit en de patronen binnen het perceel. Ook waar het gaat om de (variatie in) waarnemingsdichtheid speelt bij de keuze de aanwezige voorkennis een belangrijke rol.<sup>89</sup> Naast statistische precisie kan ook een aantal andere criteria gebruikt worden zoals intuïtie, kostenbeperkingen en ervaringscijfers. Het is dan wel verstandig om later na te (kunnen) rekenen hoe betrouwbaar de uitkomst is. Veelal geldt dat de kosten de beperkende factor zijn voor het aantal waarnemingen.

#### 4.4.2 *Regelmatig verdeelde bewerkingsdiepten*

Op basis van de juiste voorkennis (bijvoorbeeld gegevens aangeleverd door de landeigenaar) kun je in een beperkt aantal situaties uitrekenen welke minimale steekproefomvang (aantal waarnemingen) nodig is om de aangegeven bodembewerkingsdiepten op een betrouwbare manier te verifiëren.<sup>90</sup> Daarvoor gelden enkele voorwaarden:

1. de variatie aan bodembewerkingsdiepten moet continu zijn (zoals veel teellagen). Patronen bovenop deze variatie mogen niet voorkomen. Zie figuur 39 op pagina 63 voor een voorbeeld;
2. Verder moet je van tevoren een idee hebben over de standaardafwijking van de gemiddelde bewerkingsdiepte op een perceel. Deze zal lang niet altijd bekend zijn maar je mag ze schatten, bijvoorbeeld uit de gegevens zoals verzameld door Lascaris & De Kort 2017 (tabel 3);
3. Meer vrijblijvend maar niet onbelangrijk is dat je kiest welke afwijkingen je accepteert (het betrouwbaarheidsinterval (bijvoorbeeld tussen de 25 en 35 cm));
4. Welke kans op een foute interpretatie vindt je acceptabel? Hoe zeker wil je zijn van de beschrijving? Wil je 60% zeker zijn over de uitkomst of 99%? In de onderstaande rekenformule wordt dit berekend aan de hand van de Z-waarde van een standaardnormaalverdeling (te vinden in de meeste statistiekboeken).

De vrij eenvoudige formule is:

$$\text{aantal waarnemingen} = \left(\frac{z}{e}\right)^2 \times \sigma^2 \quad (1)$$

Waarbij

e = de gewenste nauwkeurigheid, bijvoorbeeld 5 of 10 cm

$\sigma^2$  = is de (geschatte) standaardafwijking van het gemiddelde.

z = de z-waarde van de standaardnormaalverdeling horend bij gewenste betrouwbaarheid (figuur 32). De z-waarde is af te lezen uit een statistische tabel voor z-waarden. Bijvoorbeeld het 97,7% betrouwbaarheidsinterval (oftewel 48,85% aan beide zijden van het gemiddelde) heeft een z-waarde van 2 en 68,2% (34,1) heeft een z-waarde van 1.

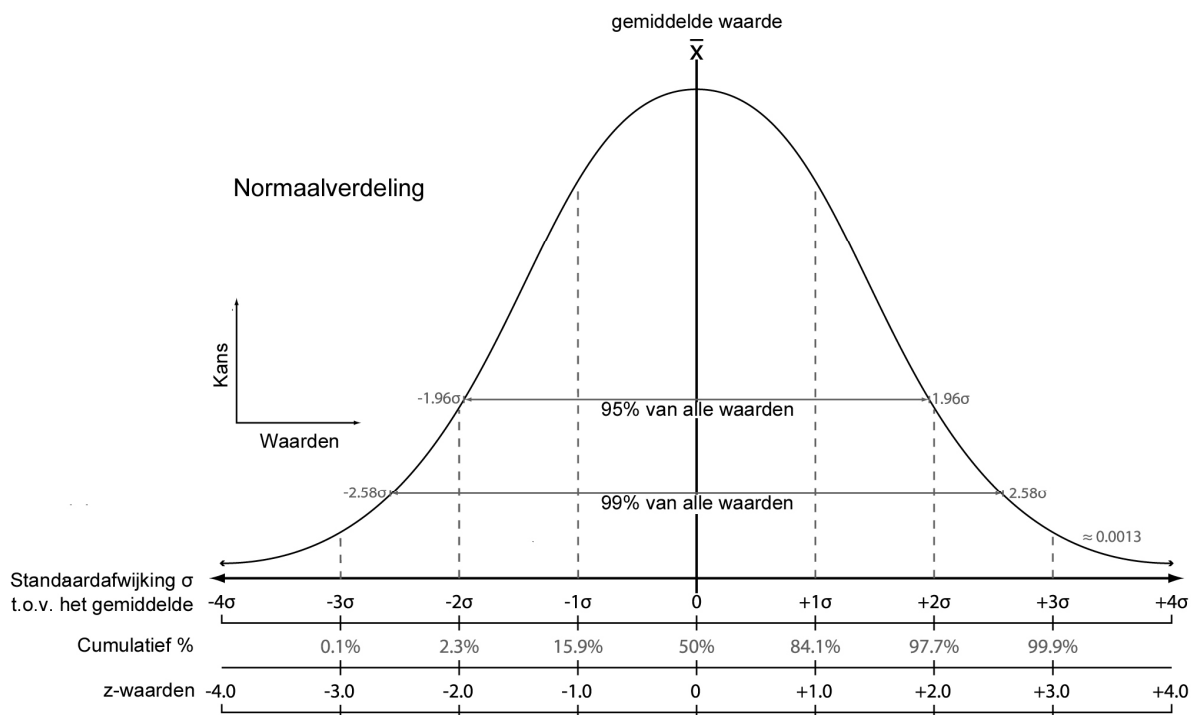
Dus om een opgegeven bewerkingsdiepte tussen 40 en 30 cm (gemiddeld 35 cm) te verifiëren waarvoor de schatting voor de standaardafwijking ongeveer 10 cm bedraagt moet je tenminste 16 aselecte waarnemingen doen om dit met een betrouwbaarheid van 95% (z-waarde = 2) vast te kunnen stellen.

$$16 = \left(\frac{2}{5}\right)^2 \times 10^2 \quad (1)$$

---

89 De Gruijter *et al.* 2006.

90 Bijvoorbeeld Rep 1999.



Figuur 32. z-waarden aangegeven op een normaalverdeling.

Mocht je genoeg nemen met een betrouwbaarheid van 68% dan hoef je maar 4 waarnemingen te doen. In het geval van Pingjum en Lage Mierde (tabel 4 met een lage scheefheid en lage variantie) is de steekproefomvang voor de teellaag  $D_b$  zelfs aan de hoge kant geweest. Voor de diepere lagen  $D_g$  is deze onvoldoende geweest voor een representatieve schatting, maar voor deze groep waarden is niet voldaan aan de voorwaarde voor een continue en homogene verdeling. Je kunt de formule (1) hier niet op toepassen.<sup>91</sup>

Of de gevonden bodembewerkingsdiepten willekeurig verdeeld zijn volgens de normaalverdeling met overal dezelfde gemiddelde waarden (zoals de formule vereist) kan beoordeeld worden door de scheefheid van de verdeling uit te rekenen (zie ook tabel 3) of de zogenaamde *kurtosis* (platheid van de verdeling). Er zijn daarnaast ook diverse grafische methoden, zoals het vergelijken van het histogram van bewerkingsdiepten (zoals in figuur 14) met de normaalverdeling en homogeniteitstests.<sup>92</sup> Zie verder onder homogeniteitstest in paragraaf 4.5 voor een uitwerking.

### Toetsing van het verspreidingspatroon

Het belangrijkste nadeel van formule (1) is dat de rekenregel uitgaat van een homogene en vrij vlakke bewerking. In de praktijk zullen bodembewerkingsdiepten inhomogeen zijn door het voorkomen van allerlei trends (bewerkingsdiepte nemen toe naarmate het terrein lager ligt) of patronen (sporen van decompacteren, regelmatig gedempte sloten en greppels, drainagesleuven etc.).

91 Zie ook De Gruijter *et al.* 2006, par. 3.7.

92 Zie bijvoorbeeld [https://en.wikipedia.org/wiki/Normality\\_test](https://en.wikipedia.org/wiki/Normality_test)

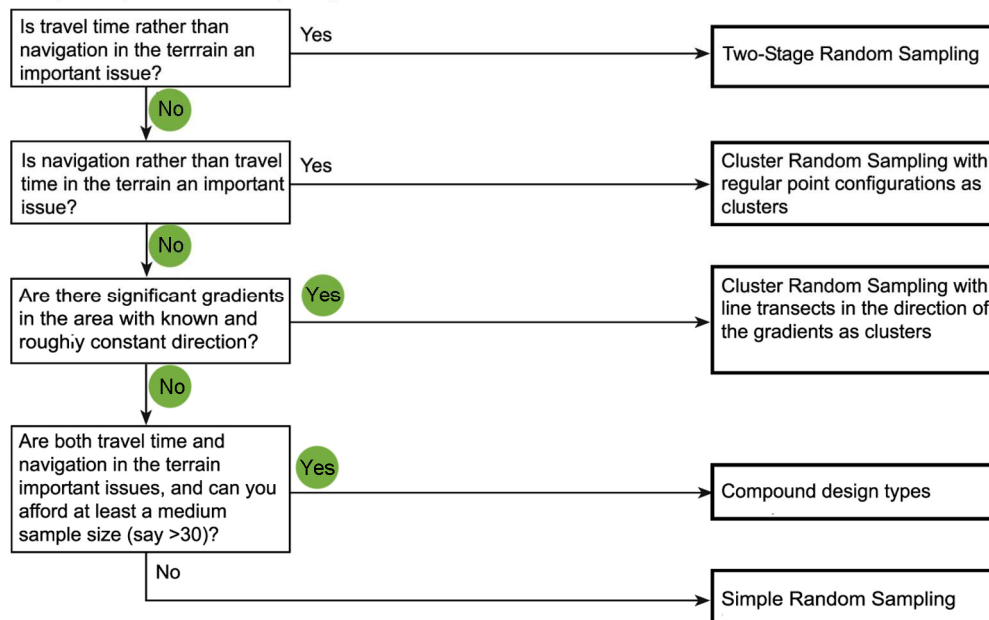
#### 4.4.3 Onregelmatig verdeelde bewerkingsdiepten

Voor onregelmatig verdeelde bewerkingsdiepten, dat wil zeggen percelen met trends of met bodembewerkingspatronen, is het lastig om *a-priori* uit te rekenen wat het meest doelmatige aantal monsters moet zijn om een representatieve steekproef te krijgen. Daarvoor ontbreekt het vaak aan (statistische) gegevens. Er zijn echter verschillende methoden om toch een optimaal resultaat te boeken.<sup>93</sup> Wanneer tijd en geld de limiterende factoren zijn (wat bijna altijd zo is) dan is het belangrijkste probleem dat je tegelijkertijd zowel de optimale waarnemingsdichtheid (aantal monsters) als het optimale waarnemingspatroon (het steekproefraster) wilt vinden (figuur 33).

Een vaak gekozen praktische oplossing voor dit probleem is om allereerst te gaan voor het verzamelen van kwalitatief goede statistische data in een kleine homogene subset ('*quality maximization*') om vervolgens deze kennis toe te passen bij het berekenen van een minimale steekproefgrootte (waarin de betrouwbaarheidseisen tot uitdrukking komen) en de vorm van het steekproefraster op de rest van het terrein. Dit worden ook wel samengestelde steekproefrasters genoemd ('*compound design types*') waarbij geneste samensmelting plaatsvindt van twee of meerdere steekproefmethoden.<sup>94</sup> Belangrijk is dat de voordelen van de methoden worden uitgebuit en de nadelen door combineren zoveel mogelijk afgezwakt.

Een voorbeeld is het uittesten van een gestratificeerde clustersteekproef op twee willekeurig gekozen locaties binnen een driehoeksgrid (zie paragraaf 4.2.2) om patronen te herkennen en om de monsterdichtheid te optimaliseren waarna een steekproefgrootte kan worden geschat voor de rest van een gestratificeerd a-select grid. Dit vereist wel dat een deel van de statistiek in het veld wordt bepaald en geanalyseerd (dit vereist enige kennis van zaken) waarna een nieuw steekproefraster kan worden berekend en ingevoerd in de GPS. Zie figuur 39 en figuur 40 voor een praktische uitwerking.

**Aim: primarily costreduction by design**



Figuur 33. Beslisboom voor het kiezen van een steekproefopzet wanneer de middelen beperkt zijn. Twee keuzevoorbeelden zijn aangegeven. 'Cluster random sampling with regular point configurations' is het zelfde als een gestratificeerde clustersteekproef (naar De Gruijter et al. 2006, fig. 7.5).

93 De Gruijter et al. 2006, par. 5.2.1.

94 De Gruijter et al. 2006, 76/77.

## 4.5 Analyse van de variabiliteit van bodembewerkingsdiepten

### 4.5.1 Aan- of afwezigheid van patronen/trends

Om de aan- of afwezigheid van patronen/trends van bodembewerkingen binnen een perceel te testen kan op de eerste plaats gebruik gemaakt worden van grafische methoden. Zo kunnen de puntwaarnemingen met hun bijbehorende bodembewerkingsdiepten op een kaart gezet worden – al dan niet uitgesplitst naar verschillende niveaus (I/II, III, IV) – en worden bestudeerd op trends/patronen. Ook kunnen waarden binnen verschillende deelgebieden geselecteerd worden in subsets (of bijvoorbeeld alle waarnemingen behorend bij één cluster, zie figuur 28B) waarna er voor elke subset de variantie  $S^2$  wordt uitgerekend:<sup>95</sup>

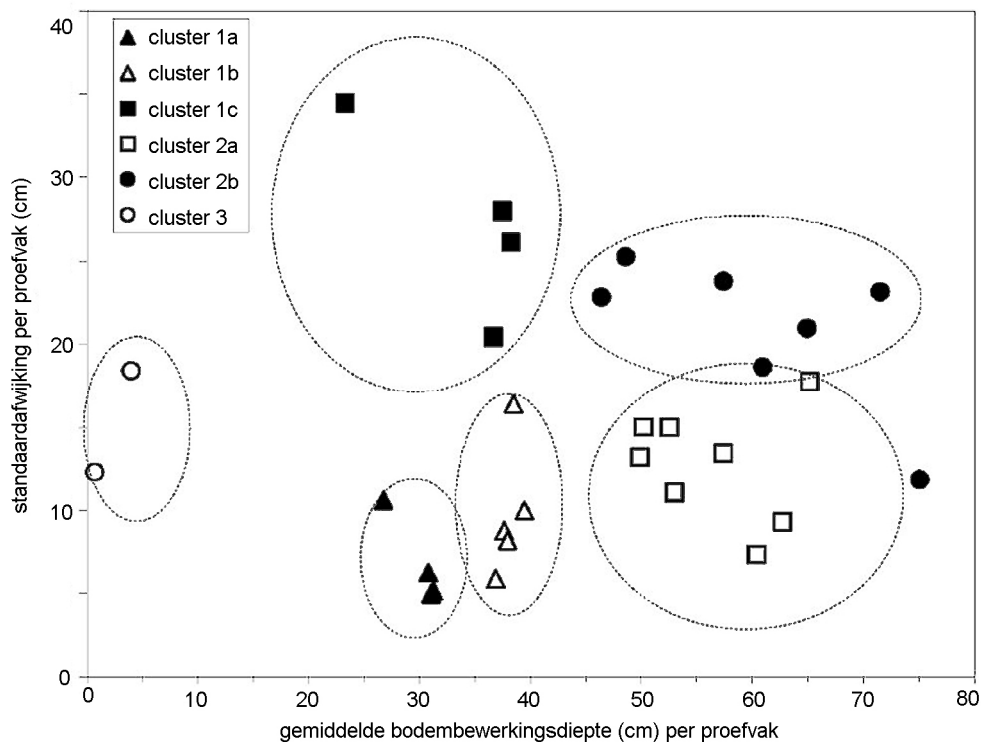
$$S^2(\bar{x}) = \frac{\bar{x}i(1-\bar{x})}{n_i} \quad (2)$$

waarbij

$\bar{x}$  = de gemiddelde waarde  $x$  voor de subset

$n$  = aantal waarnemingen in de subset

De vierkantswortel van de variantie ( $\sqrt{S^2(\bar{x})}$ ) geeft dan de maat voor de standaardafwijking  $S$  voor elke meetwaarde binnen deze subset. Ook deze standaardafwijkingen kunnen bij de puntwaarnemingen op een kaart vermeld worden naast de meetwaarden zelf. Ook dit geeft al snel een visuele indruk van eventuele patronen tussen subsets. Een andere mogelijkheid om de verschillen tussen subsets inzichtelijk te maken is door per subset de gemiddelde bodembewerkingsdiepte in een grafiek uit te zetten tegen de standaardafwijking. Dit is bijvoorbeeld gedaan bij het onderzoek naar bosbodempverstorings in het Speulderbos (figuur 34).



Figuur 34. Gemiddelde bodempverstoringsdiepte per proefvak uitgezet tegen de standaardafwijking per proefvak. Op basis van de afstand tussen de verschillende proefvakken in de grafiek kunnen de proefvakken in een cluster geplaatst worden (uit: Willemse 2009).

95 De Gruijter *et al.* 2006, 20.



#### 4.5.2 Testen of sprake is van afwijkende deelgebieden binnen een perceel

Wanneer mogelijk sprake is van deelgebieden binnen het perceel (zoals bijvoorbeeld bekend is na vergelijking van actuele en oude topografische kaarten), dan kan getoetst worden of dit verschil ook in de sporen van bodembewerking aantoonbaar is (statistisch significant). Deze toets vergelijkt de varianties die bestaan tussen de subsets met de varianties binnen de subset en onderzoekt of je kunt aantonen dat de variantie binnen een subset gelijk is aan de variantie tussen de subsets. Als dat niet blijkt te zijn dan gaat het mogelijk om verschillende populaties. Dit wordt een homogeniteitstest of variantie analyse genoemd en de bijhorende test is de F-test. De meest simpele vorm is het uitrekenen van de F-ratio tussen twee subsets:

$$F_{ratio} = \frac{S^2(x_i)}{S^2(x_j)} \quad (3)$$

Waarbij

$S^2(x_i)$  = variantie van subset  $i$

$S^2(x_j)$  = variantie van subset  $j$

In een statistische tabel zijn de kritische F-waarden op te zoeken voor verschillende waarschijnlijkheidsintervallen van de kansverdeling (95%, 68%, etc.). Wanneer de  $F_{ratio}$  beneden de kritische F-waarde blijft zullen de subsets tot dezelfde populatie aan bodembewerkingsdiepten behoren ( $S^2(x_i) = S^2(x_j)$ ). Wanneer de  $F_{ratio}$  groter uitvalt dan de kritische F-waarde dan geldt de aanname dat  $S^2(x_i) \neq S^2(x_j)$  oftewel, in statistische termen, de varianties tussen de twee subsets behoren waarschijnlijk niet tot dezelfde populatie (binnen een 95%, 68% etc. waarschijnlijkheidsinterval). Eenzelfde redenering geldt voor de formele F-test (zie figuur 35 en ook Webster 1977 voor een duidelijk rekenvoorbeeld):

$$F_{ratio} = \frac{\text{var a t e t u s s e s u b s e t s } S^2(t)}{\text{var a t e b i e e s u b s e t } S^2(b)} \quad (4)$$

Waarvoor de rekenregels zijn:<sup>96</sup>

<i>Variantie</i>	<i>som der kwadraten</i>	<i>gemiddeld kwadraat</i>	
Variantie tussen subsets	$SS_t = \sum_{i=1}^j n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$\frac{t}{(j-1)} = S^2(t)$	(5)

Variantie binnen subsets	$SS_b = \sum_{i=1}^j \sum_{k=1}^{n_i} n_i (x_{ik} - \bar{x}_i)^2$	$\frac{b}{(N-j)} = S^2(b)$	(6)
--------------------------	---	----------------------------	-----

Totale variantie	$SS_{tot} = \sum_{i=1}^j \sum_{k=1}^{n_i} (x_{ik} - \bar{x})^2$	$\frac{tot}{(N-1)} = S^2(tot)$	(7)
------------------	---	--------------------------------	-----

Waarbij:

$j$  = aantal subsets

$j-1$  = aantal vrijheidsgraden tussen subsets

$N-j$  = aantal vrijheidsgraden binnen subsets

$n$  = aantal waarnemingen binnen subset  $i$

$x$  = waarde van waarneming  $k$  in subset  $i$

$\bar{x}$  = gemiddelde van alle waarnemingen

$\bar{x}_i$  = gemiddelde van subset  $i$

$SS$  = som der kwadraten

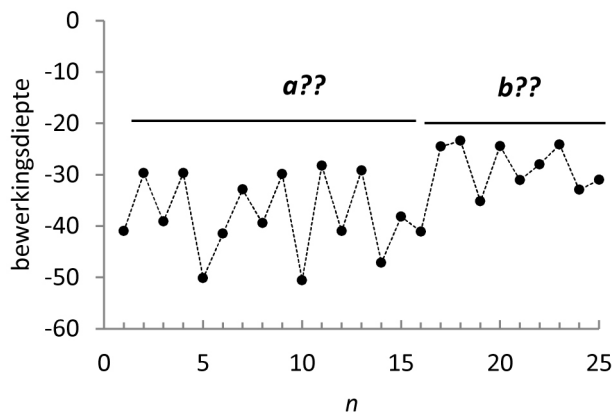
$S^2$ ,  $t$ ,  $b$ ,  $tot$  = variantie tussen subsets, binnen subsets of de totale variantie

$N$  = totaal aantal waarnemingen

---

96 Webster 1977; Davis 2002.

### Transectengrid over samengevoegd perceel



Figuur 35. Grafische en statistische uitwerking van een variantieanalyse voor het perceel zoals getoond in figuur 23. De gegevens zijn verzameld langs een transectengrid over de breedte van de zuidelijke helft van dit perceel.

Op basis van de grafisch uitgezette waarnemingen van de diepte van de bewerking onder bouwvoor in cm ( $D_g$ ) lijkt het perceel te bestaan uit twee groepen **a** en **b**. De variantieanalyse onderzoekt de stelling dat dit niet zo is en dat de gehele reeks tot dezelfde bodembewerking behoort, oftewel, statistisch  $a = b$ . Groep **a** bestaat uit 16 waarnemingen (vrijheidsgraden  $df(n-1)=15$ ) en groep **b** uit 9 waarnemingen ( $df=8$ ). De verhouding tussen de varianties van beide veronderstelde groepen = 3,04. De kritische waarde voor  $F$  met een betrouwbaarheidsmarge van 95% en vrijheidsgraden 15 en 8 bedraagt 2,64. Omdat de  $F$ -ratio groter is geldt  $a \neq b$ . De hypothese dat het één grote groep is kan niet aangetoond worden. Waarschijnlijk bestaat het perceel dus inderdaad uit twee groepen.

### ANOVA

groep **a**: (I/II/III) met (IV) greppels

groep **b**: (I/II/III)

	<b>a</b>	<b>b</b>
	$D_g$	$D_g$
<i>n</i>		
1	-41	-25
2	-30	-23
3	-39	-35
4	-30	-24
5	-50	-31
6	-41	-28
7	-33	-24
8	-39	-33
9	-30	-31
10	-51	
11	-28	
12	-41	
13	-29	
14	-47	
15	-38	
16	-41	
<hr/>		
Variance	52,3	17,2
<i>df</i> (N-1)	15	8
<hr/>		
<i>F</i> -ratio (VARa/VARb)		3,04
betrouwbaarheidsinterval	95% (p=0,05)	
kritische waarde <i>F</i> ( <i>df</i> =15, <i>df</i> =8) bij p=0,05		<b>2,64</b>
idem bij p=0,01 (99%)		4,00
idem bij p=0,001 (99,9%)		6,47
resultaat binnen 95% (p=0,05)		<b>a ≠ b</b>

## 4.6 Naar een optimale werkwijze

### 4.6.1 Algemeen

Uit paragraaf 4.2 kan de conclusie worden getrokken dat elk verwacht bodembewerkingspatroon (of groepen van bodembewerkingspatronen) zijn/hun eigen specifieke steekproefmethoden vereis(t)en. Indien sprake is van 'kostenoptimalisatie' verdient in dat geval een getrapte combinatie van steekproefmethoden de voorkeur.<sup>97</sup> Als er uit het vooronderzoek maar beperkte informatie beschikbaar is gekomen worden clustersteekproeven vaak als eerste als herkenningstechniek gebruikt, bijvoorbeeld om uit te zoeken of er discrete ruimtelijke schalen of patronen op het perceel aanwezig zijn die elk op een ander schaalniveau opereren.<sup>98</sup> Deze methode richt zich op het optimaliseren van waarnemingspunten (waarnemingsafstanden/configuratie(s)) en kent een groot toepassingsbereik. De clustersteekproef kan bijvoorbeeld vrij eenvoudig worden aangepast aan de veronderstelde ruimtelijke patronen en de dominante richtingen daarin. Het belangrijkste nadeel van een clustersteekproef is echter dat daarmee (meestal) niet het hele perceel gekarteerd wordt. Dit nadeel kan echter worden weggenomen door deze steekproefmethode te combineren met een gestratificeerde aselechte steekproef (een variant van het bekende systematische gelijkbenige driehoeksgrid). Ook dit is een in algemene zin goed werkend steekproefraster omdat het de variabiliteit vrij precies en nauwkeurig kan schatten en omdat het nog (min of meer) voldoet aan 'random sampling' wat de statistische berekeningen vereenvoudigt. Deze twee samengevoegde steekproefmethoden maken dus gebruik van elkaars sterke punten. Dit is een van de redenen waarom ze in de geografische wetenschappen ingezet als steekproefrasters indien een 'kosten optimalisatie' gewenst is.<sup>99</sup>

### 4.6.2 Een clustersteekproef

#### *Uitgangspunten*

Clustersteekproeven worden vaak als herkenningstechniek gebruikt, bijvoorbeeld om uit te zoeken of patronen in een gebied aanwezig zijn die elk op een ander schaalniveau opereren. Voor agrarische percelen en hun bewerkingsdiepten en –patronen is dit te lezen als een techniek om te onderzoeken welke ruimtelijke variaties er op het perceel bestaan en met welke steekproefomvang of steekproefwijze deze variatie op de meest optimale wijze valt te achterhalen. Deze methode is vooral geschikt als prospectieve methode wanneer er weinig voorkennis over de bewerkingsdiepten en hun patronen bestaat of wanneer er gerede twijfel is over de verwachte voorkomende bewerkingen en hun patronen. Het voordeel van de clusterproef is dat er belangrijke informatie wordt ingewonnen over de verschillende schaalniveaus waarop bodembewerkingspatronen zich voordoen. Het nadeel, zoals zal blijken, is dat er een relatief gering oppervlak daadwerkelijk kan worden onderzocht.

Uitgangspunt voor de beschreven clustersteekproef is een geneste analyse van de ruimtelijke variatie in bewerkingsdiepten op vijf hiërarchische schaalniveaus, te weten 50, 10, 2 en 0,4 meter in willekeurige richtingen (er is dus geen a-priori kennis over richtingen in patronen). De lagere schaalniveaus zijn aangepast aan gangbare schaar-, beitel, en werkbreedten van na-oorlogse landbouwmachines (tabel 1, zie bijlage 2). Gekozen is voor een gestratificeerde vorm van clusteranalyse (figuur 23) met als uitgangspunt een gelijkbenig driehoeksgrid, vier profielkuilen per hectare en 8 steekboorwaarnemingen. In totaal 28 waarnemingen per hectare. Uitgaande van een productie van ongeveer 30 meter aan profiel-

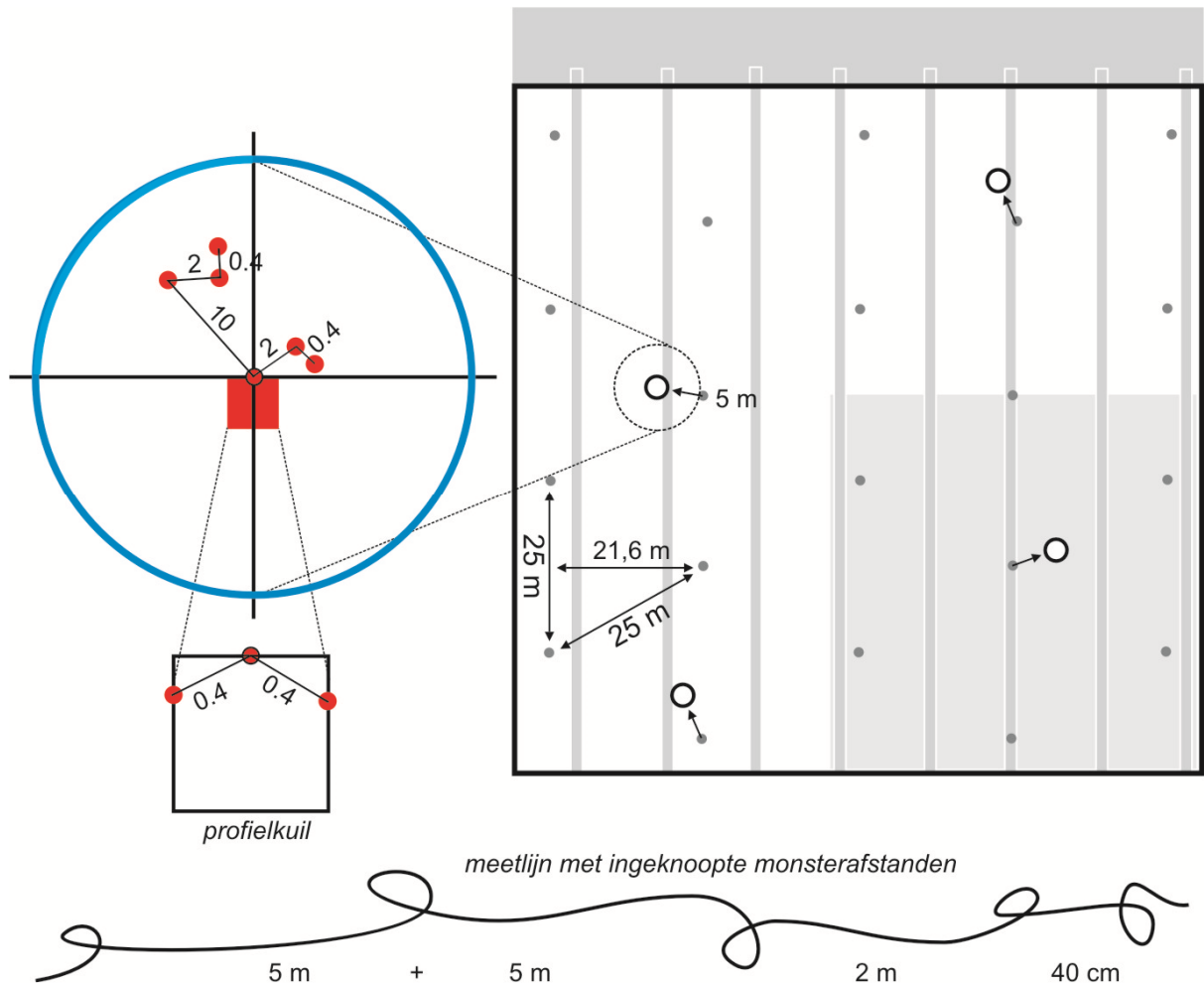
---

97 De Gruijter *et al.* 2006.

98 Webster & Lark 2012.

99 Webster & Lark 2012.

waarnemingen per dag (~ 30 boringen van 1 meter diep per dag) betekent dit per hectare 1 dag veldwerk.



Figuur 36. Schematische uitwerking van een clustersteekproef van 4x2x2x2 gepaarde waarnemingen. Zie tevens figuur 25.

### Veldopname

Zie figuur 36 voor de schematische weergave van deze clustersteekproef. Binnen een gebied van 100 bij 100 meter wordt een gelijkbenig driehoeksgrid (hexagonaal grid) bepaald waarvan de snijpunten 25 meter uit elkaar liggen en zodanig dat de buitenas van het grid parallel aan de perceelgrens loopt en met een afstand van tenminste 5 meter tot de rand van het perceel. Uit de snijpunten van het grid worden willekeurig 4 punten gekozen, zodanig dat de afstand tussen de punten 50 meter is (zie figuur 36). Voor elk van deze vier punten wordt het coördinaat bepaald en ingelezen in een GPS waarna ze op het perceel worden opgezocht.

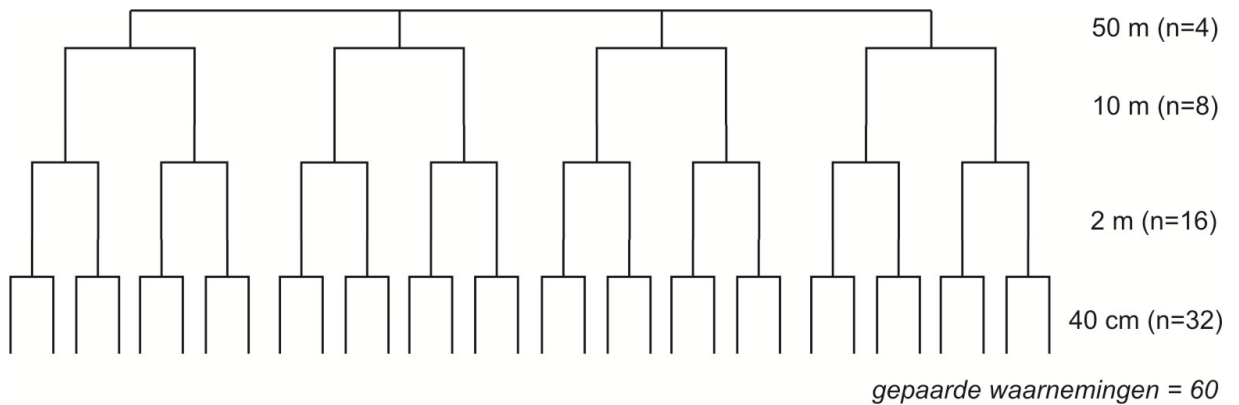
Vanuit elk van de vier punten wordt vervolgens in een willekeurige richting met behulp van een meetlijn een punt uitgezet 5 meter vanuit de GPS-locatie. Deze locatie vormt het hart van de coupelijn van een circa 75 bij 75 cm grote profielkuil waarbij de richting van de coupelijn haaks op de (huidige) bewerkings- of begreppelingsrichting (of de lange as) van het perceel wordt aangebracht.

Na documentatie van het profiel (paragraaf 4.3.1) wordt in het hart van de coupelijn de bewerkingsdiepten van de lagen I/II en III (en IV indien te onderscheiden) ingemeten. Vanuit het hart van de coupelijn

worden vervolgens twee punten op een afstand van 40 centimeter op de zijwand geprojecteerd en ook daar worden de bewerkingsdiepten ingemeten. In totaal worden er 3 metingen van de bewerkte lagen in de profielkuil gedaan, los van de verdere documentatie en analyse.

Na inmeting worden vanuit het hart van de coupelijn in een willekeurige richting met behulp van een meetlijn een punt 10 meter verderop uitgezet en met een steekmonsterboor de bewerkingsdiepten (I/II en III, IV) bepaald. Daarna worden op een afstand van 2 meter van dit punt (in willekeurige richting) wederom bewerkingsdiepten bepaald en weer 40 cm verder nog een keer. Als laatste worden er vanuit het hart van de profielkuil nogmaals op een afstand van 2 meter en 40 cm bepalingen gedaan.

De uiteindelijke dataset binnen het onderzochte oppervlak in figuur 36 bestaat nu uit 60 gepaarde waarnemingen, 4 over 50 meter afstand, 8 over 10 meter, 16 over 2 meter en 32 over 40 centimeter afstand, ofwel 4x2x2x2 waarnemingen (figuur 37). Om deze dataset te verzamelen zijn 4x8 waarnemingen van de bewerkingslagen nodig per hectare (32 in totaal), waarvan 4x3 in de profielkuil.



Figuur 37. Hiërarchie van de clusterwaarnemingen in figuur 36.

### Statistiek en uitwerkingsvoorbeeld

De totale variantie  $V_t$  van alle waarnemingen in figuur 36 is opgebouwd uit de bijdrage van de varianties op de verschillende schaalniveaus  $n_1$  (50 meter),  $n_2$  (10 meter),  $n_3$  (2 meter) en  $n_4$  (0,4 meter) waarvoor geldt:<sup>100</sup>

$$\text{Totale variantie } \hat{\sigma}^2_{\text{tot}} = \frac{\hat{\sigma}^2 n_1}{n_1} + \frac{\hat{\sigma}^2 n_2}{n_1 n_2} + \frac{\hat{\sigma}^2 n_3}{n_1 n_2 n_3} + \frac{\hat{\sigma}^2 n_4}{n_1 n_2 n_3 n_4} \quad (8)$$

of

$$\hat{\sigma}^2_{\text{tot}} = \frac{(\hat{\sigma}^2 n_1) + (2 \cdot \hat{\sigma}^2 n_2) + (3 \cdot \hat{\sigma}^2 n_3) + (4 \cdot \hat{\sigma}^2 n_4)}{4.2.2.2} \quad (9)$$

met als variantie  $\delta^2$  voor bijvoorbeeld  $n_3$  ( $n=16$ )

$$\delta^2(n_3) = \frac{1}{n_3=16} \sum_{i=1}^{n_3=16} (x_{i,3} - \mu_3)^2 \quad (10)$$

waarbij

$x_{i,3}$  = de bodembewerkingsdiepte op locatie  $i$  binnen de waarden op 2 m afstand

$n_3$  = het totaal aantal waarnemingen  $n$  op niveau 3 (hier:  $n=16$ )

en

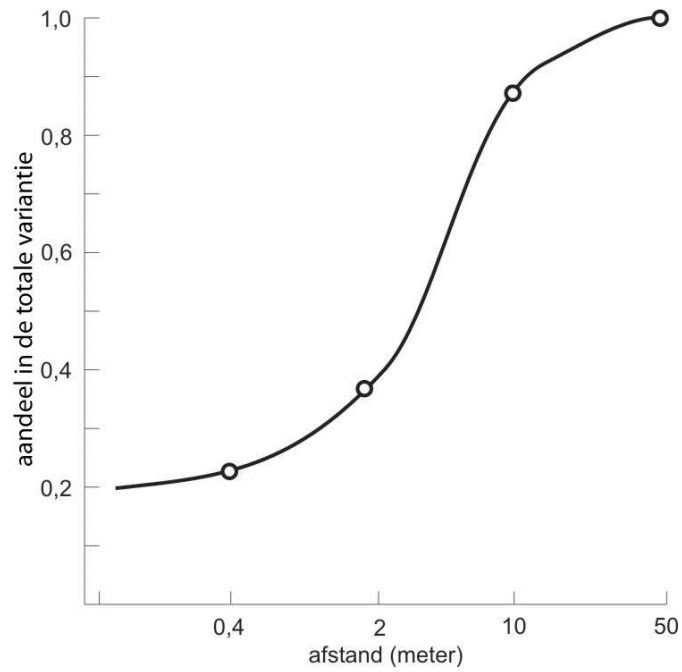
$\mu_3$  = de gemiddelde bodembewerkingsdiepte over de waarden op 2 m afstand.

Op basis van de relatieve bijdragen aan de totale variantie aan bewerkingsdiepten op het perceel kan een inschatting gemaakt worden op welke monsterafstand de grootste bijdrage ontstaat. Dit kan ook in een grafiek zichtbaar worden gemaakt door het relatieve aandeel van de variantie per schaalniveau op de Y-as uit te zetten tegen de afstand (X-as) (figuur 38). De monsterafstand die de grootste bijdrage levert aan de totale variantie in het gehele cluster kan als optimum afstand voor bijvoorbeeld een systematisch waarnemingsgrid worden gehanteerd. Immers bij kleinere monsterafstanden moet je onnodig veel werk verzetten en bij te grote monsterafstanden wordt de steekproef onbetrouwbaar. Zie figuur 39 en figuur 400 voor een praktische uitwerking.

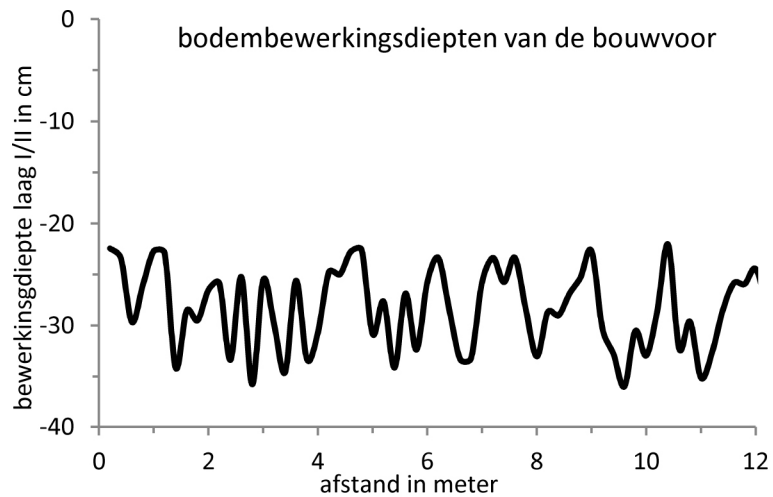
Merk op dat in deze uitwerking sprake is van een optimale monsterafstand van om en nabij de 3 meter wat een bijzonder groot aantal waarnemingspunten zou opleveren als je dat in een roostergrid zou uitrollen over de rest van het terrein. Er is echter sprake van een lage variabiliteit in de verdeling van de bodembewerkingsdiepten (lage scheefheid, zie berekening in figuur 40). Dat betekent dat rekenregel (1) uit paragraaf 4.4 kan worden gebruikt voor het bepalen van de steekproefomvang. Die zal beperkt zijn en de extra monsterpunten kunnen regelmatig over het perceel verdeeld worden. Idealiter dient eerst doormiddel van een homogeniteitstest (paragraaf 4.5) bepaald te worden of de bodembewerkingsdiepten binnen de vier clusters in figuur 36 inderdaad tot dezelfde vrij homogene populatie horen of niet, immers op elke locatie vindt een willekeurige steekproef plaats.

Met behulp van een eenvoudige en vooraf ingestelde spreadsheet kan dit al tijdens het veldwerk worden gedaan zodat er direct geanticipeerd kan worden op de resultaten.





*Figuur 38. Variantie als onderdeel van de totale variantie (y-as) uitgezet tegen de afstand tussen gepaarde waarnemingen (naar: Webster & Butler 1976).*

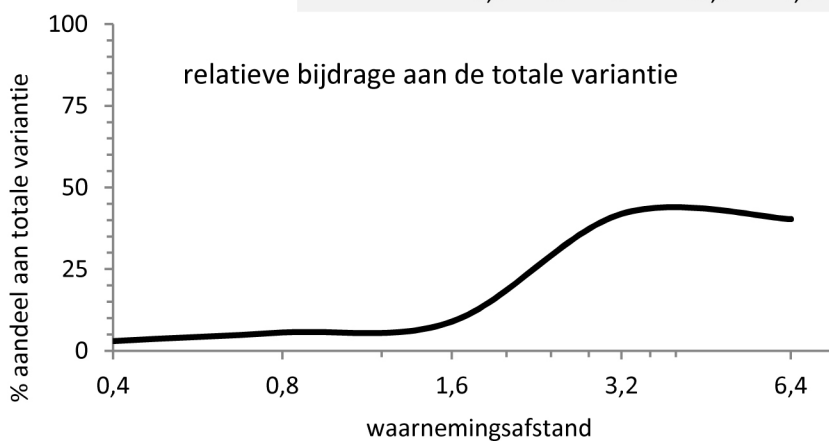


*Figuur 39. Gesimuleerde clusteranalyse van een eenvoudig bouwvoorprofiel (lagen I/II in figuur 20) van  $28,3 \pm 4$  cm dik. Uit het profiel zijn langs een transectengrid op vijf hiërarchische afstanden (0.4m, 0.8m, 1.6m, 3.2m en 6.4m) 31 bouwvoordieptebevestigingen getrokken. Dit resulteerde in 63 gepaarde waarnemingen. Zie hierna figuur 400 voor een uitwerking.*

0.4m	0.8m	1.6m	3.2m	6.4m
22	23	22	22	22
30	33	23	29	33
23	26	29	35	26
34	26	25	31	35
29	28	35	33	
26	29	25	29	
25	27	31	31	
26	23	32	28	
35	33	33		
33	31	26		
25	29	29		
23	32	23		
31	35	31		
34	28	32		
32	26	28		
23	28	28		

31 waarnemingen waarvan 63 gepaard

populatie		clustersteekproef					
mean	28,3	mean	28,6				
stdev	4,0	stdev	3,9				
scheefheid	0,2	scheefheid	0,0				
kurtosis	-1,1	kurtosis	-1,1	%	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>
variantie $\sigma^2$	15,8	<i>Var<sup>tot</sup></i>	16,3		61		
		<i>Var<sup>0.4m</sup></i>	0,5	3	31	28,5	3,9
		<i>Var<sup>0.8m</sup></i>	0,9	6	16	28,3	3,8
		<i>Var<sup>1.6m</sup></i>	1,5	9	8	29,8	3,4
		<i>Var<sup>3.2m</sup></i>	6,8	42	4	29,1	5,2
		<i>Var<sup>6.4m</sup></i>	6,6	40	3	28,0	4,4

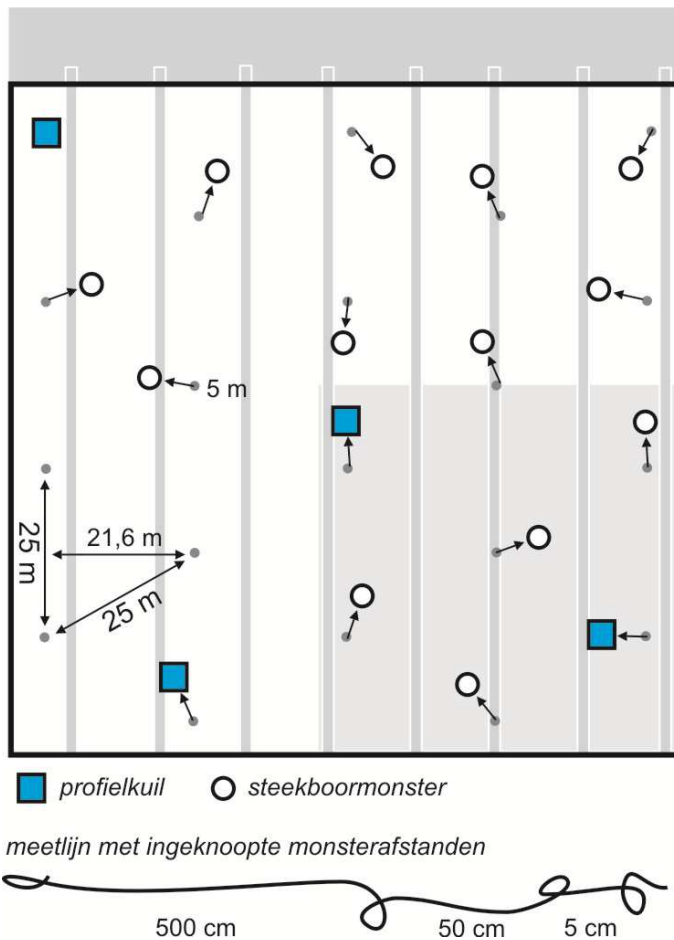


Figuur 40. Grafische en statistische uitwerking van een clusteranalyse voor het transect zoals getoond in figuur 39. In het linker kader de statistische gegevens van het gesimuleerde bodembewerkingsprofiel ('de populatie'). In het rechter kader de resultaten van de clustersteekproef uit figuur 39 met 5 verschillende hiërarchische monsterafstanden 0.4, 0.8, 1.6, 3.2 en 6.4 meter. Op basis van rekenregel (8) is de bijdrage van elk schaalniveau aan de totale variantie ( $Var^{tot}$ ) uitgerekend. Uit de grafiek is af te lezen dat tussen de 1.6 en 3.2 meter de grootste variantiebijdrage (ca. 42%) ontstaat. Een optimale bemonsteringsafstand om het hele perceel uit te karten is dus een waarneming om de circa 3 meter. Echter: omdat de gegevens laten zien dat de scheefheid laag is (geen uitschieters of aanwijzingen voor periodiciteit) is rekenregel (1) (paragraaf 4.4) van toepassing. De rest van het perceel kan indien sprake is van toetsend onderzoek met behulp van een klein aantal extra monsterpunten worden onderzocht.

### 4.6.3 Gestratificeerd a-select

Voor het onderzoeken van agrarische percelen is als variant van het random steekproefgrid gekozen voor het praktische systeem van gestratificeerde aselechte bemonstering. Het is in algemene zin een goed werkend steekproefraster omdat het de variabiliteit vrij precies en nauwkeurig zal schatten en omdat het nog (min of meer) voldoet aan 'random sampling' wat de statistische berekeningen vereenvoudigd (paragraaf 4.2.2).<sup>101</sup>

De steekproefgrootte (formaat roostergrid, aantal locaties) wordt hierin vooraf vastgesteld, bijvoorbeeld afhankelijk van voorkennis (over patronen, bijvoorbeeld uit de clustersteekproef of uit brongegevens), doel en middelen. In een aantal gevallen kan dit steekproefraster worden gecombineerd met een andere methode zoals een (beperkte) clustersteekproef of een transectengrid. Wanneer het doel van de steekproef is om langgerekte patronen te beschrijven kan, wanneer de oriëntatie bekend is (bijvoorbeeld op aangeven van de landeigenaar, uit historische bronnen of door een slootkantinspectie), gekozen worden om de waarnemingspunten op een doorgaande lijn te projecteren, bij voorkeur haaks op de lange as (zie paragraaf 4.2.2 en figuur 27).



Figuur 41 Schematische weergave van een gestratificeerde aselechte steekproef. De grijze punten zijn de vaste snijpunten van een gelijkbenig driehoeksgrid. De pijlen geven de willekeurig gekozen verplaatsing naar het monsterpunt aan.

101 Brus et al. 2011.

### *Veldopname*

Voor een gestratificeerd aselect steekproefraster wordt het gebied verdeeld in een aantal grotere deelgebieden waarvan de afstand tussen de snijpunten bij voorkeur gelijk is. In het getoonde voorbeeld is dit een gelijkbenig driehoeksgrid (figuur ). Voor elk van deze snijpunten wordt het coördinaat bepaald en ingelezen in een GPS waarna ze op het perceel worden opgezocht. Vanuit elk van de vier punten wordt vervolgens in een willekeurige (door toeval bepaalde) richting met behulp van een meetlijn een punt uitgezet vanuit de GPS-locatie. De afstand mag variëren maar het is in statistische zin beter om deze afstand bijvoorbeeld op een vijfde van de puntafstand vast te zetten (in het voorbeeld ca. 5 meter). Enigszins ruimtelijk verdeeld worden vrij willekeurig vier locaties gekozen. Deze locaties vormen het hart van de coupelijn van een circa 75 bij 75 cm grote profielkuil waarbij de richting van de coupelijn haaks op de (huidige) bewerkings- of begreppelingsrichting (of de lange as) van het perceel wordt aangebracht. Na documentatie van het profiel (paragraaf 4.3.1) wordt in het hart van de coupelijn de bewerkingsdiepten van de lagen I/II en III (en IV indien te onderscheiden) ingemeten.

De uiteindelijke dataset binnen het onderzochte oppervlak bestaat in het getoonde voorbeeld uit 16 steekmonsterbepalingen en 4 profielkuilopnamen.

### *Statistische uitwerking*

Tijdens het veldwerk kan het resultaat al worden beoordeeld, waarbij bijvoorbeeld een eerste analyse wordt gemaakt van de basale statistische eigenschappen van de meetwaarden (gemiddelde, standaardafwijking, scheefheid, kurtosis; zie tabel 3 voor een voorbeeld) en de (on)regelmatigheid van de bewerkingsdiepten op het perceel (variantieanalyse, 4.5). De grafische (visuele) methoden (kaartanalyse, grafieken) lenen zich het beste voor een eerste variantieanalyse (paragraaf 4.5). Voor homogene subsets (groepen) waar geen opvallende trends of een afwijkende scheefheid te constateren valt (en die dus homogeen lijken te zijn) kan vervolgens met behulp van formule (1) worden uitgerekend of er voldoende meetwaarden verzameld zijn.

# 5 Conclusie

## 5.1 Algemeen

Dit verkennende onderzoek richt zich op de vraag wat het meest efficiënte aantal waarnemingen per hectare is en wat het meest efficiënte waarnemingsgrid is voor het vaststellen en toetsen van agrarische bodembewerkingen in het veld, uitgaande van de in de archeologie gangbare waarnemingsmethoden handboringen en proefputjes. Op grond van het onderzoek kan het volgende geconcludeerd worden.

Voor het identificeren/opsporen van bodembewerkingspatronen of het vaststellen van gemiddelde verstoringsdiepten per perceel (of binnen delen van een perceel) is vooronderzoek over de aard van de huidige grondbewerkingen (diepten/patronen), de frequentie ervan maar ook over de verdere gebruikshistorie van een perceel het belangrijkste voor het bepalen van een verwachtingsmodel en een onderzoeksplan/steekproefplan (hoofdstuk 2). Dat vereist serieus geostatistisch onderzoek en niet een paar waarnemingen op een perceel. Bij de uitwerking van de gegevens dient rekening te worden gehouden met het feit dat het bodembewerkingsprofiel of bodembewerkingspatroon is ontstaan uit een combinatie van een ruime set aan meer of minder frequent uitgevoerde bodembewerkingen. Bodembewerkingsdiepten en -patronen zijn daarom in de regel niet (meer) af te leiden uit één of meerdere specifieke ingrepen of teelten maar wel in te delen in een viertal dominante bewerkingslagen (hoofdstuk 3): de teellaag (I) en hoofdgrondbewerkingslaag (II), een iets diepere bewerkingslaag (III) die meestal het gevolg is van het decompacteren van de hoofdgrond en een grondverbeteringslaag (IV) waaronder tal van grondverbeteringen worden begrepen zoals ontwateringsingrepen en het breken van diepere verdichtingslagen.

Het vermoede voorkomen van deze lagen in het bodembewerkingsprofiel zijn samen met (statistische) gegevens over diepten en patronen (vlak, lijn, strook, dambord, etc.) te gebruiken als uitgangspunt voor de keuze van de meest efficiënte steekproefmethoden (hoofdstuk 4). De steekproef kan in het veld het beste worden uitgevoerd door het verzamelen van profielbeschrijvingen ter hoogte van aselekt gekozen waarnemingspunten (paragraaf 4.2). Daarbij verdient het de voorkeur om zowel informatie uit profielkuiten als uit boorprofielen te verzamelen (paragraaf 4.3).

Globaal geldt uiteraard dat elk verwacht bodembewerkingspatroon (of groepen van bodembewerkingspatronen) zijn eigen specifieke steekproefmethode vereist. Een getrapte werkwijze verdient daarbij de voorkeur. Een optimale verdeling van waarnemingspunten met een groot toepassingsbereik voor het onderzoeken van patronen op verschillende schaalniveaus kan bereikt worden door in eerste instantie een (fijnere of grovere) gestratificeerde clustersteekproef uit te voeren. Daarmee is het namelijk mogelijk om complexe patronen (waarvan a priori weinig bekend is) te identificeren waarna voor de rest van het perceel een nieuw (optimaal) waarnemingsgrid kan worden bepaald. Ook kan een clustersteekproef vrij eenvoudig worden aangepast aan de veronderstelde ruimtelijke patronen en de dominante richtingen daarin.

Het belangrijkste nadeel van de gestratificeerde clustersteekproef is dat niet het hele perceel gekarteerd wordt. Dit nadeel kan worden weggenomen door deze steekproefmethode te combineren met een gestratificeerde aselechte steekproef (een variant van het bekende systematische gelijkbenige driehoeksgrid) zodat het perceel verder uitgekarteerd kan worden. Een gestratificeerde aselechte steekproef is in algemene zin een goed werkend steekproefraster omdat het de variabiliteit vrij precies en nauwkeurig kan schatten en omdat het nog (min of meer) voldoet aan 'random sampling' wat de statistische berekeningen vereenvoudigd. Voor het optimaliseren van de a-selecte steekproef dient goed gebruik te



worden gemaakt van de uitkomsten van de clustersteekproef. Het is echter van wezenlijk belang om de vervolgstategie zo goed mogelijk af te stemmen op de doelstelling: gaat het om toetsend onderzoek of is er sprake van een karteringsopdracht?

De twee samengevoegde steekproefmethoden maken gebruik van elkaars sterke punten en worden in de geografische wetenschappen ingezet als steekproefrasters indien een 'kostenoptimalisatie' gewenst is.<sup>102</sup> Voor het opsporen van een fijnmazig patroon kan eerst een *sweepsearch* worden uitgevoerd indien er geen oriëntatie bekend is (figuur 28) of een *transectengrid* als de oriëntatie wel bekend is.

## 5.2 Aanbevelingen voor de werkwijze(n) in het veld

Als voorbeeld van geschikte steekproeftechnieken worden twee methoden aanbevolen. Dit zijn de clustersteekproef (paragraaf 4.6.2) en de gestratificeerde aselechte steekproef (paragraaf 4.6.3). Beiden methoden kennen een breed toepassingsbereik, alhoewel er voor specifieke situaties een breder scala aan (gecombineerde) steekproefrasters bestaat (figuur 29, figuur 33).<sup>103</sup>

Zoals hierboven al vermeld verdient het de voorkeur om bij het inrichten van een betrouwbare steekproef optimaal gebruik te maken van de voorkennis die kan worden verzameld over het terrein (hoofdstuk 2). Een nadeel van deze methode is dat systematische afwijkingen in de verzamelde gegevens kunnen ontstaan wanneer de voorinformatie onnauwkeurig of onvolledig was. Ervan uitgaande dat de veronderstelde bodembewerkingsdiepten en –patronen binnen een landbouwperceel echter wel juist zijn, heeft de methode het voordeel dat de toetsing van het verwachtingsmodel met behulp van relatief weinig waarnemingspunten kan worden afgedaan en dat er uitspraken met betrekking tot de betrouwbaarheid van de resultaten kunnen worden gedaan.<sup>104</sup> Het vereist echter serieus geostatistisch onderzoek.

Een uniforme beschrijving van bodembewerkingsdiepten op de percelen, maar ook een uniforme aanpak van metingen en eenduidige weergave van meetresultaten, zijn van groot belang (hoofdstuk 3). Dit enerzijds om (in een later stadium) meetresultaten over verschillende percelen en landbouwarealen te kunnen vergelijken of te integreren in één dataset, en anderzijds om verbanden tussen landbouwmethoden en bodembewerkingsprofielen in kaart te kunnen brengen.

---

102 De Gruijter *et al.* 2006.

103 De Gruijter *et al.* 2006.

104 Steur 1961.

# Literatuur

- Berge, H. ten & J. Postma (red), 2010. Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw. Visie en bouwstenen voor een kennisagenda. Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 208 pp.
- Berkvens, R., K.A.H.W. Leenders, J. Bosman, M.D. Wagemans, E. Wijnen, V. Mes, M. van Moolenbroek, E. Drenth, H. v.d. Laarschot & J. Schotten, 2011. Kempisch Erfgoed in Beeld. Een regionale erfgoedkaart voor de Kempen- en A2 gemeenten: Bergeijk, Bladel, Eersel, Oirschot, Reusel-De Mierden, Waalre, Valkenswaard, Cranendonck en Heeze-Leende, Eindhoven.
- Biswas, A. & Y. Zhang, 2018. Sampling designs for validating digital soil maps: a review. *Pedosphere* 28(1), 1–15.
- Boelens, J.J. & E. Koning, 1986. Grondverbetering in de IJsselmeerpolders. *Flevobericht* 267. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- Boels, D., & L. Havinga, 1974. Verdichting en bouwvoorvershraling door ploegen en afschuiven bij verschillende vochtgehalten. Nota 785, Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, Wageningen.
- Bokhorst, J., 2016. Bodemvruchtbaarheid in Nederland. Goed bodembeheer per bodemtype. [www.goedbodembeheer.nl](http://www.goedbodembeheer.nl).
- Boonstra, M.K., R.M. van Heeringen & R. Schrijvers, 2011. Kennisagenda Archeologie Oost Gelderland, deel A (tekst). Vestigia rapport V752-A, Vestigia, Amersfoort.
- Borsboom, A.J. & J.W.H.P. Verhagen, 2009. KNA Leidraad Inventariserend Veldonderzoek Deel: Proefsleuvenonderzoek (IVO-P) Versie 1.02 (4 december 2012). Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer, Gouda.
- Breimer, J. N.W. & C. Sueur, 2014. Mag het een onsje minder zijn? Rapportage bodemverstoringsonderzoek in de gemeenten Eersel, Teylingen, Midden-Drenthe, Neder-Betuwe en Peel en Maas. *A=M Publicaties* 2014-06. A=M, Voorburg.
- Broeke, E.M. ten, 2012. Verstoringdiepteonderzoek gemeente Peel en Maas. *Econsultancy-rapport* 12021140. Econsultancy, Doetinchem.
- Brus D.J. & G.B.M. Heuvelink, 2007. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma* 138, 86–95.
- Brus, D.J., & I.G.A.M. Noij, 2008. Designing sampling schemes for effect monitoring of nutrient leaching from agricultural soils. *European journal of soil science* 59 (2), 292-303.
- Brus, D.J., & J.J.de Gruijter, 1997. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and modelbased sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma* 80, 1–44.
- Brus, D.J., B. Kempen & G.B.M. Heuvelink, 2011. Sampling for validation of digital soil maps. *European Journal of Soil Science* 62, 394–407.
- Burrough, P.A., 1989. *Monstertechnieken, grensbepaling en testen kaartenheden: ruimtelijke analyse, deel 1: syllabus statistiek en dataverwerking*. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht, Utrecht.

- Burrough, P.A., 1993. Weten of meten? De rol van voorkennis in geostatistische analyse. In: P.A. Burrough en 9 anderen, *proceskennis en statistiek in bodem en water*. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Delft, Rapporten en Nota's nummer 30, 3-16.
- Cotteleer, G., K. Gardebroek, H.C.J. Vrolijk & W. Dol, 2003. Opfriscursus statistiek. Landbouweconomisch instituut, Wageningen Universiteit. Den Haag.
- Davis, J.C., 2002. *Statistics and data analysis in geology, third edition*. John Wiley & Sons Inc, New York, 656 pp.
- Doesburg, J. van, O. Brinkkemper, F. Brounen, M.C. Houkes, I. van der Jagt, D. Janssen, M.A. Lascaaris, E. Romeijn, M. Snoek & B. Speleers 2016: Archeologie op de Kaart. Analyse van gemeentelijke archeologische en cultuurhistorische (verwachtings) waardenkaarten in vier pilotgebieden verspreid over Nederland, Amersfoort (webpublicatie Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed).
- EPA, 2002. Guidance for choosing a sampling design for environmental data collection for use in developing a quality assurance project plan. Unites States Environmental Protection Agency, document EPA/240/R-02/005, EPA, Washington D.C., 178 pp
- Florax, J. & J.G.S. de Wilde, 1988. Relaties, rekenmodel en normen voor de aanleg van drainage. *Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding rapport 37*. Institute for land and water management research, Wageningen.
- Gruijter, J.J de, 1982. Kwaliteit van bodemkaarten: een vergelijking van karteringsmethoden in een zandgebied. *Stiboka-rapport 1714*. Stichting voor Bodenkartering, Wageningen.
- Gruijter J.J. de & B.A. Marsman, 1985. Transect sampling for reliable information on mapping units. In: D.R. Nielsen & J. Bouma (eds.), *Soil Spatial Variability*. Pudoc, Wageningen, 150-165.
- Gruijter, J.J. de, D.J.Brus, M.F.P. Bierkens & M. Knotters, 2006. *Sampling for natural resource monitoring*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 326 pp.
- Heunks, E., 1995. Bedreigingen van het bodemarchief door landbouwkundige bodemtechnische ingrepen: een oriëntatie. RAAP-rapport 100. Stichting RAAP, Amsterdam.
- Horsen, P.W. van, 1987. Kartering van bodemverstoringen in Drenthe. Stageverslag.
- Houben, J.M.M.TH., 1980. Mogelijkheden van profielverbetering op zandgronden. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 19, 312-325.
- Kerry R, & M.A. Oliver, 2004. Average variograms to guide soil sampling. *Int. J. Appl. Earth. Obs. Geoinf.* 5, 307-325.
- Koopmans C.J., M. Zanen & C. Ter Berg, 2005. De Kuil. Bodembeoordeling aan de hand van een kuil. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 16 pp.
- Kroes, R.A.C. & P. Kloosterman, 2013. Aanlegvergunningstelsel archeologie, gemeente Woudenberg: een onderzoek naar agrarische verstoringdiepten en vrijstellingen. RAAP-rapport 2666. Weesp.
- Lascaaris, M.A., B.J.H. van Os, D.J. Huisman, J. Bouwmeester, J.E. Abrahamse, A.M. Blom, G. Mauro, F. Brounen & M. van der Heiden, 2019 (in voorb.). Archeologie en bodembewerkingen. Evaluatie van de effecten van agrarische grondbewerking en divers grondverzet op de bodem en een beschrijving van aspecten van onderzoek naar verstoringen ten behoeve van het archeologiebeleid.

- Lascaris, MA. & J.W. de Kort, 2017. Verstoorde percelen. Een analyse van de doelmatigheid van boringen en profielputten voor het bepalen van de mate van verstoring in het landelijk gebied. Rapportage Archeologische Monumentenzorg 244. Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort.
- Maas, G.J., F. de Vries, F. Brouwer & N. Heidema, 2016. Inventarisatie GIS-bestanden met informatie over bodemverstoring. Wageningen Environmental Research Rapport 2751. Wageningen.
- Massop, H.Th.L. & C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015. Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmetingen van 2012. *Alterra-rapport 2700*. Alterra Wageningen University & Research centre, Wageningen.
- Niemeijer, A.F.J., 2018: Duinontginningen, Van opdracht, via obsessie naar ontspanning - deel 3, *Vituvius* 12, nr. 45, 8-12.
- Orton, C., 2002. *Sampling in Archaeology*. Cambridge manuals in Archaeology, Cambridge University Press, Cambridge, 261 pp.
- Peekel, A., M. van der Schoot, D. Beekmans & P. van Hout, 2016. Methodeonderzoek voor het opstellen van een verwachtingsmodel ten aanzien van bodemverstoringen door agrarische grondroerende activiteiten. Case studie pilotgebieden in gemeente Weert. Definitieve publicatie ZLTO in opdracht van de Rijksdienst voor het cultureel erfgoed.
- Poll, J.T.K., 1988. Groene asperge. *AGV- korte teeltbeschrijving 6*. Consulentenschap en Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de vollegrond, Lelystad, 30 pp.
- RCE 2016. Evaluatie van drie methodieken om bodemverstoringen in kaart te brengen. Verslag expertmeeting Rijksdienst voor het cultureel erfgoed, 07 augustus 2016. Rijksdienst voor het cultureel erfgoed, Amersfoort.
- Rep, A., 1999. Reader laboratoriumtechnieken: monsternamen en milieu-analyse. Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein, Velp, 118 pp.
- Reubens B., G. Ruyschaert, T. D'Hose & K. D'Haene, 2012. Eindrapport BodemBreed Interreg: overzicht van resultaten, inzichten en aanbevelingen. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke, België. 147 p.
- Reuler, H. van, G.D. Vermeulen, J. Spruijt, D.J.M. van Balen, M.P.M. Derkx, G. Heijerman, A.H.M.C. Baltissen & J.J. de Haan, 2014. *Inventarisatie van reguliere teelthandelingen in de landbouw in Nederland, de invloed ervan op de bodem in verband met de consequenties voor de archeologische resten*. Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen.
- Roos, A. & J. Neefjes, 2006. Bureaustudie bosbodemverstoring in boswachterij het Speulderbos: toelichting op de gegevensbestanden en de methodiek. Buro B/Overland, Wageningen.
- Schooten, H. van, B. Philipsen & J. Groten, 2018. Handboek snijmais 2018. Handboek Wageningen Livestock Research 35. Universiteit Wageningen, 208 pp.
- Steur, G.G.L en anderen 1961. Methods of soil surveying in use at the Netherlands Soil Survey Institute. *Boor en Spade* 11, 59-77.

- Tol, A.J., J.W.H.P. Verhagen & M. Verbruggen, 2012. KNA-leidraad inventariserend veldonderzoek; Deel: karterend booronderzoek, versie 2.0. Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer, Gouda.
- Tooren, C.F., 1993. Guess-field methode; gebruik van voorkennis bij bodemverontreinigingsonderzoek. In: P.A. Burrough en 9 anderen, *proceskennis en statistiek in bodem en water*. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO, Delft, Rapporten en Nota's nummer 30, 83-98.
- Verhagen, J.W.H.P., E. Rensink, M. Bats & Ph. Crombé, 2011. Optimale strategieën voor het opsporen van steentijdvindplaatsen met behulp van booronderzoek. Een statistisch perspectief. Rapportage Archeologische Monumentenzorg 197. Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Amersfoort.
- Verhoef, J.M., 2002. Sampling and geostatistics for spatial data. *Ecoscience* 9 (2), 152-161.
- Vries, F. de, F. Brouwer, N. Heidema en G. Maas, 2015. Kansen op bodemverstoring in beeld. Methode voor drie pilotgebieden in de gemeente Ede. Wageningen, Alterra Wageningen UR, *Alterra-rapport 2710*. Alterra Wageningen University & Research centre, Wageningen.
- Webster R., Lark R.M. 2012. *Field Sampling for Environmental Science and Management*. Routledge, London.
- Webster R. & B.E. Butler, 1976. Soil survey and classification studies at Ginninderra. *Australian journal of soil research* 14, 1-24.
- Webster, R., 1977. *Quantitative and numerical methods in soil classification and survey (monographs on soil survey)*, Oxford University Press, Oxford, 269 pp.
- Willemse, N.W. & M.H.J.M. Kocken, 2012. Archeologie met beleid. Afwegingskader voor archeologiebeleid in de Regio Achterhoek. RAAP-rapport 2501. RAAP Archeologisch Adviesbureau, Weesp.
- Willemse, N.W., 2009. Bodemverstoringskaart boswachterij Speulderbos: kaartzuiverheid en statistische eigenschappen van bosbodemverstoringen: een veldtoets. RAAP-rapport 1658. RAAP archeologisch adviesbureau, Weesp .
- Wink, K. & J. Sprangers, 2016. Toelichting op de archeologische verwachtings (waarden) kaart en beleidskaart. gemeenten Katwijk, Noordwijk, Noordwijkerhout, Lisse, Teylingen en Hillegom, Weesp. RAAP-rapport 2852, RAAP archeologisch adviesbureau b.v., Weesp.
- Zwart, K.B., J.J.H. van den Akker, D.W. Bussink, M.J.O.M. de Haas, R.Y. van der Weide, J.G.M. Paauw, W. Saathoff, D. Goense & A.J. Doornbos, 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. *Alterra-rapport 2177*. Alterra Wageningen University & Research Centre, Wageningen.

# Verklarende woordenlijst

## ***Binomiale verdeling***

Bij de binomiale verdeling is de kans op een bepaalde waarneming in een reeks steeds hetzelfde (zoals bij een dobbelsteen de reeks getallen 1 tot en met 6).

## ***Enkelvoudige aselechte steekproef***

Steekproef getrokken op zodanige wijze, dat iedere waarneming van dezelfde grootte en uit dezelfde populatie (hier: gebied of deel van een gebied) een gelijke kans heeft om te worden getrokken.

## ***Gerichte steekproef***

Steekproef gericht op een niet exact gedefinieerd deel van de populatie (hier: gebied), en getrokken op zodanige wijze, dat de trekkingskans onbekend is.

## ***Gestratificeerde aselechte steekproef***

Steekproef waarbij de populatie (hier: gebied) tevoren is opgedeeld in een aantal cellen van gelijke grootte waarvan uit elk een *enkelvoudige aselechte steekproef* is getrokken.

## ***Kilveren (en egaliseren)***

kilveren is een fijnere vorm van egaliseren met als doel het wegnemen van enkele centimeters tot enkele decimeters in het perceelreliëf. In een kilverbak is plaats voor hooguit enkele kubieke meter grond. Het grovere egaliseren wordt met dozers en graafmachines uitgevoerd.

## ***Kurtosis***

In de kansrekening en de statistiek een maat voor de 'piekvormigheid' of 'platheid' van een kansverdeling. Zowel de parameter zelf als de schatter daarvan worden met kurtosis aangeduid.

## ***Normale kansverdeling***

De normale verdeling geeft de kans op een bepaalde waarneming weer in een symmetrische, klokvormige curve waarbij de kansen gelijkelijk verdeeld zijn.

## ***Patroon***

herhaling van eenvoudiger eenheden of ontstaan uit een herhaalde toepassing van dezelfde regels.

## ***Periodiciteit***

1) Periodieke terugkeer of 2) regelmatigheid of 3) herhaling

## ***Poisson-kansverdeling***

Statistische verdeling die gebruikt kan worden om de kans op het optreden van een bepaalde waarneming te bepalen als het aantal mogelijke steekproeven zeer groot is, en het aantal keren dat de waarneming optreedt zeer laag.

### **Simulatie**

In de statistiek is simulatie een manier om kansverdelingen te bepalen zonder daarvoor een theoretisch statistisch model, zoals de *Poisson-verdeling*, te gebruiken. Simulaties worden vooral gebruikt als onduidelijk is volgens welk statistisch model de kansverdeling kan worden beschreven. Door steeds nieuwe steekproeven uit de beschikbare gegevens te nemen, kan dan toch een realistische kansverdeling worden bepaald.

### **Scheefheid**

Ook wel skewness genoemd. Maat voor de scheefheid van een statistische verdeling die aangeeft of de waarden gelijkmatig/symmetrisch rondom het gemiddelde zijn verdeeld. In dit onderzoek is steeds Pearsons-skewness gebruikt. Hoe groter de Pearsons-skewness des te meer is sprake van een scheve of asymmetrische verdeling rond het gemiddelde. Bij een waarde van 0 is sprake van een niet scheve normale kansverdeling. Een negatief getal duidt op een scheefheid richting de lagere getallen (bijvoorbeeld minder diep dan de gemiddelde ploegdiepte) een positief getal op een scheefheid richting de hogere getallen (bijvoorbeeld dieper dan de gemiddelde ploegdiepte).

### **Standaardafwijking**

De standaardafwijking wordt gebruikt om de spreiding rondom het gemiddelde - de mate waarin de waarden onderling verschillen - van een verdeling aan te geven.

### **Stationariteit**

Vaak gebruikte veronderstelling waarbij er van uitgegaan wordt dat de statistische eigenschappen van een door een *waarschijnlijkheidsverdeling* (kansverdeling) beschreven populatie of tijdreeks onveranderd blijft gedurende een langere periode.

### **Variantie**

De variantie is een maat die iets zegt over de mate waarin een aantal waarden of waarnemingen onderling verschillen. Hoe groter de variantie, hoe meer verschillen, en dus ook hoe meer de waarden van het gemiddelde afwijken.

### **Waarschijnlijkheidsverdeling**

Ook: kansverdeling. Een grafiek die die het geheel van mogelijke waarnemingen beschrijft als een kans/waarschijnlijkheid op een specifieke waarneming. De kansverdeling van de waarnemingen is hierin gebaseerd op een bepaalde reeks standaardafwijkingen. Er zijn vele soorten verdelingen zoals de *normale kansverdeling*, de *lognormale kansverdeling*, de *binomiale verdeling* of de *poisson-verdeling*.



# Overzicht van figuren, tabellen en bijlagen

Figuren:

Figuur 1. Organisatiestructuur van het programma Kennis voor Archeologie.	6
Figuur 2. Voorbeeld van een opstandlegger uit de database van Staatsbosbeheer.	11
Figuur 3. Moderne kavelgrenzen (kadaster) en historische kavelgrenzen vanaf eerste kadastrale opmeting (selectie) binnen het pilotgebied Pingjum(Sûdwest Fryslân). Bron: Willemse et al. 2016.	12
Figuur 4. Maaiveldmutaties berekend door vergelijking van de meetgegevens uit het AHN1 en AHN3 voor het pilotgebied Pingjum (bronhouder: Unie van Waterschappen, dataset: <a href="http://www.ahn.nl/www.pdok.nl">www.ahn.nl/www.pdok.nl</a> ).	13
Figuur 5. Een cultivator/ ondergronder voor het tot 65 cm diep decompacteren van de verdichte ondergrond (foto: Lemke Gmbh/Labrador).	15
Figuur 6. Stoppelcultivator (naar: Lemke Gmbh/karat).	16
Figuur 7. Pingjum. Noordprofiel profielput 3, ter hoogte van boring 9, maaiveld 0,53 m NAP. De grijze lijnen geven de overgangen tussen de geploegde laag A, de decompactielaag B en een laag C die geïnterpreteerd is als een fossiele bodem (naar Lascaris & De Kort 2017, fig. 3.4).	17
Figuur 8. Geschematiseerd bodemprofiel voor (linker kolom) en na woelen met een drieplatige woeler. De verdichte zandige tussenlaag is gebroken (uit: Heunks 1995)	18
Figuur 9. Buisdrainagekaart 2017 (uit: Massop & Schuiling 2017).	20
Figuur 10. Ontwikkeling van de bouwvoor. A1: sterk geschematiseerde weergave van een natuurlijk bodemprofiel langs de stippellijn in A2; A2: hypothetische verbreding van bodemtypen in een reliëfarm dekzandlandschap (bodemcodes volgens de NEBO50); B1: ontwikkeld bodembewerkingsprofiel na jarenlange hoofdgrondbewerking van profiel A1. Een deel van het oorspronkelijke bodemmateriaal is verplaatst; B2: sterk vereenvoudigd patroon van bodembewerkingsdiepten (in cm) na jarenlange hoofdgrondbewerking van landschap B2.	22
Figuur 11. Geschematiseerd bodemprofiel van een met een mengploeg bewerkte veldpodzol. In het profiel is het bewortelingspatroon aangegeven dat is ontstaan na bewerking (oorspronkelijke bewortelingsdiepte was 45 cm; naar: Houben 1980.	24
Figuur 12. De kans op bodemverstoring bij meerjarige teelten (bron: De Vries et al. 2016).	24
Figuur 13. Kans op bodemverstoring door diepe grondbewerking, drainage en sporen van ontginning (bron: De Vries et al. 2016).	25
Figuur 14. Histogram van bouwvoordiepten in de Regio Achterhoek (dataset: Boonstra, Van Heeringen & Schrijvers 2011; statistische bewerking: Willemse & Kocken 2012).	26
Figuur 15. Verschillende detailkarteringsgebieden (kleuren) met in zwart de gekarteerde terreinen met een meer dan 40 cm –Mv vergraven bodem in Oost-Gelderland(naar: Willemse & Kocken 2012, 26).	27
Figuur 16. Gemiddelde bewerkingsdiepten (in klassen) naar percentage van het totaal aantal onderzochte agrarische percelen met aspergeteelt in de gemeente Peel en Maas, met bandbreedte (dataset: Ten Broeke 2012, bijlage 12). In de figuur is bijvoorbeeld af te lezen dat 33 tot 13% (gemiddeld 23,4%) van alle onderzochte percelen (n=64) een bewerkingsdiepte van 40 tot 49 cm kent.	28
Figuur 17. a: sporen van diepploegen onder het omgewerkte dunne plaggendek op de Rimpeleres tePutten; b: gediepploegd perceel (schaalstok = 90 cm); c: gefreesd perceel (schaalstok is 70 cm); d: diepgespit perceel (schaalstok is 80 cm). b t/m d uit: Breimer & Seuer 2014..	31
Figuur 18. Schematische voorstelling van meerjarige ploegrichtingen op een akkerbouwperceel (bron landbouwpraktijkschool/wikiwijs).	32
Figuur 19. Sporen van nieuwetijds maaiveldgreppels en oudere ontginningsgreppels op de Rimpeleres-Putten.	33

Figuur 20. Opdeling van het bodembewerkingsprofiel in verschillende bewerkingslagen. De dikte van elke laag is variabel en afhankelijk van bewerkingstype en bewerkingsfrequentie en het resulterende patroon. Zie tevens figuur 7.	35
Figuur 21. Steekproeftechnieken (naar Cotteleer et al. 2003).	37
Figuur 22. Schematische weergave van de drie onderzoekstrategieën uit het rapport 'verstoorde percelen' (Lascaris & De Kort 2017).	38
Figuur 23a en b. Vergelijking van zes verschillende steekproefrasters voor het schatten van ruimtelijke waarden uitgaande van telkens 68 waarnemingen per perceel. Links staat het steekproefraster. Rechts een gesimuleerde verdeling van bewerkingsdiepten op een samengevoegd perceel <b>a</b> en <b>b</b> (zie tekst). De punten zijn de waarnemingslocaties. In de panelen rechts zijn de waarnemingen geprojecteerd op de bewerkingsdiepte en op de X-as om een indruk te krijgen van het effect van het steekproefraster op de uitkomsten van de bepaling.	40
Figuur 23b	41
Figuur 24. a: systematisch roostergrid met duplometingen op basis van 63 waarnemingen; b) verdicht systematisch roostergrid (7x7) met 3 clusters (3x3) op basis van 63 waarnemingen.	42
Figuur 25. Voorbeeld van een cluster met 7 geneste waarnemingen a t/m g met in totaal 12 paren.	43
Figuur 26. Een variogram met een gecorreleerd deel van de variantie (afstanden tot de stippellijn) en een niet gecorreleerd deel (rechts van de stippellijn). De stippellijn geeft de zogenaamde 'range' aan welke bijvoorbeeld kan worden gebruikt om monsterafstanden te bepalen.	45
Figuur 27. Twee voorbeelden van gestratificeerde clustergrids van gepaarde waarnemingen (accolades) waarbij de richting van de transectengrids wordt bepaald door het voorkomen van patronen (rechter paneel: van boven naar beneden, linker paneel: in twee haakse richtingen).	46
Figuur 28. A: toepassing van een transectengrid; B: toepassing van een sweepsearch <b>B1</b> t/m <b>B4</b> . <b>D</b> is de afstand tussen repeterende patronen (zoals gedempte sloten) en <b>b</b> is de breedte van (in dit geval) de sloot.	47
Figuur 29. Beslisboom voor het kiezen tussen veel gebruikte steekproefrasters met een voorbeeld- keuze voor agrarische percelen (naar De Gruijter et al. 2006, fig. 7.1).	48
Figuur 30. Lage Mierde 1. Vlak op 35 cm –mv (26,88 m NAP) in put 2. De pijl wijst naar het noordwesten (uit: Lascaris & De Kort 2017).	49
Figuur 31. Guts- of steekmonsterboor.	51
Figuur 32. z-waarden aangegeven op een normaalverdeling.	53
Figuur 33. Beslisboom voor het kiezen van een steekproefopzet wanneer de middelen beperkt zijn. Twee keuzevoorbeelden zijn aangegeven. 'Cluster random sampling with regular point configurations' is het zelfde als een gestratificeerde clustersteekproef (naar De Gruijter et al. 2006, fig. 7.5).	54
Figuur 34. Gemiddelde bodemverstoringsdiepte per proefvak uitgezet tegen de standaardafwijking per proefvak. Op basis van de afstand tussen de verschillende proefvakken in de grafiek kunnen de proefvakken in een cluster geplaatst worden (uit: Willemse 2009).	55
Figuur 35. Grafische en statistische uitwerking van een variantieanalyse voor het perceel zoals getoond in figuur 23. De gegevens zijn verzameld langs een transectengrid over de breedte van de zuidelijke helft van dit perceel.	57
Figuur 36. Schematische uitwerking van een clustersteekproef van 4x2x2x2 gepaarde waarnemingen. Zie tevens figuur 25.	59
Figuur 37. Hiërarchie van de clusterwaarnemingen in figuur 36.	60
Figuur 38. Variantie als onderdeel van de totale variantie (y-as) uitgezet tegen de afstand tussen gepaarde waarnemingen (naar: Webster & Butler 1976).	62
Figuur 39. Gesimuleerde clusteranalyse van een eenvoudig bouwvoorprofiel (lagen I/II in figuur 20) van 28,3 ± 4cm dik. Uit het profiel zijn langs een transectengrid op vijf hiërarchische afstanden (0.4m, 0.8m,	

1.6m, 3.2m en 6.4m) 31 bouwvoordieptebe­palin­gen getrokken. Dit resulteerde in 63 gepaarde waarnemingen. Zie hierna figuur 40 voor een uitwerking.	63
Figuur 40. Grafische en statistische uitwerking van een clusteranalyse voor het transect zoals getoond in figuur 39.	64
Figuur 41 Schematische weergave van een gestratificeerde asele­cte steek­proef. De grijze punten zijn de vaste snijpunten van een gelijkbenig driehoeks­grid. De pijlen geven de willekeurig gekozen ver­plaatsing naar het monsterpunt aan.	65

#### Tabellen:

Tabel 1. Werkingsdiepte en bewer­kings­aan­ta­llen voor verschil­len­de hoofd­grond­be­wer­kin­gen en grond­ver­be­te­rin­gen (naar: Heunks 1995; Reubens et al 2012; Ten Broeke 2012; Reuler et al 2014; Breimer & Seuer 2014; Massop & Schuiling 2016; land­bouw­me­cha­nisatie­be­drij­ven Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH).	23
Tabel 2. Gemiddelde verstorings­diep­ten per type (combinatie)­teelt en de geconstateerde stand­aard­af­wij­king van dit gemiddelde voor agrarische per­celen in de gemeente Peel & Maas (dataset: Ten Broeke 2012, bijlage 12).	28
Tabel 3. Statistische samenvatting be­wer­kings­diep­ten uit fasen 1, 2 en 3 bepaald op agrarische per­celen in Zuidwest-Friesland (Pingjum, zandige kleigronden) en Noord-Brabant (Lage Mierde, zandgronden). Gegevensbron: Lascar­is & De Kort 2017, tabellen 1 en 2. Zie bijlage 3 voor de gegevens.	29
Tabel 4. Indeling in bodembewer­kings­ni­veaus volgens figuur 20	30
Tabel 5. Gangbare werkbreedten, werk­diep­ten en patronen van land­bouw­ma­chines (bron: Heunks 1995; Reuler et al 2014; er 2014; Massop & Schuiling 2016; infor­matie land­bouw­me­cha­nisatie­be­drij­ven zoals Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH). Zie ook bijlage 2..	33

#### Bijlagen:

Bijlage 1	Vergelijking methoden en waarnemings­dichtheden veldonderzoek naar bodembewer­kings­diep­ten ( <i>Lascar­is et al.</i> 2019)
Bijlage 2	Gangbare werkbreedten en werk­diep­ten van land­bouw­ma­chines
Bijlage 3	Dataset RAM244

# Bijlage 1 Vergelijking methoden en waarnemingsdichtheden veldonderzoek naar bodembewerkingsdiepten

(overgenomen uit Lascaris *et al.* 2019)

Onderzoek	Methode	Aantal waarnemingen	Waarnemingsdichtheid
2012 Verstoringdiepteonderzoek Gemeente Peel en Maas <sup>105</sup>	zandguts	afgebroken wegens onbevredigend resultaat	
	edelmanhandboor 7 cm diameter	939	5 per ha in een verspringend boorgrid van 40 bij 50 meter
	profielkuilen ca. 50 x 50 cm (tot maximaal 100 x 100 cm); machinaal aangelegd	537	minimaal 3 per ha
2013 Onderzoek naar agrarische verstoringdiepten en vrijstellingen gemeente Woudenberg <sup>106</sup>	guts 3 cm diameter	18 op vier percelen	geen opgave
	profielkuilen 50 x 50 cm; handmatig aangelegd	2	1 per perceel
2014 LTO onderzoek 'Mag het een onsje minder zijn' in de gemeenten Eersel, Teylingen, Midden-Drenthe en Neder-Betuwe <sup>107</sup>	edelmanhandboor en/of zuigboor 7 cm diam.	alleen in de gemeente Teylingen 36 boringen waarvan 12 in de profielkuilen	verschillend: ter aanvulling of vervanging van de profielkuilen
	profielkuilen 100 x 100 cm; machinaal aangelegd	320	4 per perceel
2014 Aanvullend veldonderzoek archeologische verwachtingskaart Gemeenten Katwijk, Noordwijk, Noordwijkerhout, Lisse, Teylingen en Hillegom <sup>108</sup>	edelmanhandboor 7 cm en steekguts 3 cm diameter	10	locatie 1; 10 boringen per ha; twee elkaar kruisende boorraaien;
	edelmanhandboor 7 cm en steekguts 3 cm diameter	20	locatie 2; 10 boringen per ha; twee parallel verlopende boorraaien in een verspringend grid
	edelmanhandboor 7 cm en steekguts 3 cm dia-	8	locatie 3, stap 1; verspringend 40 x 50 m

105 Ten Broeke 2012.

106 Kroes & Kloosterman 2013.

107 Breimer & Sueur 2014. Voor de gemeente Peel en Maas werd gebruik gemaakt van velddata van Ten Broeke 2012.

108 Wink & Sprangers 2014.

Onderzoek	Methode	Aantal waarnemingen	Waarnemingsdichtheid
	meter		boorgrid
	edelmanhandboor 10 cm diameter	9	locatie 3, stap 2; verdichten tot 20x25 m boorgrid (noordoostdeel perceel)
	edelmanhandboor 10 cm diameter	13	locatie 3, stap 3; verdichten tot 10x12,5 m grid (noordoostdeel perceel)
	Envita mechanische steekguts 25 cm diameter	10	locatie 3, 2 raaien, 5 m afstand tussen boringen
2017 Bodemverstoringsonderzoek gemeente Veendam <sup>109</sup>	profielkuilen max. 200 x 100 cm, machinaal aangelegd	75	maximaal 2 per perceel
2017 'Verstoorde percelen' methode-onderzoek Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed <sup>110</sup>	edelmanhandboor 7 cm diameter	16	stap 1; 4 per ha
	edelmanhandboor 7 cm diameter	39	stap 2; verdicht tot 13 per ha
	profielkuilen 100 x 100 cm, handmatig	16	stap 3; 4 per ha

<sup>109</sup> Breimer & Brijker 2017.

<sup>110</sup> Lascaris & de Kort 2017.

## Bijlage 2 Gangbare werkbreedten en werkdiepten van landbouwmachines

Bron: Heunks 1995; Reuler et al 2014; er 2014; Massop & Schuiling 2016; informatie landbouwmechanisatiebedrijven zoals Goudland/Buts Meulepas B.V, Lemke GmbH.

<b>wentelploeg</b>		
<i>aantal scharen</i>	<i>werkbreedte</i>	<i>ploegdiepte</i>
1-scharig	25	22
	30	27
	35	32
	38	33
	40	35
2-scharig	52	22
	60	27
	70	32
	80	35
3-scharig	90	27
	105	32
<i>modern</i>		
2-scharig	60-100	tot 35
3-scharig	90-150	tot 35
4-scharig	120-240	tot 35
5-scharig	150-250	tot 35
6-scharig	180-300	tot 35
woelers op ploegschaar tot 10 cm onder ploegdiepte		
<b>stoppelploeg</b>		
3-scharig	75	15
4-scharig	100	15
5-scharig	125	15
6-scharig	150	15
<b>spitter</b>	200-300	20-35
<b>frezen</b>	200-450	20-35
<b>voorkantcultivator</b>		
<i>tandafstand</i>	<i>werkbreedte</i>	<i>werkdiepte</i>
62,5	250	5-35
50	300	5-35
50	400	5-35
<b>pre-loosener (cultivator)</b>		
70	300	30
100	300	5-35
80	400	5-35
<b>diepwoeler (cultivator)</b>		
50-100	100-225	65
50-80	160	50
125	250	80
<b>diepspitter</b>	300	30-75
<b>diepploeg</b>		
1-scharig	40	50-80
2-scharig	100	30-50
<b>plantmachine</b>	tot 80 cm	tot 80
<b>kluitenbak</b>	10 tot 260 cm	10 tot 260 cm

*alle maten in centimeter*

# Bijlage 3 Dataset RAM244

Bron: Lascaris & De Kort 2017

Pingjum: akkerbouw op klei						Lage Mierde 1: grasiand op zand						Lage Mierde 2: in gras gelegd plaggendek						Lage Mierde 3: in gras gelegd plaggendek							
Fs	Bp	Db	Dg	Dmax		Fs	Bp	Db	Dg	Dmax		Fs	Bp	Db	Dg	Dmax		Fs	Bp	Db	Dg	Dmax			
1	4	26	0,1	26		1	4	40	0,1	40		1	24	40	10	50		1	44	35	0,1	35			
1	5	25	0,1	25		1	5	40	0,1	40		1	25	40	10	50		1	45	35	0,1	35			
1	9	35	0,1	35		1	9	35	0,1	35		1	29	40	20	50		1	49	35	80	115			
1	10	25	15	40		1	10	35	20	55		1	30	40	0	40		1	50	30	10	40			
		<i>mean1</i>	3,8	31,5				<i>mean1</i>	37,5	5,1	42,5				<i>mean1</i>	40,0	10,0	47,5				<i>mean1</i>	33,8	22,6	56,3
		<i>stdev1</i>	4,9	7,2				<i>stdev1</i>	2,9	10,0	8,7				<i>stdev1</i>	0,0	8,2	5,0				<i>stdev1</i>	2,5	38,6	39,2
		<i>skew1</i>	1,9	2,0	0,4			<i>skew1</i>	0,0	2,0	1,5				<i>skew1</i>	0,0	0,0	-2,0				<i>skew1</i>	-2,0	1,9	2,0
2	1	30	0,1	30		2	1	35	0,1	35		2	21	40	5	45		2	41	50	0,1	50			
2	2	30	0,1	30		2	2	35	0,1	35		2	22	40	0,1	40		2	42	45	0,1	45			
2	3	25	0,1	25		2	3	35	15	50		2	23	40	0,1	40		2	43	35	0,1	35			
2	6	35	0,1	35		2	6	35	0,1	35		2	26	40	15	55		2	46	35	0,1	35			
2	7	35	0,1	35		2	7	35	0,1	35		2	27	40	0,1	40		2	47	45	0,1	45			
2	8	30	0,1	30		2	8	30	10	40		2	28	30	0,1	30		2	48	40	0,1	40			
2	11	30	10	40		2	11	35	15	50		2	31	40	5	45		2	51	30	0,1	30			
2	12	30	50	80		2	12	35	25	60		2	32	40	10	50		2	52	40	0,1	40			
2	13	25	0,1	25		2	13	35	10	45		2	33	40	5	45		2	53	35	0,1	35			
		<i>mean2</i>	30,0	6,7	36,7			<i>mean2</i>	34,4	8,4	42,8			<i>mean2</i>	38,9	4,5	43,3			<i>mean2</i>	39,4	0,1	39,4		
		<i>stdev2</i>	3,5	16,5	17,0			<i>stdev2</i>	1,7	9,0	9,1			<i>stdev2</i>	3,3	5,2	7,1			<i>stdev2</i>	6,3	0,0	6,3		
		<i>skew2</i>	0,0	2,8	2,5			<i>skew2</i>	-3,0	0,6	0,9			<i>skew2</i>	-3,0	1,1	-0,3			<i>skew2</i>	0,3	1,2	0,3		
3	p1	27	0,1	27		3	p1	30	0,1	30		3	p5	32	5	40		3	p9	30	0,1	30			
3	p2	32	0,1	32		3	p2	32	25	60		3	p6	30	50	80		3	p10	32	0,1	32			
3	p3	32	15	50		3	p3	37	10	50		3	p7	32	5	35		3	p11	30	0,1	30			
3	p4	28	17	45		3	p4	37	5	40		3	p8	35	15	50		3	p12	30	40	70			
		<i>mean3</i>	29,8	8,1	38,5			<i>mean3</i>	34,0	10,0	45,0			<i>mean3</i>	32,3	18,8	51,3			<i>mean3</i>	30,5	10,1	40,5		
		<i>stdev3</i>	2,6	9,2	10,8			<i>stdev3</i>	3,6	10,8	12,9			<i>stdev3</i>	2,1	21,4	20,2			<i>stdev3</i>	1,0	20,0	19,7		
		<i>skew3</i>	-0,1	0,0	0,0			<i>skew3</i>	-0,3	1,2	0,0			<i>skew3</i>	0,7	1,7	1,5			<i>skew3</i>	2,0	2,0	2,0		
		<b>Gmean</b>	29,4	6,4	35,9			<b>Gmean</b>	35,1	8,0	43,2			<b>Gmean</b>	37,6	9,1	46,2			<b>Gmean</b>	36,0	7,7	43,6		
		<b>Gstdev</b>	3,6	12,9	13,5			<b>Gstdev</b>	2,7	9,2	9,3			<b>Gstdev</b>	4,0	12,1	10,8			<b>Gstdev</b>	6,1	21,0	20,8		
		<b>Gskew</b>	0,2	2,7	2,4			<b>Gskew</b>	-0,1	0,8	0,6			<b>Gskew</b>	-1,2	2,6	1,8			<b>Gskew</b>	1,0	3,1	2,9		

Fs = fase

Bp = boring of profiekuil (p1..)

Db = Diepte onderkant bouwvoor in cm

Dg = Dikte versterking onder bouwvoor in cm

Dmax = Maximale diepte versterking in cm