NN31396.1611

STICHTING VOOR BODEMKARTERING
WAGENINGEN

HET VASTSTELLEN VAN DE RIJPINGSTOESTAND MET BEHULP VAN BODEMFYSISCHE GROOTHEDEN

STI
BO
KA

047-1

Stichting voor Bodemkartering
Postbus 98
6700 AB Wageningen
Tel. 08370-19100

STARINGGEBOUW

Rapport nr. 1611
Project nr. 115.37

HET VASTSTELLEN VAN DE RIJPINGSTOESTAND MET BEHULP VAN BODEMFYSISCHE GROOTHEDEN

C.van Wallenburg

G.A.Vos

ISBN 90 327 0063 4

Wageningen, april 1981

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Stichting voor Bodemkartering en de instantie die de opdracht tot het onderzoek heeft gegeven.

ISN 130345-01

24 JUNI 1981

INHOUD

		Blz.
1	INLEIDING	5
2	HET RIJPINGSPROCES EN DE VERSCHILLENDE RIJPINGS-STADIA	7
3	PROBLEMEN BIJ HET VASTSTELLEN VAN DE RIJPINGS-STADIA EN DE SAMENHANG MET BODEMFYSISCHE GROOT-HEDEN	9
4	BEREKENDE WATERFACTOR ALS MAAT VOOR DE RIJPINGS-TOESTAND	11
4.1	De waterfactor	11
4.2	Toetsing van de formule voor berekening van de waterfactor	11
4.3	Berekende waterfactor in vergelijking met de in het veld geschatte rijpingsklasse	12
5	DICHTHEID VAN DE GROND ALS MAAT VOOR DE RIJPINGS-TOESTAND	15
6	GEMETEN IRREVERSIBEL WATERVERLIES ALS MAAT VOOR DE RIJPINGSTOESTAND	17
6.1	Inleiding	17
6.2	Methode voor het meten van het irreversibele wa-terverlies	17
6.3	Irreversibel waterverlies in vergelijking met de in het veld geschatte rijpingsklasse	21
6.4	Irreversibel waterverlies in vergelijking met de berekende waterfactor	22
6.5	Irreversibel waterverlies in vergelijking met de dichtheid van de grond	23
7	DE MASSAVERHOUDING VAN WATER EN GROND AAN HET EIND VAN HET RIJPINGSPROCES ALS GRENSWAARDE TUSSEN GE-RIJPTE EN NIET-GERIJPTE GROND	27
8	BESPREKING VAN DE RESULTATEN	29
9	ENKELE CONCLUSIES	31
	LITERATUUR	33

FIGUREN

1	Volumes van een niet-gerijpte (A) en een gerijpte grond (B) bij h = -2,5 cm van een uitgedroogde grond (C) bij h = -16.000 cm en een weer herbe-vochtigde gerijpte grond (D) bij h = -2,5 cm (h = drukpotentiaal)	6

Blz.

2 Samenhang tussen de dichtheid van de grond en de in het veld geschatte rijpingsklasse 14

3 Vochtkarakteristieken voor en na het droogproces 18

4 Samenhang tussen het gemeten irreversibele waterverlies en de in het veld geschatte rijpingsklasse voor zavel, lichte klei en zware klei 20

5 Samenhang tussen irreversibel waterverlies en dichtheid van de grond 24

6 Samenhang tussen een combinatie van lutum- en organische-stofgehalte (L+bH) en de massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm aan het eind van het rijpingsproces 26

TABELLEN

1 De waterfactor n_1 of n_2 als criterium voor de indeling in rijpingsklassen 11

2 Gemiddelde waarden voor waterfactor, dichtheid van de grond en massaverhouding van water en grond bij h = -30 cm voor goed gerijpte lagen afkomstig uit de Afzettingen van Duinkerke 0 en Calais, en Duinkerke II en III 12

3 Geschatte rijpingsklasse en berekende waterfactoren (n_2) 13

4 Massaverhouding van water en grond maal 100 van een kleigrond (39% lutum en 3% organische stof) na drogen en na herbevochtiging 17

5 Massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm van gerijpte lagen voor en na het droogproces 21

6 Te verwachten waterverlies per rijpingsklasse voor zavel, lichte klei en zware klei 22

7 Berekende waterfactor n_2 voor 25 lagen met een gemeten irreversibel waterverlies van minder dan 2,5 g/100 g droge grond 23

8 Correlatiecoëfficiënten en regressievergelijkingen voor A (massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm aan het eind van het rijpingsproces) = a (L+bH) + c 28

1 INLEIDING

In dit rapport zal worden ingegaan op de vraag, in hoeverre bodemfysische grootheden, bijvoorbeeld massaverhouding van water en grond, gebruikt kunnen worden bij de vaststelling van de rijpingstoestand. Hiervoor werd behalve van bestaande gegevens ook van een groot aantal nieuwe monsters gebruik gemaakt, die gedurende de periode 1974 tot en met 1976 werden genomen in gerijpte en niet-gerijpte lagen zavel en klei in de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Holland, zowel in Afzettingen van Calais als in Afzettingen van Duinkerke. Bij de profielbeschrijvingen en de bemonstering werd medewerking verleend door M.A.Bazen, J.de Buck, I.Ovaa en K.Wagenaar. De metingen in het regio-laboratorium van de Stichting voor Bodemkartering te Boskoop werden uitgevoerd door J.de Buck.
In dit rapport zal niet worden ingegaan op profielkenmerken en dergelijke die kunnen worden gebruikt bij het vaststellen van de mate van rijping. De gegevens hierover zullen te zijner tijd in een rapport worden vastgelegd.

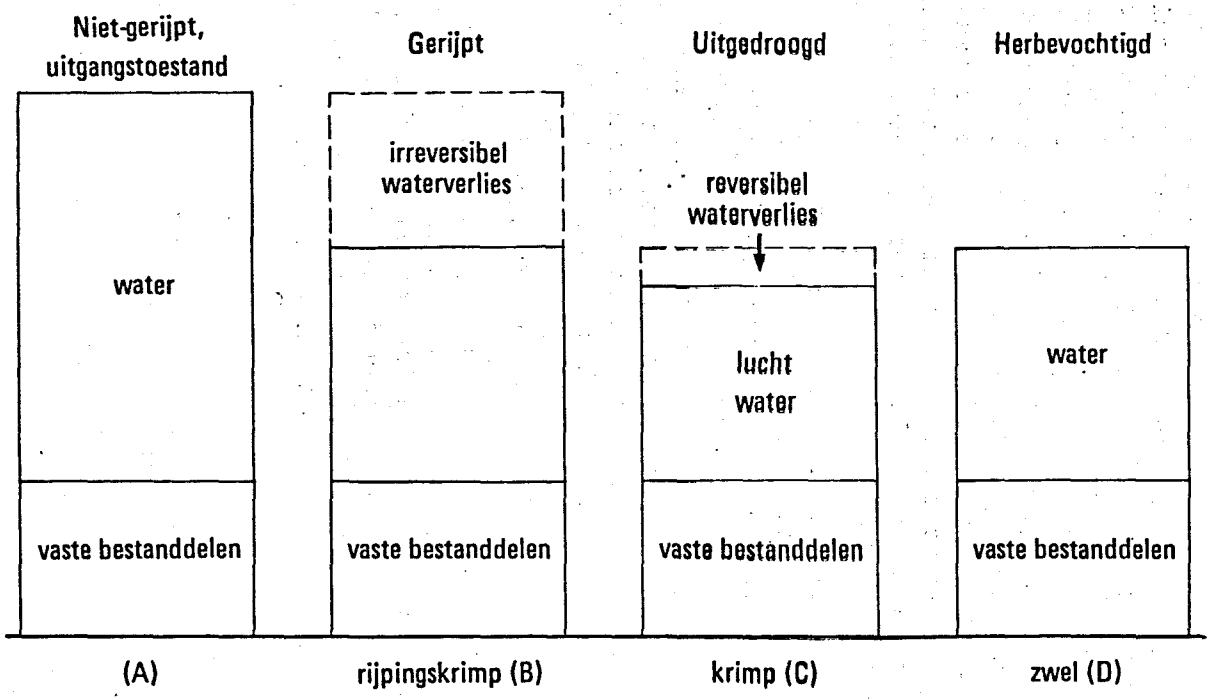

Fig. 1 Volumes van een niet-gerijpte (A) en een gerijpte grond (B) bij h = –2,5 cm, van een uitgedroogde grond (C) bij h = –16000 cm en een herbevochtigde gerijpte grond (D) bij h = – 2,5 cm (h = drukpotentiaal)

2 HET RIJPINGSPROCES EN DE VERSCHILLENDE RIJPINGSSTADIA

Het rijpingsproces in een grond(laag) heeft een begin- en een eindstadium. Het beginstadium wordt gelijk gesteld met het verse, pas afgezette sediment. De grond gaat rijpen na de sedimentatie, hetzij door vochtonttrekking door planten hetzij door andere oorzaken, bijvoorbeeld door ontwatering.

Als het rijpingsproces het eindstadium heeft bereikt, zijn er aanzienlijke veranderingen opgetreden in vochtgehalte, dichtheid van de grond (dus ook in volumefractie poriën) en meestal ook in de structuur. De grond is ten gevolge van waterverlies gekrompen en steviger geworden. Aangenomen wordt dat het eindstadium van het rijpingsproces bereikt is, als er uitgaande van een bepaald referentieniveau (bijv. h = -2,5 cm[1]) ook bij herhaald uitdrogen geen waterverlies meer optreedt. Bij uitdrogen treedt dan wel krimp op, maar bij herbevochtiging wordt zoveel water opgenomen (zwel) dat het beginvolume weer wordt bereikt. Er ontstaat dus geen blijvende volumeverandering meer (zie fig. 1). Krimp en zwel zijn normale verschijnselen van goed gerijpte zavel- en kleigronden. De eenmalige krimp die bij het rijpingsproces optreedt, wordt ook wel aangeduid met irreversibele krimp.

De mate van rijping kan relatief worden benaderd of als absolute grootheid worden gegeven. Zuur (1958) en Pons en Zonneveld (1965) kozen voor een relatieve benadering. Een laag zavel met ca. 15% lutum en 1,5% organische stof moet volgens deze beschouwingswijze na de afzetting dezelfde rijpingsstadia doorlopen als een laag klei met 45% lutum en 4,5% organische stof, hoewel het waterverlies als gevolg van de bij de rijping voorkomende irreversibele krimp in het laatste geval veel groter is. In principe is de relatieve rijpingstoestand vergelijkbaar met het door Schothorst (1968) ingevoerde begrip "relatieve dichtheid".

Bij de absolute benadering van de rijpingstoestand wordt de mate waarin de grond irreversibel water verliest (en dus krimpt) absoluut benaderd, dat wil zeggen dat een waterverlies van 10 g water per 100 g droge grond voor zavel in dezelfde mate geldt als voor klei. Zuiver bodemkundig gezien lijkt een relatieve benadering van de fysische rijping een voor de hand liggende keuze.

[1]) h = drukpotentiaal van het bodemvocht, vroeger aangeduid als vochtspanning.

3 PROBLEMEN BIJ HET VASTSTELLEN VAN RIJPINGSSTADIA EN DE SAMENHANG MET FYSISCHE GROOTHEDEN

In het Systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1966) is de mate waarin de grond gerijpt is, een differentiërend kenmerk voor de indeling van de gronden. Aangenomen wordt dat een differentiërend kenmerk zoveel mogelijk in het veld of op een laboratorium meetbaar moet zijn.

In de tijd dat het Systeem van bodemclassificatie in ontwikkeling was, werd door Zuur (1958) onderzoek gedaan naar de voortgang van de fysische rijping van drooggevallen IJsselmeerpolders. Er werd daarbij voor een bepaalde rijpingstoestand samenhang geconstateerd tussen het watergehalte') enerzijds en het lutum- en organische-stofgehalte anderzijds. Het zou dus mogelijk zijn de mate van rijping met behulp van bovengenoemde grootheden vast te stellen.

Voortbouwend op het onderzoek in de IJsselmeerpolders is in het Systeem van bodemclassificatie de mate van rijping van een grond ingedeeld in vijf klassen. Deze klassen worden omschreven op grond van de consistentie van de grond. De door Zuur gevonden relatie tussen de mate van rijping van de grond uitgedrukt als waterfactor en het watergehalte , lutum- en organische-stofgehalte, werd niet zonder meer overgenomen voor alle Nederlandse alluviale gronden. Pons en Zonneveld (1965) deden echter wel een poging om via de waterfactor de verschillende rijpingsstadia van de grond te karakteriseren. De veronderstelde samenhang tussen waterfactor en rijpingsklassen is echter nooit op bruikbaarheid voor de karteringen onderzocht. Toch wordt de waterfactor (ook wel aangeduid met rijpingsfactor) gebruikt om de rijpingstoestand aan te geven. Bij de documentatie van de kaarteenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000, heeft echter het gebruik van de waterfactor in een aantal gevallen niet tot goede resultaten geleid. Het blijkt vaak niet mogelijk een samenhang te vinden tussen wat men in het veld met betrekking tot de rijpingstoestand (veelal de consistentie) waarneemt en de waterfactor die men uit gemeten bodemfysische grootheden kan afleiden. De vraag is dan ook in hoeverre bodemfysische grootheden, zoals bijvoorbeeld het watergehalte of de dichtheid van de grond, gebruikt kunnen worden bij het vaststellen van de mate van rijping. Vinden we hiervoor een betrouwbare methode, dan kan ook worden nagegaan in hoeverre in het veld de consistentie kan worden gebruikt bij het schatten van de rijpingsklasse. In het Systeem van bodemclassificatie is men hierover niet optimistisch, gezien de term "vrij subjectieve veldwaarnemingen over de consistentie". Behalve de consistentie kunnen mogelijk ook andere profielkenmerken worden gebruikt om bepaalde rijpingsstadia vast te stellen.

') In de betekenis van massaverhouding van water en grond, vroeger aangeduid als A-cijfer.

Bij de bodemfysische karakterisering van het rijpingsproces wordt getracht een bepaald rijpingsstadium via bodemfysische grootheden zo goed mogelijk vast te stellen. Daarbij zullen de waterfactor, de dichtheid van de grond en het waterverlies dat een gevolg is van de rijping, worden besproken. De waterfactor wordt berekend; de dichtheid van de grond en het waterverlies worden direct gemeten.

4 BEREKENDE WATERFACTOR ALS MAAT VOOR DE RIJPINGSTOESTAND

4.1 De waterfactor

Zuur (1958) vond voor gronden in de IJsselmeerpolders de volgende samenhang tussen de massaverhouding van water en grond (A-cijfer) en het lutum- en organische-stofgehalte:

$$A = n_2(L+bH) + 20.$$

Hierin zijn L en H aangegeven in grammen per 100 gram droge grond, en wel van respectievelijk lutum en organische stof; A is de massaverhouding van water en grond maal 100; n_2 is de waterfactor en b het getal dat de verhouding aangeeft tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en van het lutum. Naarmate de rijping toeneemt, wordt n_2 kleiner.
In niet-geaëreerde lagen is A de massaverhouding van water en grond maal 100 bij volledige verzadiging. Voor geaëreerde lagen is het gebruikelijk voor de berekening van de waterfactor de massaverhouding van water en grond in het voorjaar te nemen. Gebruikt men voor geaëreerde lagen ook de massaverhouding van water en grond bij volledige verzadiging (AO) dan wordt niet van waterfactor n_2 gesproken, maar van pakkingsfactor m (De Glopper, 1973).
De pakkingsfactor wordt dan berekend uit:

$$AO = m(L+bH) + 20.$$

Pons en Zonneveld (1965) geven voor de berekening van de waterfactor de voorkeur aan de formule:

$$A = n_1(L+bH) + 0,2(100-L-H).$$

Het is deze formule die ook in het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging, z.j.) is opgenomen.
Pons en Zonneveld (1965) gebruiken voor de vijf rijpingsklassen de berekende waterfactor n_1 als indelingscriterium (tabel 1).

Tabel 1 De waterfactor n_1 of n_2 als criterium voor de indeling in rijpingsklassen

Benaming van de rijpingsklasse	n_1 berekend uit: $A = n_1(L+bH) + 0,2(100-L-H)$	n_2 berekend uit: $A = n_2(L+bH) + 20$
Gerijpt	<0,7	<0,5
Bijna gerijpt	0,7-1,0	0,5-0,9
Half gerijpt	1,0-1,4	0,9-1,4
Bijna ongerijpt	1,4-2,0	1,4-2,0
Geheel ongerijpt	>2,0	>2,0

4.2 Toetsing van de formule voor berekening van de waterfactor

De formule voor de berekening van de waterfactor is getoetst voor lagen zavel en klei van goed ontwaterde kleigronden, waarvan de G-horizont pas begint beneden 150 cm - mv. De bemonsterde C1- en C2-

horizonten komen uit het gedeelte van het profiel tussen de A-horizont en 50 cm diepte. Aangenomen is dat onder de bovengenoemde voorwaarden deze lagen volledig gerijpt zijn. Getoetst is de door Zuur gevonden relatie van de massaverhouding van water en grond met het lutum- en organische-stofgehalte, namelijk:

$$A = n_2(L+bH) + 20.$$

Voor A wordt de massaverhouding van water en grond maal 100 bij h')= -30 cm (pF 1,5) genomen, een waarde die voor lagen tussen de A-horizont en 50 cm diepte een goede benadering is voor het zogenaamde voorjaarsvochtgehalte van deze gronden. In de combinatie L+bH is voor b de waarde 4 gekozen. In het algemeen heeft bij deze goed gerijpte C-horizonten de waarde van b geen grote invloed op de berekende waterfactor. In tabel 2 zijn de gemiddelde waarden voor de waterfactor, de dichtheid van de grond en de massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -30 cm vermeld. De waterfactor beantwoordt zeker voor de Afzettingen van Calais niet aan de verwachtingen, namelijk 0,5 of minder.

De spreiding in de berekende waarden van de waterfactor is vrij groot. Desondanks is voor deze en enkele andere bodemfysische grootheden een systematisch verschil geconstateerd tussen de monsters afkomstig uit de Afzettingen van Duinkerke II en III en die uit de Afzettingen van Calais en van Duinkerke O (zie tabel 2).

De conclusie ligt voor de hand: de formule $A = n_2(L+bH) + 20$ is niet zonder meer geschikt om toegepast te worden voor alle in Nederland voorkomende mariene sedimenten. We komen hier later nog op terug.

Tabel 2 Gemiddelde waarden voor waterfactor, dichtheid van de grond en massaverhouding van water en grond bij h = -30 cm voor goed gerijpte lagen afkomstig uit de Afzettingen van Duinkerke O en Calais, en Duinkerke II en III

Afzettingen	Aantal monsters	Lutumgehalte (%)	Humusgehalte (%)	Waterfactor	Dichtheid van de grond in g cm^{-3}	Massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -30 cm
Calais en Duinkerke O	11	12-47	0,4-2,8	0,62 ± 0,21	1,21 ± 0,21	43 ± 15
Duinkerke II en III	14	9-51	0,9-3,4	0,39 ± 0,15	1,35 ± 0,07	32 ± 5

4.3 Berekende waterfactor in vergelijking met de in het veld geschatte rijpingsklasse

Voor alle onderzochte monsters waarvan in het veld de rijpingsklasse is geschat, is ook de waterfactor berekend met:

') Drukpotentiaal vroeger ook wel aangeduid als vochtspanning.

$$n = \frac{A - 20}{L + 4H}.$$

Hierin zijn L en H uitgedrukt in gram lutum respectievelijk organische stof per 100 gram droge grond; A is de massaverhouding van water en grond maal 100 bij bemonstering (veldvochtgehalte). De resultaten van de berekening zijn vermeld in tabel 3. Er is weinig overeenstemming tussen de indeling in rijpingsklassen die berust op de berekende waterfactor, en de geschatte rijpingsklassen.

Tabel 3 Geschatte rijpingsklasse en berekende waterfactoren (n_2)

Rijpingsklasse	Aantal monsters	Rekenkundig gemiddelde van n_2	Mediaan van n_2	Percentage per rijpingsklasse dat voldoet aan de norm van tabel 1
Gerijpt	34	0,8 ± 0,3	0,7	15% <0,5
Bijna gerijpt	24	1,2 ± 0,4	1,1	17% van 0,5-0,9
Half gerijpt	17	1,3 ± 0,3	1,3	53% van 0,9-1,4
Ongerijpt')	11	1,5 ± 0,4	1,3	53% >1,4

') Bijna ongerijpt en geheel ongerijpt samengevoegd tot ongerijpt.

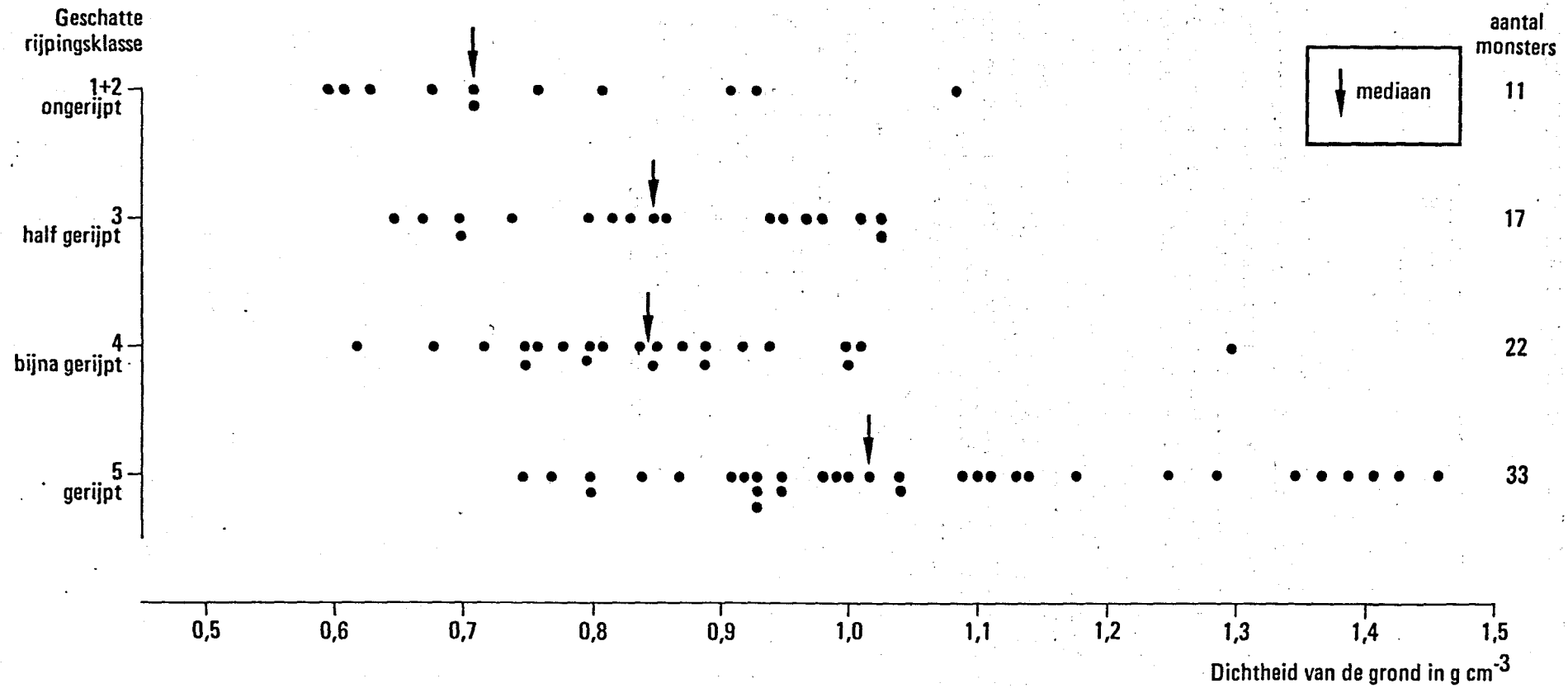

Fig. 2 Samenhang tussen de dichtheid van de grond en de in het veld geschatte rijpingsklasse

5 GEMETEN DICHTHEID VAN DE GROND ALS MAAT VOOR DE RIJPINGSTOESTAND

Met de dichtheid van de grond of volumegewicht wordt aangegeven de massa (in g) van 1 cm^3 ongestoorde bij 105°C gedroogde grond. Hoe geringer de dichtheid is, des te meer ruimte is er in 1 cm^3 grond voor lucht en water.

Het is bekend dat zeer slappe sedimenten, doordat ze veel water bevatten, een geringe dichtheid van de grond hebben. De dichtheid van de grond zou dus een maat kunnen zijn om de rijpingstoestand vast te stellen. Het voordeel van de dichtheid van de grond ten opzichte van de waterfactor is, dat hij niet hoeft te worden afgeleid uit andere bodemfactoren, zoals massaverhouding van water en droge grond, lutum- en humusgehalte, maar rechtstreeks kan worden gemeten. ?

In figuur 2 is voor de onderzochte monsters de samenhang gegeven tussen de in het veld geschatte rijpingsklasse en de gemeten dichtheid van de grond. Duidelijk is dat vrijwel alle lagen met een dichtheid groter dan 1,05 g cm^{-3} als gerijpt worden geschat. Bij lagen met een dichtheid van 0,60-1,05 g cm^{-3} is er geen samenhang tussen de geschatte rijpingsklasse en de grootte van de dichtheid van de grond. Uit tabel 2 blijkt dat voor goed gerijpte lagen er nog een verschil bestaat tussen de afzettingen van voor (Calais en Duinkerke O) en na de jaartelling (Duinkerke II en III): de Afzettingen van Calais en Duinkerke O worden bij een geringe dichtheid van de grond als gerijpt aangemerkt. Uit de gegevens van tabel 2 kan de dichtheid van de grond worden berekend, die kan worden gebruikt als een redelijke benadering van de grens tussen gerijpte en niet-gerijpte grond. Deze grenswaarde van de dichtheid van de grond berekend als gemiddelde dichtheid min 1,5 maal de standaardafwijking, is 0,90 g cm^{-3} voor lagen uit de Afzettingen van Calais en Duinkerke O en 1,24 g cm^{-3} voor de lagen uit de Afzettingen van Duinkerke II en III. Hiermee is ook de grote spreiding in de dichtheid van de grond verklaard die in figuur 2 bij de klasse gerijpt voorkomt.

6 GEMETEN IRREVERSIBEL WATERVERLIES ALS MAAT VOOR DE RIJPINGSKLASSE

6.1 Inleiding

Bij rijping verliest een grond veel water. Na herbevochtiging heeft een gerijpte grond niet meer het vermogen het watergehalte van de uitgangssituatie aan te nemen. Dit betekent dat het waterverlies gedurende het rijpingsproces irreversibel is en we gebruiken daarom de term "irreversibel waterverlies" of "eenmalig waterverlies".

Een methode om dit waterverlies te meten werd ontwikkeld en getoetst en daarna gebruikt voor het vaststellen van de mate van rijping van een groot aantal zavel- en kleilagen. Het hiervoor gebruikte monstermateriaal is afkomstig van:

1	Verdronken Land van Saaftinge	11 monsters
2	Slikken en gorzen bij Ooltgensplaat	6 monsters
3	Dordtsche Biesbosch	10 monsters
4	West-Friesland	11 monsters
5	Delfland	10 monsters
6	Beemster	33 monsters
7	Overige droogmakerijen in Zuid- en Noord-Holland	21 monsters

Van al deze monsters zijn onder meer bepaald: lutum- en organischestofgehalte, koolzure kalkgehalte, pH(KCl), de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm vóór het drogen van de monsters (A1) en de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm na langzaam drogen en herbevochtigen (A2). Het verschil tussen de gemeten massaverhoudingen (A1 - A2) geeft het waterverlies aan. Het wordt uitgedrukt in g water per 100 g droge grond. Van een aantal monsters werd zowel voor als na het drogen een volledige vochtkarakteristiek bepaald.

6.2 Methode voor het meten van het irreversibele waterverlies

Zuur (1958) beschrijft een proef waarbij een monster uit een jonge kleigrond door kneden in verschillende stadia van waterverlies werd gebracht.Na elk stadium werd de klei in de gelegenheid gesteld water op te nemen (tabel 4).

Tabel 4 Massaverhouding van water en grond maal 100 van een kleigrond (39% lutum en 3% organische stof)na drogen en na herbevochtiging

Mate van waterverlies	Massaverhouding van water en grond maal 100	
	na drogen	na herbevochtiging
0%	135	
ca. 20%	106	108
ca. 50%	66	77
ca. 80%	23	52
ca.100% (luchtdroog)	4	43

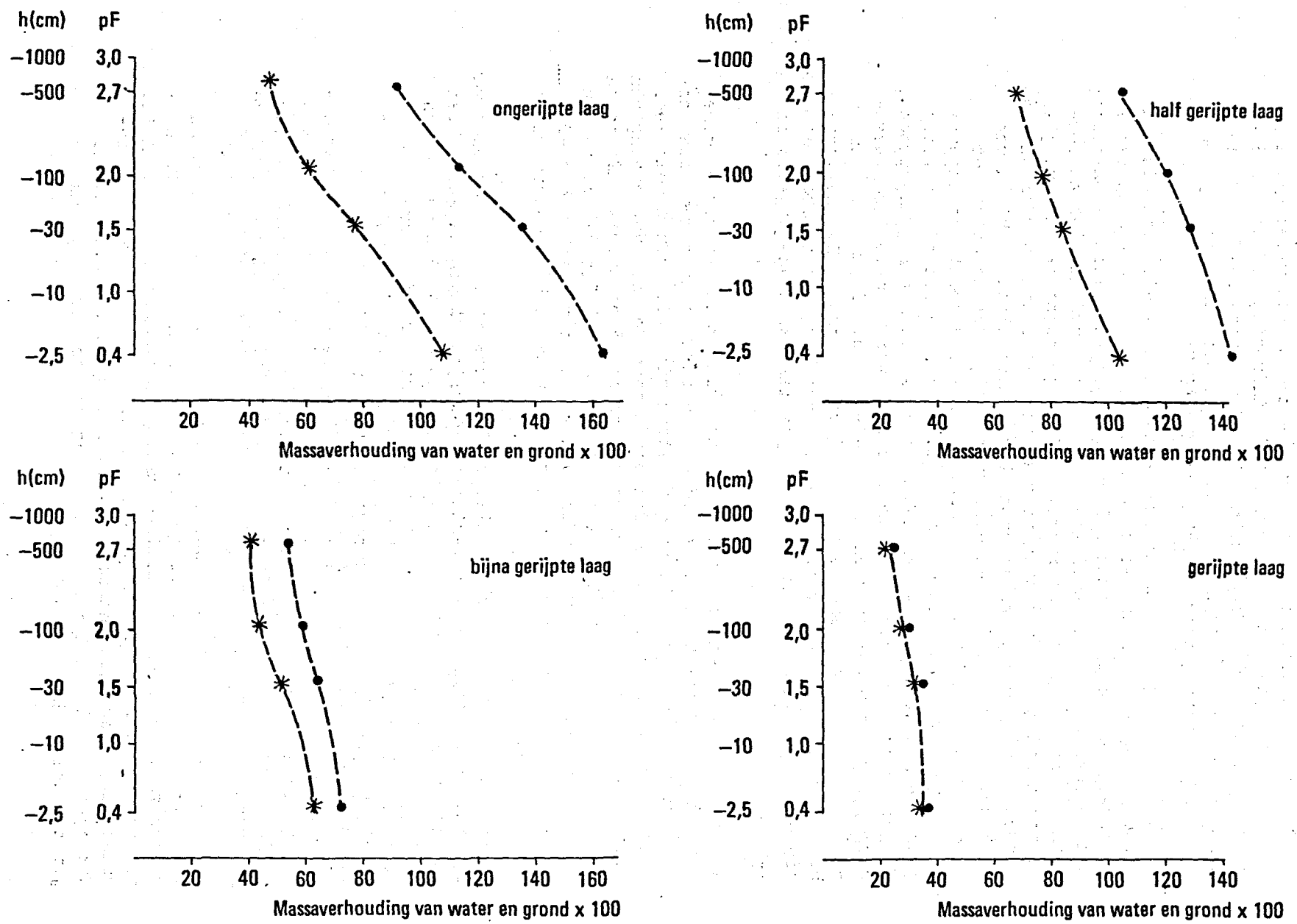

Fig. 3 Vochtkarakteristieken voor (•) en na (✳) het droogproces

Het watergehalte van 43 (massaverhouding van water en grond maal 100) kan worden beschouwd als dat van een gerijpte grond en komt overeen met een waterfactor van ongeveer 0,4. Het waterverlies dat een gevolg is van de irreversibele indroging bedraagt 135-43= 92 g water per 100 g droge grond. Van der Sluijs heeft het rijpingsproces nagebootst door middel van vochtonttrekking op een zandbak (Stichting voor Bodemkartering, 1967).

Uit beide methoden is een nieuwe methode ontwikkeld, die als routinebepaling kan worden gebruikt om het irreversibele waterverlies te meten. Het gemeten waterverlies dat door simulatie van het rijpingsproces wordt verkregen kan worden beschouwd als het te verwachten irreversibele waterverlies bij rijping onder natuurlijke omstandigheden. Van gestoken ringmonsters (100 cm^3) worden de massaverhoudingen van water en grond bij bemonstering en bij h van -2,5 cm, -30 cm, -100 cm en -500 cm bepaald. Daarna wordt het monster gedurende circa twee maanden weggezet, zodat het langzaam kan drogen tot "luchtdroge" toestand. Daarbij wordt er van uitgegaan dat het droogproces een nabootsing is van het rijpingsproces. Na herbevochtiging gedurende twee maanden wordt opnieuw de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm, -30 cm, -100 cm en -500 cm gemeten, alsmede de dichtheid van de grond. Enkele voorbeelden van de op deze wijze bepaalde vochtkarakteristieken van drie niet-gerijpte lagen en van één gerijpte laag zijn weergegeven in figuur 3.

Aan het eind van het droogproces moeten watergehalten worden gemeten die ook na herhaald drogen en herbevochtigen niet meer noemenswaard mogen veranderen. Veertig monsters zijn voor een tweede keer gedroogd en herbevochtigd. De relatie tussen de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm na het eerste droogproces (A2) en na het tweede droogproces (A3) is als volgt: A3 = 1,01·A2-0,6. Na één keer drogen is de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm al voldoende betrouwbaar om hieruit het irreversibele waterverlies vast te stellen.

Niet-gerijpte lagen zavel en klei zullen afhankelijk van de mate van rijping irreversibel water verliezen. Gerijpte lagen zavel en klei mogen geen meetbaar waterverlies te zien geven. Om dit te toetsen werd voor gerijpte lagen zavel en klei nagegaan of waterverlies optrad. Uit de resultaten blijkt, dat dit niet of nauwelijks het geval was (tabel 5). Bij sommige monsters is enige zwel gemeten, met andere woorden: na drogen en herbevochtigen is de massaverhouding van water en grond groter dan voor het drogen en dit veroorzaakt als het ware een negatief waterverlies. Zwel is zonder meer storend, omdat hierdoor het gemeten waterverlies kleiner is dan het in werkelijkheid is.

Er is gemeten bij een drukpotentiaal van -2,5 cm, omdat deze het best overeenkomt met de zuigspanning van pas afgezette lagen ongerijpte zavel en klei. Een nadeel van het meten bij h = -2,5 cm is, dat er gemakkelijk fouten in de meetresultaten voorkomen ten gevolge van water dat niet door de grond is gebonden. Voor bijna gerijpte en half gerijpte lagen kan echter zonder enig bezwaar gemeten worden bij h = -30 cm.

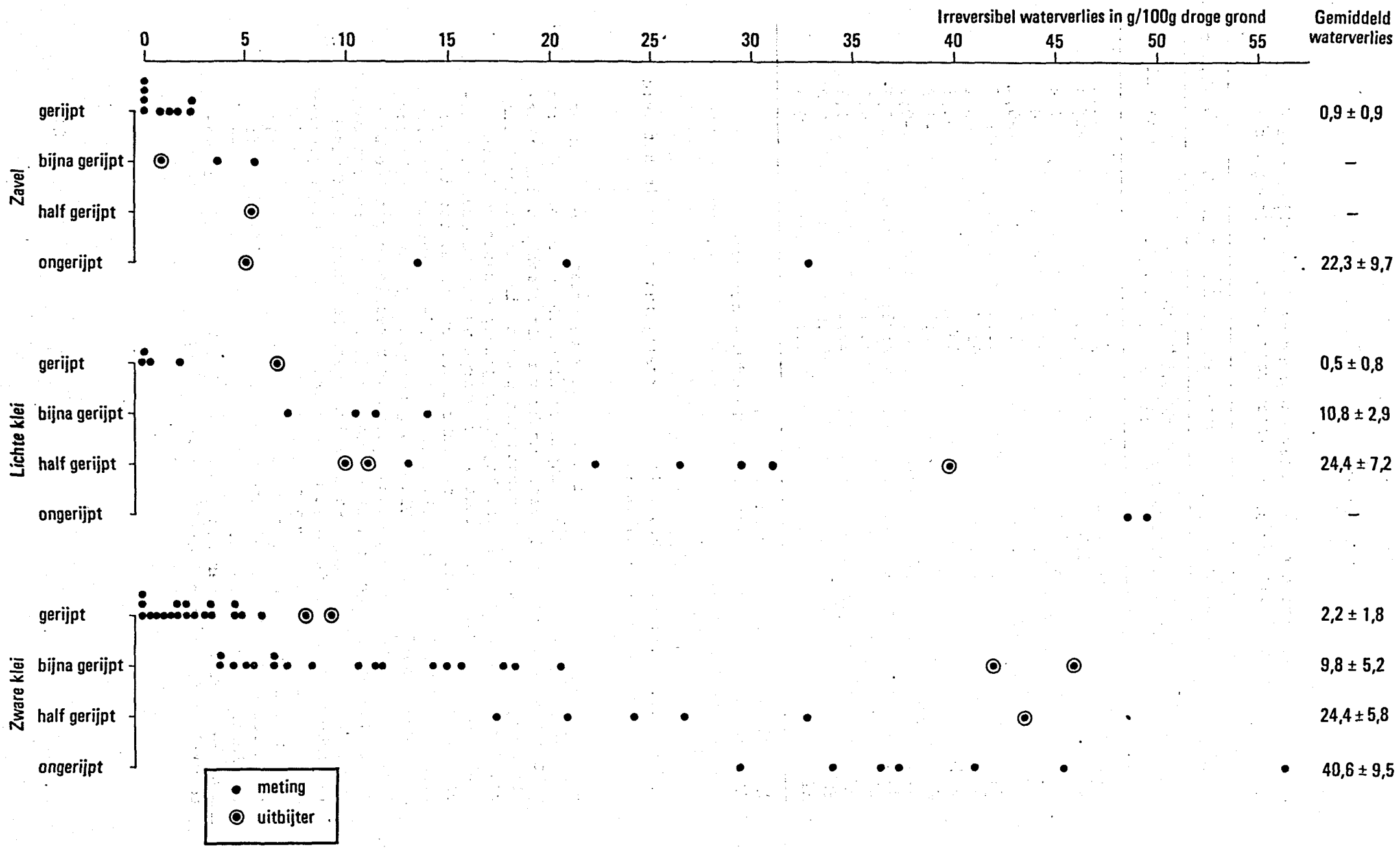

Fig. 4 Samenhang tussen het gemeten irreversibele waterverlies en de in het veld geschatte rijpingsklasse voor zavel, lichte klei en zware klei

115.37 / 81104-4

Tabel 5 Massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm (pF 0,4) van gerijpte') lagen voor en na het droogproces

Lutumgehalte in % op de grond	Massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm		
	voor het drogen	na langdurig drogen en herbevochtiging	Verschil
16")	52,2	51,0	1,2
20	38,0	39,7	-1,7
21")	45,5	44,1	1,4
22	37,0	37,0	0
25	35,3	35,5	-0,2
31	48,7	51,2	-2,5
38")	77,1	71,7	5,4
38")	53,8	54,1	-0,3
41	38,5	40,3	-1,8
45	33,9	34,5	-0,6
45	76,5	75,8	0,7
47	51,5	51,2	0,3
47	56,4	55,1	1,3
50	73,5	71,5	2,0
62	43,7	43,4	0,3

') Gerijpt is vastgesteld in het veld
") A1-horizont; overige lagen zijn C1- of C2-horizonten

6.3 Irreversibel waterverlies in vergelijking met de in het veld geschatte rijpingsklasse

In het Systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker en Schelling, 1966) worden vijf rijpingsklassen onderscheiden, die met behulp van de consistentie zijn omschreven. De samenhang tussen deze in het veld geschatte rijpingsklassen en de in het laboratorium gemeten hoeveelheid water die bij de rijpingsprocessen verloren gaat (irreversibel waterverlies), is weergegeven in figuur 4. Daarbij is rekening gehouden met de zwaarte van de grond, die is ingedeeld in: zavel (8-25% lutum), lichte klei (25-35% lutum) en zware klei (meer dan 35% lutum). Uit de gegevens van figuur 4 blijkt dat er een matige tot goede samenhang bestaat tussen de geschatte rijpingsklasse en het gemeten irreversibele waterverlies. Er zijn wat (18%) uitbijters, die met een cirkeltje zijn weergegeven. Tevens is er een overlap in de gemeten waterverliezen van de rijpingsklassen. Voor lichte klei en zware klei wordt echter een voldoende duidelijk beeld verkregen over de samenhang tussen de geschatte rijpingsklasse en het gemeten waterverlies. Bij de zavellagen is dit in mindere mate het geval. Ook blijkt dat in de klasse "gerijpt" nog een aanzienlijk percentage monsters voorkomt waarbij enig waterverlies is gemeten, vooral bij zware klei.

Tabel 6 Te verwachten waterverlies per rijpingsklasse voor zavel, lichte klei en zware klei

Rijpingsklasse	Zwaarteklasse	Irreversibel waterverlies in g per 100 g droge grond
Ongerijpt')	zavel	>20
	lichte klei	>30
	zware klei	>34
Half gerijpt	zavel	8-20
	lichte klei	14-30
	zware klei	18-34
Bijna gerijpt	zavel	2- 5
	lichte klei	3-14
	zware klei	5-18
Gerijpt	zavel	< 2,5
	lichte klei	< 3
	zware klei	< 5

') De rijpingsklassen "bijna ongerijpt" en "geheel ongerijpt" zijn samengevoegd.

Met behulp van de gegevens van figuur 4 is in tabel 6 voor zavel, lichte klei en zware klei bij benadering aangegeven hoe groot per rijpingsklasse het waterverlies is. Gewezen wordt op de betrekkelijkheid van de grenzen: een klasse 14-30 moet worden gelezen als 12 à 16 tot 28 à 32. Bij monsters met veel organische stof kan bij een gegeven rijpingsklasse het gemeten waterverlies groter zijn dan in de tabel is aangegeven. Ongeveer 75% van de monsters die in figuur 4 zijn weergegeven, voldoet aan de indeling van tabel 6. Daarbij moet men bedenken dat ook de geschatte rijpingsklasse slechts een benadering is en dat bij de met een cirkeltje aangegeven punten ook de in het veld geschatte rijpingsklasse foutief kan zijn.

6.4 Irreversibel waterverlies in vergelijking met de berekende waterfactor

Van alle lagen waarvan het waterverlies minder is dan 2,5 g water per 100 g droge grond is de waterfactor n berekend met behulp van $A = n_2(L+4H) + 20$. A is hier de massaverhouding van water en grond maal 100 bij de bemonstering (veldvochtgehalte). Verwacht mag worden dat de waterfactor voor deze lagen, waarin het rijpingsproces voltooid of nagenoeg voltooid is, niet veel afwijkt van 0,5. De resultaten van de 25 monsters (tabel 7) geven echter aan, dat de berekende waterfactor varieert van 0,3 tot 1,7.

Tabel 7 Berekende waterfactor n_2') voor 25 lagen met een gemeten irreversibel waterverlies van minder dan 2,5 g/100 g droge grond

Berekende waterfactor								
0,3								
0,4	0,4	0,4	0,4					
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,7	0,7							
0,8	0,8							
0,9	0,9							
1,1								
1,4	1,4							
1,5								
1,7								

gemiddelde waterfactor is 0,8 ± 0,4

') $n_2 = \frac{A - 20}{L + 4H}$

A = massaverhouding van water en grond maal 100 bij de bemonstering (veldvochtgehalte)
L = lutumgehalte
H = organische-stofgehalte

6.5 Irreversibel waterverlies in vergelijking met de dichtheid van de grond

In figuur 5 wordt de samenhang gegeven tussen het gemeten waterverlies en de dichtheid van de grond. Beide gegevens zijn in het laboratorium bepaald en wel aan die monsters die voor figuur 4 zijn gebruikt.

Het is duidelijk dat uitgaande van de dichtheid van de grond het niet goed mogelijk is, het irreversibele waterverlies en de daarmee samenhangende rijpingsklasse te schatten, omdat vooral voor lichte en zware klei de spreiding te groot is. Zo komt een dichtheid van 1,00 g cm^{-3} overeen met een irreversibel waterverlies van 0-15 g per 100 g droge grond, en een dichtheid van 0,80 g cm^{-3} met een waterverlies van 5-30 g per 100 g droge grond. Het is echter wel mogelijk voor enkele rijpingsklassen aan de hand van deze figuur per zwaarteklasse enkele grenswaarden vast te stellen.

Gerijpte zavel heeft een dichtheid van de grond groter dan 1,30 g cm^{-3}, gerijpte lichte klei groter dan 1,10 g cm^{-3}. Voor zware klei is geen grenswaarde op te geven. Zware klei met een dichtheid groter dan 1,10 g cm^{-3} is in elk geval gerijpt. Dit betekent echter niet dat zware klei met een dichtheid kleiner dan 1,10 g cm^{-3} altijd niet-gerijpt is.

Zavel met een dichtheid kleiner dan ca. 0,90 g cm^{-3} is meestal ongerijpt. Bij lichte klei en zware klei zijn dergelijke grenswaar-

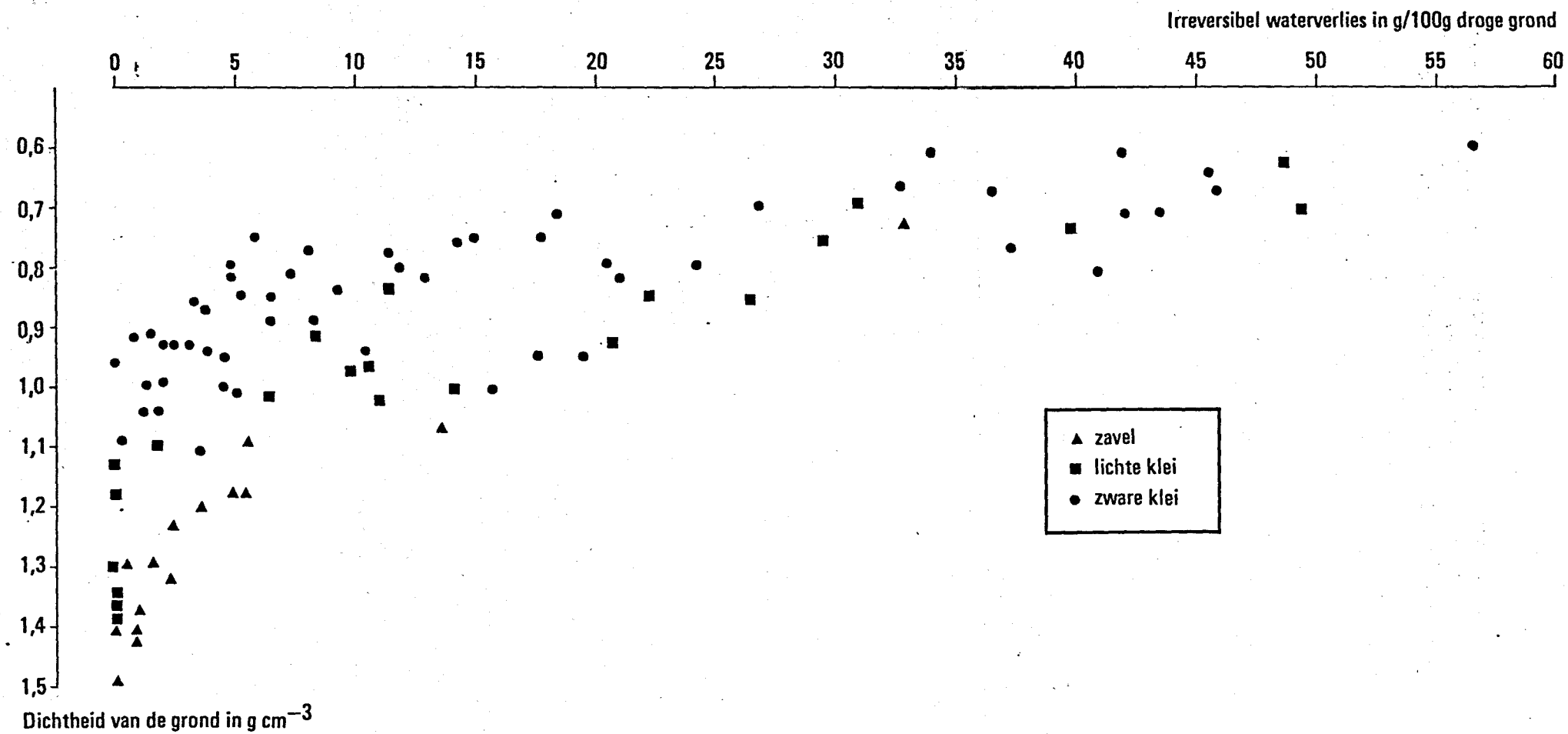

Fig. 5 Samenhang tussen irreversibel waterverlies en dichtheid van de grond

den moeilijk aan te geven. Wel kan worden vastgesteld dat een grond met een dichtheid kleiner dan 0,70 g cm^{-3} bij rijping altijd een waterverlies oplevert van meer dan 25 g/100 g droge grond.

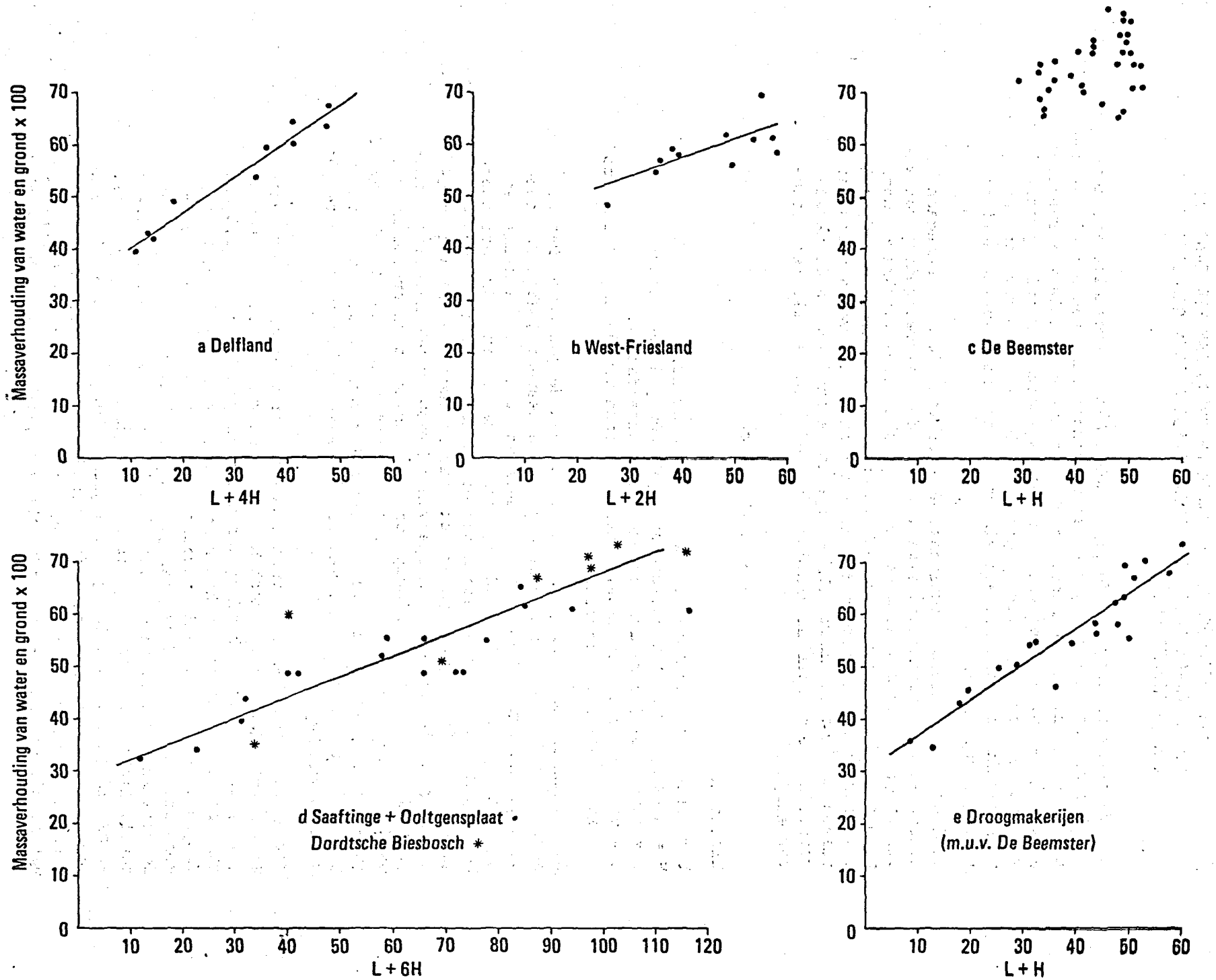

Fig. 6 Samenhang tussen een combinatie van lutum en organische stof (L + bH) en de massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = −2,5 cm aan het eind van het rijpingsproces (zie ook tabel 8)

115.37 / 81104-6

7 DE MASSAVERHOUDING VAN WATER EN GROND AAN HET EIND VAN HET RIJPINGSPROCES ALS GRENSWAARDE TUSSEN GERIJPTE EN NIET-GERIJPTE GROND

Bij fysische rijping van de grond neemt het watergehalte af, totdat het bij de voltooiing van het rijpingsproces een bepaalde eindwaarde bereikt. Bij de bepaling van het irreversibele waterverlies (zie 6.2) wordt aan het eind van het nagebootste rijpingsproces de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm gemeten. Dit watergehalte nu markeert als eindwaarde de grens tussen gerijpt en niet-gerijpt materiaal.

Voor de verschillende onderzoeksgebieden (zie 6.1) is nagegaan in hoeverre er samenhang bestaat tussen de massaverhouding van water en grond aan het eind van het rijpingsproces (verkregen door droging en herbevochtiging en het lutum- en organische-stofgehalte. Daarbij is aangenomen dat er een rechtlijnig verband bestaat tussen de factoren lutum (L) + organische stof (H) en de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm met als regressievergelijking:

$$A = a(L+bH) + c.$$

Hierin is:

L = aantal grammen lutum per 100 g droge grond;
H = aantal grammen organische stof per 100 g droge grond;
a = constante (door Zuur aangeduid als waterfactor);
b = verhouding tussen waterbindend vermogen van de organische stof en van de lutumfractie.

Een moeilijkheid daarbij is het kiezen van de juiste b. Daarom is nagegaan bij welke b maximale correlatie bestaat (tabel 8), hetgeen resulteert in een b die varieert van 1 tot 6. De keuze van de factor b bepaalt uiteindelijk ook de keuze van a (waterfactor). Daarbij neemt a af naarmate b groter wordt. Ook Van der Scheer (1979) vond dit bij een onderzoek naar de factor b bij afzettingen in het IJsselmeer. De keuze van b heeft echter nauwelijks enige invloed op c en in principe ook niet op de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm. De c varieert van ca. 28 tot ca. 43 (zie tabel 8) en is duidelijk afhankelijk van het gebied en van de gekozen drukpotentiaal (h) waarbij de massaverhouding van water en grond wordt bepaald.

Met uitzondering van de Beemster bestaat er voor elk onderzoeksgebied een duidelijke samenhang tussen de zwaarte van de grond (L+bH) en de massaverhouding van water en grond bij h = -2,5 cm, gemeten aan het eind van het rijpingsproces (tabel 8, fig. 6). Uitgaande van een bepaalde zwaarte varieert de massaverhouding van water en grond echter per gebied. Bij lichte zavel bedragen de gemeten verschillen ongeveer 7 g/100 g droge grond. Bij zware zavel, lichte klei en zware klei zijn deze verschillen resp. ca. 8, ca. 13 en ca. 20 g/100 g droge grond. Het is dan ook niet aannemelijk, dat voor alle alluviale gronden in Nederland de massaverhouding van water en grond aan het eind van het rijpingsproces met behulp van lutum- en organische-stofgehalte kan worden geschat,

zoals Pons en Zonneveld (1965) voorstelden met:

$$A = 0,7(L+bH) + 0,2(100-L-H)$$

Indien men voor een bepaald gebied of een bepaalde afzetting via onderzoek de relatie tussen de massaverhouding van water en grond en de zwaarte van de grond heeft vastgesteld, is dit echter wel mogelijk (zie tabel 8 en fig. 6).

Tabel 8 Correlatiecoëfficiënten en regressievergelijkingen voor A (massaverhouding van water en grond maal 100 bij h = -2,5 cm aan het eind van het rijpingsproces) = a(L+bH) + c

Herkomst monsters	Aantal monsters	b	Correlatie-coëfficiënt r	Regressievergelijking voor A = a(L+bH) + c	Weergegeven in:
Delfland	10	1	0,95	0,84 (L+H) + 35	fig. 6a
L is 7-35		2	0,96	0,79 (L+2H) + 34	
H is 1- 5		3	0,97	0,74 (L+3H) + 34	
		4	0,98	0,69 (L+4H) + 33	
		5	0,98	0,65 (L+5H) + 33	
		6	0,98	0,61 (L+6H) + 33	
West-Friesland	11	0	0,71	0,40 (L) + 44	fig. 6b
L is 19-47		1	0,73	0,38 (L+H) + 43	
H is 1- 5		2	0,73	0,36 (L+2H) + 43	
		3	0,72	0,33 (L+3H) + 43	
		4	0,71	0,30 (L+4H) + 44	
		5	0,70	0,27 (L+5H) + 44	
		6	0,68	0,24 (L+4H) + 45	
Droogmakerijen	21	0	0,92	0,72 (L) + 31	fig. 6e
L is 7-56		1	0,93	0,67 (L+H) + 30	
H is 1- 6		2	0,92	0,63 (L+2H) + 30	
		3	0,91	0,58 (L+3H) + 29	
		4	0,90	0,54 (L+4H) + 29	
		5	0,89	0,50 (L+5H) + 29	
		6	0,88	0,47 (L+6H) + 29	
Saaftinge, Ooltgensplaat, Dordtsche Biesbosch	24	1	0,66	0,80 (L+H) + 32	fig. 6d
L is 7-40		2	0,79	0,72 (L+2H) + 29	
H is 1-14		3	0,85	0,61 (L+3H) + 28	
		4	0,88	0,52 (L+4H) + 28	
		5	0,90	0,45 (L+5H) + 28	
		6	0,91	0,40 (L+6H) + 28	
		7	0,91	0,35 (L+7H) + 28	

8 BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Indien de mate van rijping wordt vastgesteld door berekening van de waterfactor met behulp van de massaverhouding van water en grond (watergehalte), het lutum- en het organische-stofgehalte, gaat men uit van de volgende veronderstellingen:

a. Bij elke rijpingstoestand bestaat er een samenhang tussen de massaverhouding van water en grond en een combinatie van lutum- en organische-stofgehalte.
b. De hoeveelheid vocht die wordt gebonden door dat deel van de grond dat niet uit lutum of organische stof bestaat, wordt als constant beschouwd.
c. De keuze van b, het getal dat de verhouding aangeeft tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en van het lutum, wordt overgelaten aan degenen die de berekeningen uitvoert.
d. Behalve de vage aanduiding "voorjaarstoestand" wordt geen drukpotentiaal aangegeven waarbij de massaverhouding van water en grond moet worden bepaald.

Metingen van het watergehalte bij h = -2,5 cm in de toestand waarin geen irreversibel waterverlies meer is te verwachten, en waarvan aangenomen is dat het rijpingsproces is voltooid, geven bij gelijkblijvend lutum- en organische-stofgehalte zeer uiteenlopende waarden. Voor de grens tussen gerijpt en niet-gerijpt kan geen regressielijn worden berekend die voor alle monsters een voldoende betrouwbare scheiding geeft. Aangenomen mag worden dat dit ook geldt voor bijvoorbeeld de grens tussen bijna gerijpt en half gerijpt. Dit betekent ook dat vaststelling van de mate van rijping door berekening van de waterfactor of rijpingsfactor met behulp van de massaverhouding van water en grond, het lutum- en het organische-stofgehalte in een aantal gevallen tot verkeerde resultaten leidt. De variatie in de berekende waterfactoren van 0,2 tot 1,0 voor goed gerijpte lagen geven hiervoor reeds een duidelijke aanwijzing.

Indien het monstermateriaal per gebied wordt gesorteerd naar afzetting, bestaat er voor de grens tussen gerijpt en niet-gerijpt voor vrijwel elke groep een goede samenhang tussen de massaverhouding van water en grond enerzijds en het lutum- en het organische-stofgehalte anderzijds. De berekende regressielijnen zijn echter verschillend. Dit zou erop kunnen wijzen, dat de aard van de afzetting en het sedimentatiemilieu (bijv. oeverwal, kom, onderwaterafzetting) van betekenis zijn voor het watergehalte dat het eind van het rijpingsproces aangeeft.

De hoeveelheid vocht die wordt gebonden door dat deel van de grond dat niet uit lutum en organische stof bestaat, is afhankelijk van de keuze van de drukpotentiaal waarbij de hoeveelheid bodemvocht wordt bepaald, en van de aard van de grond. Gemeten bij h = -2,5 cm bleek deze hoeveelheid water te variëren van ca. 28 tot ca. 40 g per 100 g droge grond. Onderzoek van zeezand met weinig lutum gaf bij h = -2,5 cm een massaverhouding van water en droge grond maal 100 van 24 à 33 en bij h = -30 cm een massaverhouding van water en droge grond maal 100 van 22 à 30. Al met al waarden die aanzienlijk hoger zijn dan het getal 20, dat in de rijpingsformules wordt aange-

nomen. Vooral bij vaststelling van de rijpingstoestand van zavel heeft de variatie van het niet door lutum en humus gebonden water grote invloed op de berekende rijpingsfactor. De keuze van b in de combinatie L+bH, het getal dus dat de verhouding aangeeft tussen het waterbindend vermogen van de organische stof (H) en van het lutum (L), blijft een moeilijke zaak, vooral nu blijkt dat de berekende waterfactor afhankelijk is van de grootte van b. Voor een juiste keuze van de factor b in de combinatie L+bH zijn weinig aanwijzingen, zodat vooral bij lagen met veel organische stof (humusklassen zeer humeus en humusrijk) weinig betrouwbare waterfactoren worden berekend.

Er bestaan dus gegronde bezwaren tegen het vaststellen van de mate van rijping via berekening van de waterfactor, zonder dat rekening wordt gehouden met de aard van het sediment, de wijze van sedimentatie, de korrelgrootteverdeling en het organische-stofgehalte.

Ook het gebruik van de dichtheid van de grond geeft geen oplossing voor het probleem, omdat net als bij de massaverhouding van water en grond en de rijpingsfactor geen landelijk geldende grenswaarden voor de verschillende rijpingsklassen kunnen worden gesteld. Per gebied en per afzetting kan de dichtheid van de grond worden gebruikt als karakteristiek van de mate van rijping, mits de onderlinge samenhang bekend is.

Wil men in een gegeven situatie de mate van rijping via een bodemfysische grootheid vaststellen, dan kan het te verwachten waterverlies dat een gevolg is van de rijping, via nabootsing van het rijpingsproces in het laboratorium worden gemeten. Men verkrijgt dan tevens de massaverhouding van water en grond, die de grens tussen gerijpt en niet-gerijpt aangeeft. De ingewikkelde bemonstering met steekringen van 100 cm^3 en de tijdrovende metingen in het laboratorium zijn bezwaarlijk. Toch is met deze methode, waarvan de resultaten het meest overeenstemmen met de in het veld geschatte rijpingstoestand, inzicht verkregen in de verschillen met betrekking tot de rijpingstoestand van de zeekleigronden in het westen van Nederland. Een groot voordeel is dat de grens tussen gerijpt en niet-gerijpt redelijk betrouwbaar kan worden vastgesteld. Deze methode kan het best worden toegepast in lokale onderzoekingen en kan dan een bijdrage leveren tot meer inzicht in het rijpingsproces en de samenhang met andere profielkenmerken en bodemeigenschappen.

9 ENKELE CONCLUSIES

1. Voor goed gerijpte zavel en klei bestaan er aanzienlijke verschillen in massaverhouding van water en grond bij h = -30 cm, dichtheid van de grond en berekende waterfactor. Deze verschillen hangen onder andere samen met de ouderdom van het sediment, de wijze van afzetting en rijping, de aard van de silt- en de zandfractie. Verwacht mag worden dat ook bij niet-gerijpte zavel en klei deze verschillen voorkomen.
2. Er bestaat weinig overeenkomst tussen de mate van rijping die in het veld wordt geschat, de berekende waterfactor en de gemeten dichtheid van de grond.
3. Bij het gebruik van de waterfactor als maat voor de rijpingstoestand wordt onvoldoende rekening gehouden met de wijze van sedimentatie, het waterbindend vermogen van de silt- en de zandfractie, de verhouding tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en van de lutumfractie, de samenhang van dit verhoudingsgetal met de waterfactor, en met de drukpotentiaal waarbij de massaverhouding van water en grond moet worden gemeten.
4. De bij rijping optredende irreversibele krimp veroorzaakt waterverlies. De mate van rijping kan redelijk worden geschat uit de grootte van het te verwachten waterverlies, dat door nabootsing van het rijpingsproces kan worden gemeten. Hiervoor is een routinemethode ontwikkeld.
5. Mits rekening wordt gehouden met per gebied voorkomende verschillen in ouderdom en aard van het sediment, bestaat er een goede samenhang tussen de massaverhouding van water en grond aan het eind van het rijpingsproces en het lutum- en het organische-stofgehalte. De berekende waterfactor, de verhouding tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en van het lutum en het waterbindend vermogen van de silt- en de zandfractie verschillen echter van gebied tot gebied.
6. Een landelijke indeling in rijpingsklassen met behulp van een berekende waterfactor is niet zinvol en leidt tot uiteenlopende resultaten.

LITERATUUR

Bakker, H. de en J.Schelling, 1966. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Pudoc, Wageningen.

Cultuurtechnische Vereniging, z.j. Cultuurtechnisch Vademecum.

Glopper, R.J. de, 1973. Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuyder Zee and in the brackish and marine foreland in the Netherlands. Van Zee tot Land; No. 50.

Pons, L.J. and I.S.Zonneveld, 1965. Soil ripening and soil classification. Initial soil formation of alluvial deposits, with a classification of the resulting soils. Publ. 12. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.

Scheer, A. van der, 1979. De verhouding b tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en de lutumfractie in verschillende afzettingen in het IJsselmeergebied, Flevobericht no. 143. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.

Schothorst, C.J., 1968. De relatieve dichtheid van humeuze gronden. De Ingenieur 80, nr. 2.

Stichting voor Bodemkartering, 1967. Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting bij de kaartbladen 53 Sluis en 54 West Terneuzen. Wageningen.

Zuur, A.J., 1958. Bodemkunde der Nederlandse bedijkingen en droogmakerijen. Deel C: Het watergehalte, de indroging en enkele daarmee samenhangende processen. Kampen/Wageningen.

ISBN 90 327 0063 4