

K. Boskma

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen

De invloed van het gehalte aan afslibbare delen en andere factoren op de optimale pH van kleigrond

with a summary:

Influence of clay content and other factors on
optimum pH of marine clay soils



1967 *Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie*
Wageningen

Inhoud

| | |
|--|----|
| 1 Inleiding | 1 |
| 2 Beschrijving van de gegevens | 1 |
| 3 Wijze van bewerking | 2 |
| 4 Gemiddelde resultaten | 7 |
| 4.1 Gemiddelde invloed van verschillen in kalktoestand | 7 |
| 4.2 Vergelijking van de gemiddelde uitkomsten met die uit het onderzoek van Castenmiller | 8 |
| 5 Invloed van andere bodemfactoren op het effect van verschillen in pH | 10 |
| 6 Invloed van het tijdstip van bekalking | 23 |
| 7 Opbouw van een advies voor de bekalking van kleigrond gebaseerd op de gevonden relaties | 24 |
| 8 Vergelijking van de resultaten met het bestaande adviesschema | 30 |
| Samenvatting | 32 |
| Summary | 35 |
| Literatuur | 37 |
| Appendix 1 | 39 |
| Appendix 2 | 45 |

1 Inleiding

Een overzicht van de betekenis van verschillen in kalktoestand voor de opbrengst van de gewassen op kleigrond in Nederland is in 1948 gegeven door CASTENMILLER. Dit overzicht heeft betrekking op ca. 80 oogstjaren van in totaal 25 proefvelden. Van die 80 oogstjaren zijn er 44 afkomstig van proeven in de provincie Groningen, 16 in Zeeland en 20 in de rest van het land. Daar de gegevens op verschillende gewassen betrekking hebben, oordeelt CASTENMILLER dat op grond hiervan slechts beperkte conclusies kunnen worden getrokken. In zijn artikel beperkt hij zich dan ook tot de gemiddelde samenhang tussen de opbrengst en de pH van de grond voor acht gewassen. Op grond van het aantal waarnemingen acht hij voor suikerbieten, wintertarwe, aardappelen en erwten de verkregen gemiddelden voldoende betrouwbaar. Die voor haver, zomertarwe, zomergerst en voederbieten berusten naar zijn mening op te weinig gegevens om betrouwbaar te zijn. Hoewel CASTENMILLER vermeldt dat de zwaarte van de grond een rol zal spelen bij de aan de pH te stellen eisen, meent hij dat het materiaal hem niet de mogelijkheid bood dit nader te onderzoeken.

Sinds de samenvattende bewerking van CASTENMILLER is er een vrij groot aantal proeven met kalkhoeveelheden op kleigrond genomen, vooral in het kader van de interprovinciale series bemestingsproefvelden. Daar er behoefte bestaat aan verdere detaillering en versteviging van het bekalkingsadvies voor kleigrond, werden de na 1946 verkregen gegevens verzameld en samengevat. In dit verslag worden de resultaten van deze studie beschreven.

2 Beschrijving van de gegevens

Ervan uitgaande dat CASTENMILLER alle gegevens tot en met 1946 in zijn samenvatting heeft gebruikt, verzamelden wij die van 1947 t/m 1963. Aan de hand van het kaartsysteem van bemestingsproefvelden dat op het archief van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB) wordt bijgehouden, konden wij nagaan welke proeven met kalkhoeveelheden en/of kalktoestanden op zeeklei werden genomen en op welke daarvan de opbrengst werd bepaald en het benodigde grondonderzoek werd verricht. Er konden uiteraard alleen proefvelden worden gebruikt, waar het verschil in kalktoestand binnen het proefveld niet te klein was.

Een moeilijkheid deed zich voor ten aanzien van de pH die wij als maat voor de kalktoestand gebruikten: vóór 1950 werd in de meeste gevallen alleen pH-H₂O bepaald, daarna pH-KCl. In de gevallen waar pH-H₂O was bepaald, gebruikten wij

deze voor de schatting van pH-KCl. Van proefvelden waar in één of meer proefjaren in dezelfde monsters pH-H₂O en pH-KCl werden bepaald, gebruikten wij beider samenhang voor de schatting van pH-KCl uit pH-H₂O voor de jaren waarin alleen de laatste werd bepaald. Indien in geen van de proefjaren beide pH-waarden in dezelfde monsters werden bepaald, werd voor de schatting van pH-KCl de gemiddelde samenhang tussen pH-H₂O en pH-KCl gebruikt zoals die in de ADVIES-BASIS VOOR DE BEMESTING VAN LANDBOUWGRONDEN staat vermeld.

Een overzicht van de aantallen voor ons doel bruikbare proefjaren wordt gegeven in tabel 1. De gegevens hebben betrekking op in totaal 38 proefvelden die over het hele zoekleigebied van ons land verspreid lagen, zoals blijkt uit appendix 1, waarin van elk proefjaar nadere gegevens zijn vermeld.

Tabel 1. Aantal proefjaren per gewas.

| | | | |
|--|----|--------------------------------------|-----|
| tarwe / <i>wheat</i> | 37 | luzerne / <i>lucerne</i> | 4 |
| suiker- + voederbieten / <i>sugar beet and fodder beet</i> | 32 | kanariezaad / <i>canary-grass</i> | 3 |
| aardappelen / <i>potatoes</i> | 27 | vlas / <i>flax</i> | 2 |
| haver / <i>oats</i> | 18 | gele mosterd / <i>yellow mustard</i> | 2 |
| erwten / <i>peas</i> | 13 | winterrogge / <i>winter rye</i> | 2 |
| gerst / <i>barley</i> | 12 | mais / <i>maize</i> | 1 |
| bonen / <i>beans</i> | 8 | | 166 |
| klaver / <i>clover</i> | 5 | | |

Table 1. Field-years per crop.

3 Wijze van bewerking

Eerst is voor elk proefjaar de opbrengst in een grafiek uitgezet tegen pH-KCl van de grond. Een voorbeeld van een aldus verkregen stippendiagram geeft fig. 1. Door de stippenzwerm in de grafiek is vervolgens een zo goed mogelijk passende kromme getrokken, waarbij de eis werd gesteld dat de sommatie van de verticaal gemeten afstanden van stippen tot de kromme nul moet opleveren. Van de aldus verkregen krommen wordt per gewas een overzicht gegeven in de fig. 2a t/m 2k. De nummers bij de krommen corresponderen met die in appendix 1.

De gemiddelde invloed van verschillen in pH op de opbrengst kan niet worden berekend door de krommen uit de fig. 2a t/m 2k eenvoudig verticaal te middelen, aangezien hun pH-trajecten slechts ten dele samenvallen. De beste schatting van de vorm van de gemiddelde kromme kan worden verkregen door voor kleine pH-intervallen de opbrengstveranderingen te middelen. Daartoe werd per 0,2 pH van elke kromme de opbrengstverandering gemeten en de verkregen waarden per pH-interval gemiddeld. Deze gemiddelden geven een nauwe samenhang met de pH. De

Fig. 1 Verband tussen korrelopbrengst en pH van de grond voor de veldjes van één proefveld.

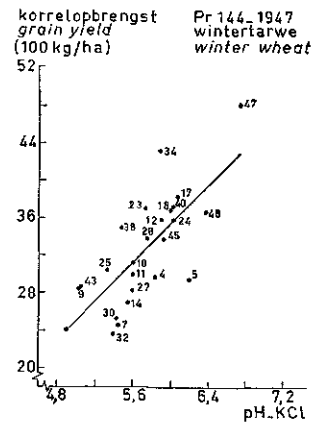


Fig. 1 Relation between grain yield and soil pH for the plots of one experimental field.

gemiddelde opbrengstveranderingen werden vervolgens gesommeerd over het pH-traject, van de hoogste tot de laagste pH-waarde waar nog een redelijk aantal waarnemingen aanwezig was. De gemiddelde opbrengstverandering gecumuleerd van pH 7,0 naar lagere pH wordt voor gerst gegeven in fig. 3. Deze kromme geeft de beste schatting van de vorm van de gemiddelde samenhang tussen korrelopbrengst van gerst en pH-KCl, maar het opbrengstniveau ontbreekt nog. Voor dit laatste wordt genomen de gemiddelde opbrengst bij een pH-waarde die alle krommen ongeveer gemeen hebben. Dit gemiddelde wordt ingevoerd als het opbrengstniveau bij die pH (in fig. 3 was bij pH 5,8 de gemiddelde opbrengst 37,6 quintalen). Door hiervan uit te gaan is in fig. 3 de linkse verticale as getekend. De beschreven werkwijze levert de beste schatting van de gemiddelde opbrengstcurve voor elk gewas.

In het gedeelte van dit verslag waar getracht wordt een verklaring te geven voor de tussen proefvelden uiteenlopende effecten die verschillen in pH van de grond op de opbrengst hebben, is o.a. gewerkt met een multipele regressieanalyse. Dit is een additief model waarin een te verklaren variabele Y wordt uitgedrukt als som van de functies van een aantal verklarende variabelen X_i plus een constante:

$$Y = f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_n(X_n) + C$$

De term $f_1(X_1)$ geeft de invloed aan die X_1 op Y heeft voor een constante waarde van X_2 tot en met X_n . In ons geval heeft $f_1(X_1)$ de vorm $b_1 \cdot X_1$, daar wij alleen met lineaire relaties werkten. In het model kunnen desgewenst ook termen worden opgenomen, die een interactie weergeven, bijv. $f_{12}(X_1X_2)$ e.d. Dit laatste is gedaan bij het speuren naar een interactie tussen het gehalte aan afslibbare delen en dat aan organische stof.

Voor een nadere uiteenzetting over deze methode van bewerking zij verwezen naar de literatuuropgaven (FERRARI en SLUIJSMANS, 1955 en SNEDECOR, 1959).

Fig. 2 Gemiddelde samenhang tussen opbrengst en pH voor verschillende proefvelden of proeffaren. De nummers van de krommen komen overeen met de nummers in appendix 1.

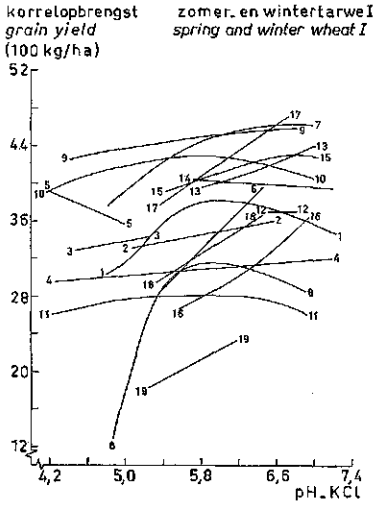


Fig. 2aI

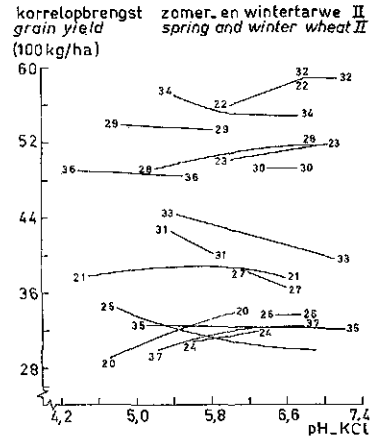


Fig. 2aII

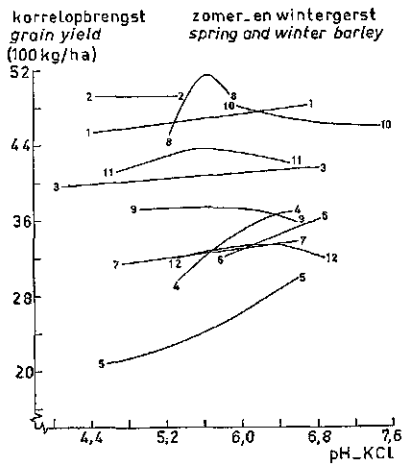


Fig. 2b

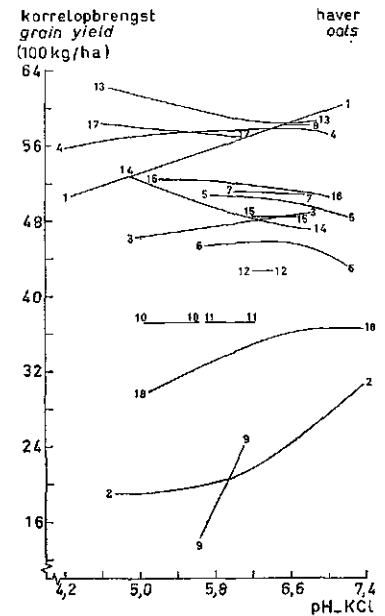


Fig. 2c

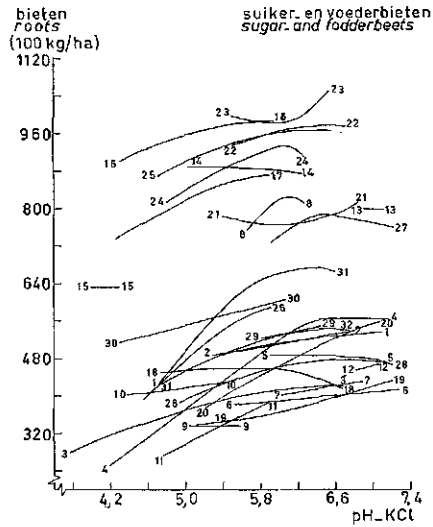


Fig. 2d

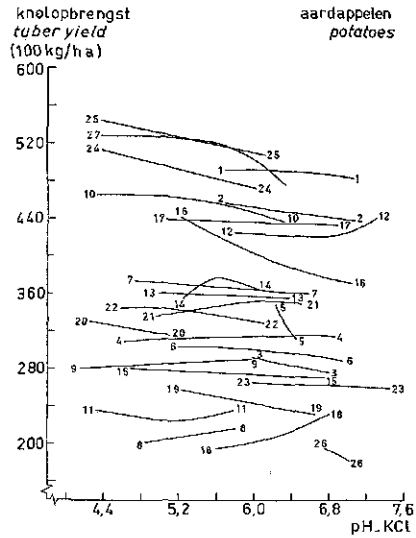


Fig. 2e

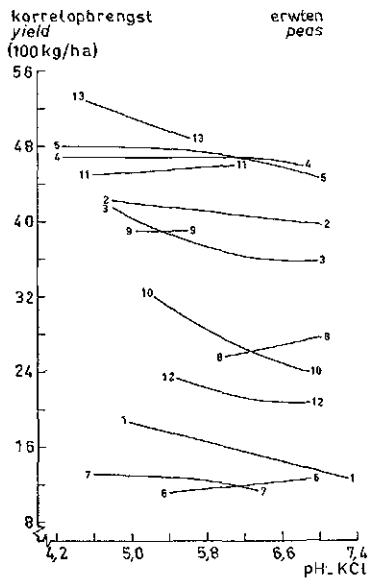


Fig. 2f

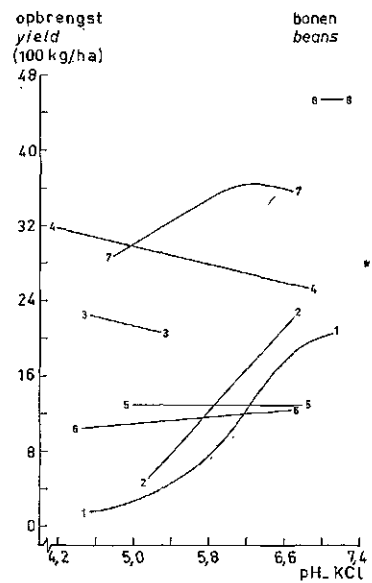


Fig. 2g

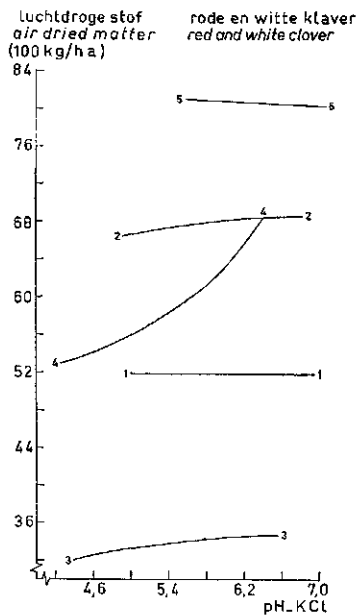


Fig. 2h

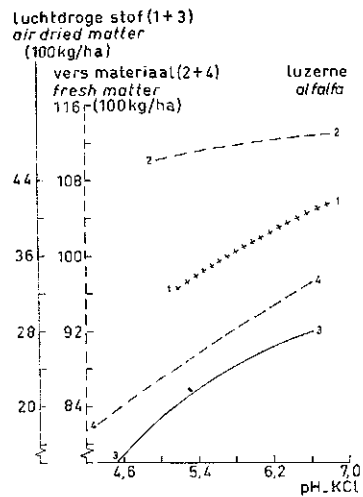


Fig. 2i

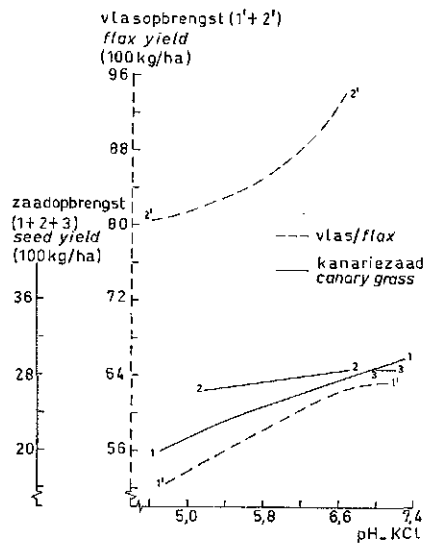


Fig. 2j

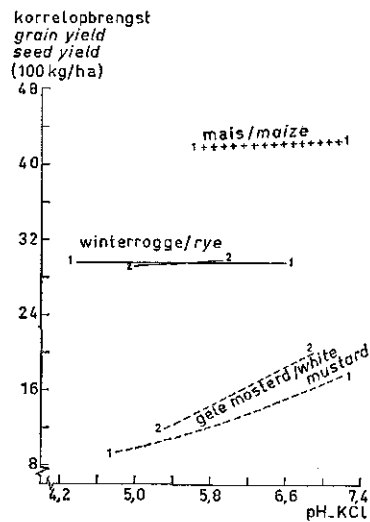
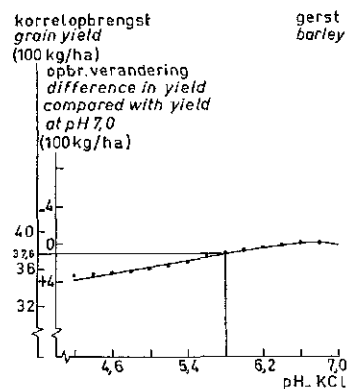


Fig. 2k

Fig. 2 Average relation between yield and pH for different fields or years (the numbers on the curves correspond to numbers in appendix 1).

Fig. 3 Berekening van de gemiddelde samenhang tussen opbrengst en pH uit krommen van verschillende proefvelden en proefjaren met slechts gedeeltelijk samenvallende pH-trajecten.

Fig. 3 Calculation of the average relation between yield and pH for curves of different fields and years having pH range only partly in common. The changes in yield for intervals of 0.2 pH are averaged and these mean values are integrated over the pH intervals, starting (in this example) at pH 7.0 and ranging to 4.0.

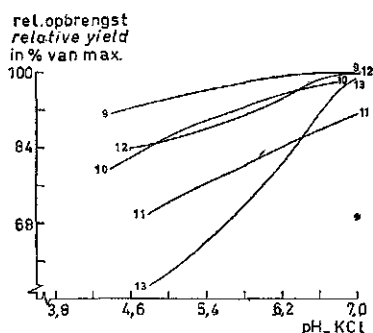
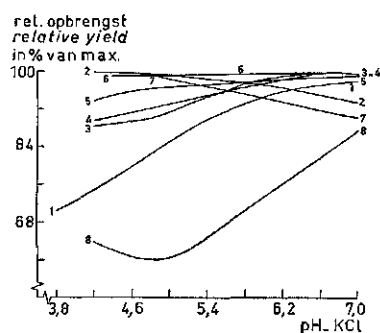


4 Gemiddelde resultaten

4.1 Gemiddelde invloed van verschillen in kalktoestand

Om de invloed van verschillen in kalktoestand op de opbrengst gemakkelijk te kunnen beoordelen en de gevoeligheid van de gewassen te vergelijken, is hier met relatieve opbrengsten gewerkt. De opbrengsten werden daartoe uitgedrukt in procenten van de maximale die zo nodig door extrapolatie werd geschat. Deze relatieve cijfers worden gegeven in de fig. 4a en 4b.

Fig. 4 Vergelijking van de gemiddelde samenhang tussen opbrengst en pH voor verschillende gewassen (nieuw materiaal).



- 1 = bieten/beets (32)
- 2 = aardappelen/potatoes (27)
- 3 = tarwe/wheat (37)
- 4 = gerst/barley (12)
- 5 = haver/oats (18)
- 6 = rogge/rye (2)
- 7 = erwten/peas (13)
- 8 = bonen/beans (8)
- 9 = klaver/clover (5)

- 10 = luzerne (4)
- 11 = kanariezaad/canary-grass (3)
- 12 = vlas/flax (2)
- 13 = gele mosterd/yellow mustard (2)

Fig. 4 Comparison of the average relation between yield and pH for different crops (new data only, see summary). The figures in parentheses in the legend give the number of years averaged.

In de eerste plaats moet worden opgemerkt dat de gemiddelde krommen in fig. 4a en 4b in nauwkeurigheid sterk uiteenlopen. Daar op de proefvelden meestal ongeveer het gebruikelijke bouwplan werd gevolgd, zijn van de meest verbouwde gewassen ook de meeste gegevens verkregen. In de legenda bij de figuren is van elke kromme aangegeven, op hoeveel proefjaren hij berust.

De reactie van de gewassen op verschillen in pH van de grond loopt sterk uiteen. Tegenover de bieten, waarvoor een pH van 7,0 nog te laag is om de maximale opbrengst te bereiken, staan de aardappelen die boven ongeveer 5,0, naarmate de pH verder stijgt lagere opbrengsten geven. Van de 13 gewassen waarover gegevens werden verkregen, gaven alleen erwten een soortgelijke reactie als aardappelen; de afname van de opbrengst van lage naar hoge pH was bij erwten gemiddeld zelfs nog iets groter dan bij aardappelen.

Behalve erwten en aardappelen reageerden alle onderzochte gewassen in opbrengst gunstig op een hoge kalktoestand van de grond. Behalve bieten vertoonden bonen een zeer sterk positief effect. Dit is echter geflatteerd, doordat twee van de acht proefjaren zeer slechte gewassen gaven die bij lage pH vrijwel geen opbrengst meer leverden (fig. 2g). Het opbrengstniveau werd hierdoor gemiddeld nogal laag, met als gevolg dat de effecten in relatieve maat groot werden.

Tarwe en gerst (zomer- en winterrassen gemiddeld) bleken minder gevoelig voor een lage pH dan bieten, maar gaven niettemin een stijging van de opbrengst met ca. 10 % van pH 5,0 tot 6,7. Haver reageerde minder dan tarwe en gerst; de opbrengst bleef gemiddeld nog iets toenemen tot pH ca. 7,0.

Over de gewassen waarvan weinig gegevens werden verkregen, kan het volgende worden opgemerkt.

Rogge, waarvan slechts gegevens van twee oogstjaren werden verkregen, reageerde gemiddeld weinig op verschillen in kalktoestand.

Klaver (vijf oogstjaren) reageerde ongeveer gelijk als tarwe. Luzerne (vier oogstjaren) en vlas (twee oogstjaren) hielden ongeveer het midden tussen tarwe en bieten. Kanariezaad en vooral gele mosterd reageerden gemiddeld nog sterker dan bieten, doch deze gemiddelden berusten resp. op slechts drie en twee oogstjaren.

Bij de beschouwing van de gemiddelde reactie van de gewassen op verschillen in kalktoestand van de grond moet worden bedacht dat ook de toestand ten aanzien van andere kenmerken (bijv. de structuur) van een perceel een rol kan hebben gespeeld bij de keuze van het gewas. Wordt bijv. tengevolge van de slechte structuur, samengaand met lage pH van de grond, een gewas als gele mosterd gekozen dat onder normale structuuromstandigheden niet wordt verbouwd, dan is de gevonden kromme niet zuiver vergelijkbaar met die voor de bij uiteenlopende structuurtoestanden verbouwde tarwe.

4.2 Vergelijking van de gemiddelde uitkomsten met die uit het onderzoek van Castenmiller

In tabel 2 worden de gemiddelde relatieve opbrengsten (in % van het maximum)

Tabel 2. *Vergelijking van de gemiddelde relatieve opbrengsten (I) met die van CASTENMILLER (II).*

| pH- KCl | Bieten | | Aardappelen | | Tarwe | | Haver | | Gerst | | Erwten | |
|------------|--------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| 5,0 | 85,1 | 81,6 | 99,5 | 98,3 | 91,6 | 81,6 | 97,0 | 85,0 | 93,3 | 85,4 | 98,7 | 89,1 |
| 5,5 | 90,8 | 89,0 | 98,5 | 100,0 | 95,4 | 89,0 | 97,5 | 90,0 | 95,5 | 90,6 | 96,6 | 93,4 |
| 6,0 | 94,8 | 94,1 | 97,3 | 100,0 | 98,4 | 93,3 | 98,1 | 94,5 | 97,7 | 94,8 | 94,5 | 96,5 |
| 6,5 | 97,2 | 98,1 | 95,7 | 98,0 | 99,9 | 97,6 | 98,8 | 98,3 | 99,5 | 98,4 | 92,4 | 98,9 |
| 6,8 | 98,0 | 100,0 | 94,6 | 95,0 | 100,0 | 100,0 | 99,2 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 91,1 | 100,0 |

| pH- KCl | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
|------------|-------|----|----------|----|-------|----|------|----|--------|----|------|----|
| | Beets | | Potatoes | | Wheat | | Oats | | Barley | | Peas | |

Table 2. *Mean relative yields (I) compared with CASTENMILLER's yields (II).*

vergelijken met de door CASTENMILLER verkregen uitkomsten, in de kolommen resp. aangeduid met I en II. De door CASTENMILLER gebruikte pH-H₂O is omgerekend tot pH-KCl met behulp van die tabel uit de ADVIESBASIS VOOR DE BE-MESTING VAN LANDBOUWGRONDEN welke de gemiddelde verhouding van pH-H₂O en pH-KCl aangeeft.

In de tabel van CASTENMILLER zijn de cijfers voor suiker- en voederbieten en voor winter- en zomertarwe vrijwel gelijk. Wij namen in tabel 2 de cijfers voor suikerbieten en wintertarwe van CASTENMILLER en lieten in ons eigen materiaal de onderscheiding achterwege. Ons gemiddelde voor gerst omvat ook winter- en zomerrassen, terwijl CASTENMILLER alleen cijfers geeft voor zomergerst.

Uit tabel 2 blijkt, dat voor bieten en aardappelen het nieuwe materiaal ongeveer een gelijke uitkomst geeft als CASTENMILLER vond.

Voor tarwe, gerst en haver is de invloed van de pH op de opbrengst in het nieuwe materiaal kleiner. Verder is in het laatste de gevoeligheid van haver voor lage pH kleiner dan die van tarwe en gerst, terwijl deze bij CASTENMILLER ongeveer gelijk was aan de gevoeligheid van gerst.

Een sterk van CASTENMILLER verschillend resultaat vinden wij bij erwten. De 1³ oogstjaren van ons materiaal geven gemiddeld een duidelijk negatief effect van hogere pH, in tegenstelling met de proefvelden van CASTENMILLER die gemiddeld positief reageerden. Het gemiddelde negatieve effect in ons materiaal is overigens vrij overtuigend: acht van de dertien proeven reageerden duidelijk negatief en in de resterende gevallen was de reactie gering (fig. 2f).

Bij vergelijking van de gemiddelde uitkomsten in het nieuwe materiaal met die van CASTENMILLER moet worden bedacht dat:

- a de omvang van het materiaal per gewas vooral bij CASTENMILLER niet groot is, de grote verschillen tussen de krommen in aanmerking genomen;
- b in het materiaal van CASTENMILLER, in tegenstelling met het onze, ook enkele proefvelden op rivierklei waren betrokken;

c de door CASTENMILLER gebruikte proefvelden op gemiddeld iets minder humeuze en iets zwaardere grond betrekking hebben (zie hoofdstuk 5, laatste gedeelte).

Bij overweging van de punten a t/m c lijkt de gemiddelde invloed van verschillen in pH op de opbrengst van de gewassen op zeelei in Nederland momenteel het best te kunnen worden weergegeven door de gemiddelde uitkomsten te nemen van het nieuwe materiaal en dat van CASTENMILLER. Dit wordt in hoofdstuk 7 nader besproken.

5 Invloed van andere bodemfactoren op het effect van verschillen in pH

CASTENMILLER meent dat de zwaarte van de grond ook een rol zal spelen bij de eisen die aan de pH moeten worden gesteld, maar dat zijn materiaal niet toelaat hierop nader in te gaan. Uit incidenteel onderzoek zijn aanwijzingen verkregen omtrent een invloed van de zwaarte van de grond (BOSKMA en BOEKEL, 1961, SLUIJSMANS en BOSKMA, 1956). Op zware gronden lijkt het voordelig tot een hoge pH (ca. 7,0) te bekalken. Ook het gehalte aan organische stof is vermoedelijk van betekenis. Op een proefveld bij Harkstede met ca. 40 % afslibbare delen en 40 % organische stof werden bij een pH van 4,7 bij rogge, haver en aardappelen al ongeveer maximale opbrengsten verkregen.

Naast de genoemde factoren speelt ook de kalivoorziening van het gewas een rol, zoals o.a. door SLUIJSMANS (1956) werd aangetoond. Bij onvoldoende kalivoorziening wordt door bekalking de opbrengst van aardappelen verlaagd, bij een goede voorziening heeft bekalking weinig invloed.

Aangezien tussen de in onze bewerking betrokken proefvelden flinke verschillen in gehalten aan afslibbare delen en organische stof bestaan, hebben wij getracht na te gaan of de grote verschillen in effect van de kalktoestand op de opbrengst (fig. 2a t/m 2k) hiermee samenhangen. Tevens hebben we de invloed van verschillen in kalivoorziening (gekaracteriseerd door kaligift en K-HCl) en stikstofbemesting in beschouwing genomen. De omvang van het materiaal is voor bieten en aardappelen voldoende voor de uitvoering van een dergelijke analyse. Voor het samengevoegde materiaal van de granen tarwe, gerst en haver was dit eveneens het geval.

In eerste instantie werd een multi-pele regressieanalyse (zie hoofdstuk 3) uitgevoerd met de volgende verklarende variabelen:

Granen: gehalte aan afslibbare delen, gehalte aan organische stof, kaligehalte, kalibemesting, stikstofbemesting. Aangezien tarwe, gerst en haver in één analyse werden opgenomen, werden nog twee hulpvariabelen toegevoegd voor eventuele verschillen tussen deze gewassen.

Bieten: als bij granen, uiteraard zonder hulpvariabelen.

Aardappelen: de eerste vijf variabelen die bij granen werden gebruikt, plus een variabele om een eventueel verschil in invloed van de kalibemesting bij laag en hoog K-HCl in rekening te kunnen brengen.

Minder voor de hand liggend dan de keuze van de verklarende variabelen is die van een geschikt kengetal voor het effect van pH-verschillen op de opbrengst. Na enig (grafisch) experimenteren met verschillende kengetallen werden twee kengetallen gekozen om als te verklaren variabelen in de regressieanalyse te worden gebruikt:

a de verandering van de opbrengst van pH-KCl 5,0 tot 5,8 afgelezen van de getrokken kromme,

b idem van pH-KCl 5,8 tot 6,6.

De keuze van deze twee kengetallen, die niet geheel onafhankelijk zijn, heeft boven één kengetal voor de opbrengstverandering het voordeel dat eventuele alleen bij lage of hoge pH optredende effecten van de verklarende variabelen beter naar voren komen. Bovendien biedt de afzonderlijke meting van de opbrengstverandering bij lage en hoge pH de mogelijkheid om de invloed van de verklarende variabelen op de vorm van de pH-kromme na te gaan. Kortheidshalve wordt in het vervolg de opbrengstverandering tussen de aangegeven pH-waarden veelal het pH-effect genoemd.

De uitvoering van de besproken zes multipale regressieanalyses leverde de volgende resultaten.

Granen

De verandering van de opbrengst van pH 5,8 tot 6,6 is gemiddeld groter naarmate het gehalte aan afslibbare delen hoger is, en kleiner naarmate het organische-stofgehalte hoger is. Gemiddeld neemt het verschil tussen de opbrengst bij pH 6,6 en 5,8 toe met 0,49 quintalen per 10 % afslibbare delen (fig. 5). Per procent organische stof is de toeneming van de opbrengst in hetzelfde pH-traject gemiddeld 3,1 quintaal kleiner (fig. 6). De overschrijdingskans¹⁾ is in beide gevallen nog vrij hoog, nl. ca. 0,11 en 0,08.

De verandering van de opbrengst van pH 5,0 tot 5,8 neemt per 10 procent afslibbare delen toe met 0,55 quintaal en per procent organische stof af met 2,4 quintaal. De regressiecoëfficiënten zijn voor dit pH-traject nog minder betrouwbaar dan voor het eerstgenoemde. Laat men echter één sterk afwijkend proefveld buiten beschouwing, dan bedraagt de overschrijdingskans bij de factor slibgehalte nog ca. 0,12 dus ongeveer evenveel als in het hogere pH-traject is gevonden. Van alle andere in het model opgenomen verklarende variabelen levert de toets op de samenhang met het pH-effect een hoge overschrijdingskans.

V10?

¹⁾ De mate van overeenstemming tussen een hypothese en de waarnemingen wordt beoordeeld met behulp van een geschikte toets. Wij noemen in dit verslag de uitkomst van een toets significant als onder veronderstelling van geen verschil (nulhypothese) de kans op een uitkomst zoals gevonden of een sterker van nul afwijkende 0,05 of minder is.

Aangezien in dit onderzoek waar de spreiding groot is, meer informatie gewenst wordt over de kans op het ten onrechte aanvaarden van de nulhypothese, wordt meestal de kans vermeld op het onder nulhypothese optreden van een uitkomst als gevonden of een sterker van de hypothese afwijkende. Naarmate deze kans, de overschrijdingskans genoemd, hoger is, wordt de kans dat toch een invloed bestaat, kleiner.

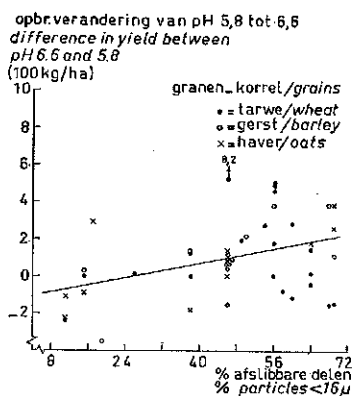


Fig. 5 Invloed van het gehalte aan afslibbare delen op de verandering van de opbrengst tussen pH 5,8 en 6,6.

Fig. 5 Influence of clay content on the difference in yield between pH 5.8 and 6.6.

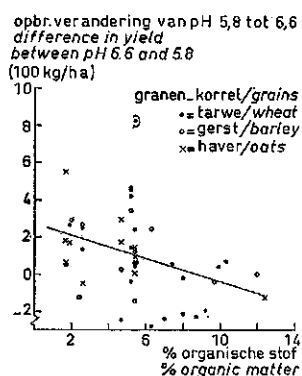


Fig. 6 Invloed van het gehalte aan organische stof op de verandering van de opbrengst tussen pH 5,8 en 6,6.

Fig. 6 Influence of organic matter content on the difference in yield between pH 5.8 and 6.6.

Aardappelen

Van alle verklarende variabelen in het model is de samenhang met het pH-effect zeer onbetrouwbaar. De regressiecoëfficiënten voor de gehalten aan afslibbare delen en organische stof hebben voor beide pH-trajecten dezelfde tekens als bij de granen werd gevonden.

Bieten

Evenals bij aardappelen levert de toets op de regressiecoëfficiënten hoge overschrijdingskansen (de laagste is voor K-HCl bij pH 5,0 tot 5,8 van ca. 0,17). De tekens van de regressiecoëfficiënten stemmen bij het hogere pH-traject wel en bij het lagere pH-traject niet overeen met die voor aardappelen. Het materiaal is echter klein voor een dergelijke analyse (bij pH 5,0 tot 5,8 slechts 9 graden van vrijheid).

Uit het bovenstaande komt min of meer naar voren dat de gehalten aan afslibbare delen en organische stof invloed hebben op de betekenis van een bepaalde pH voor de opbrengst van de gewassen. In de besproken modellen is de invloed van deze factoren echter alleen additief onderzocht. De mogelijkheid bestaat, dat de

invloed van het gehalte aan afslibbare delen afhangt van het gehalte aan organische stof. Om dit na te gaan zijn voor granen, waarvoor de relatief betrouwbaarste uitkomsten werden verkregen, nog multiële regressieanalyses uitgevoerd met als verklarende variabelen het gehalte aan afslibbare delen, het gehalte aan organische stof en het produkt van deze beide. Tevens werden weer de hulpvariabelen voor het verschil tussen de afzonderlijke granen opgenomen.

Deze analyse leverde als resultaat een iets grotere invloed van het slijbgehalte, met een hogere betrouwbaarheid (overschrijdingskans $< 0,05$), doch een interactie tussen de factoren afslibbare delen en organische stof kon niet worden aangetoond.

Op dezelfde wijze als beschreven voor het nieuw verzamelde materiaal is getracht in het materiaal van CASTENMILLER de invloed van verschillen in gehalte aan afslibbare delen en organische stof na te gaan. Hierbij deed zich de moeilijkheid voor, dat niet steeds duidelijk kon worden uitgemaakt welke opbrengstkrommen CASTENMILLER heeft gebruikt. Wij hebben getracht zo goed mogelijk te reconstrueren welke CASTENMILLER heeft gebruikt. De in beschouwing genomen proefvelden zijn vermeld in appendix 2, de bijbehorende opbrengstkrommen in de fig. 7a t/m 7g. Verder heeft CASTENMILLER gewerkt met pH-water, aangezien vóór 1947 slechts op enkele proefvelden van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid pH-KCl werd bepaald. Aangenomen werd dat het pH-water traject 6,0-6,7 overeenkomt met dat van pH-KCl 5,0 tot 5,8, resp. 6,7-7,4 met 5,8 tot 6,6.

Fig. 7. Gemiddelde samenhang tussen opbrengst en pH voor verschillende proefvelden of proefjaren (CASTENMILLER's materiaal; de nummers van de krommen komen overeen met de nummers in appendix 2).

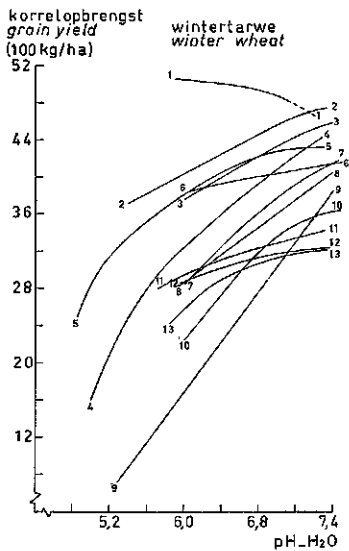


Fig. 7a

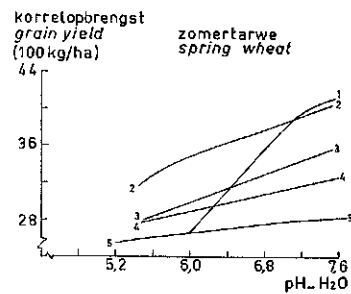


Fig. 7b

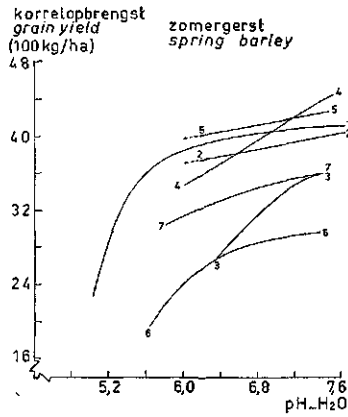


Fig. 7c

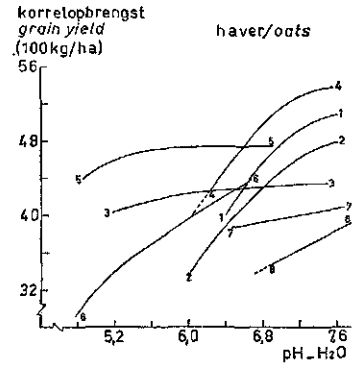


Fig. 7d

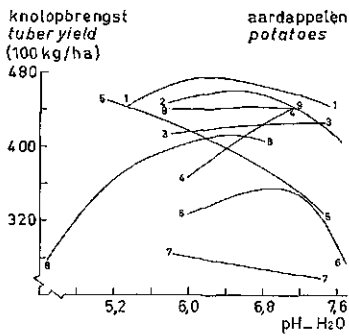


Fig. 7e

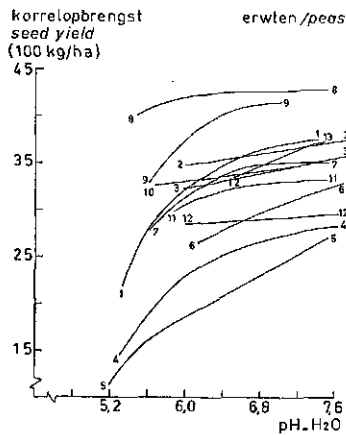


Fig. 7f

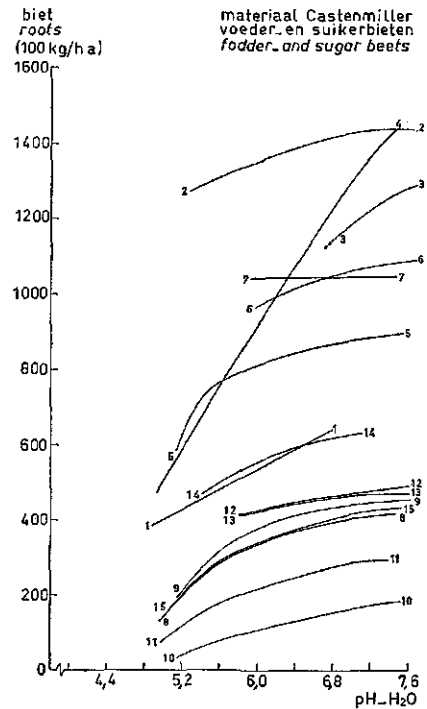


Fig. 7g

Fig. 7 Average relation between yield and pH for different fields or years (data from CASTENMILLER, 1948; the numbers of the curves correspond to numbers in appendix 2).

Voor de granen, met in totaal resp. 29 en 31 krommen bij lage en hoge pH bleek bij het hoge pH-traject een significante samenhang van het pH-effect met het slibgehalte te kunnen worden aangetoond (overschrijdingskans minder dan 0,05). In hetzelfde materiaal leverde de toets op de regressiecoëfficiënt van het humusgehalte een overschrijdingskans van 0,15. Voor het lage pH-traject werd geen betrouwbare samenhang gevonden met de variabele slibgehalte en organische-stofgehalte (overschrijdingskansen resp. ca. 0,14 en 0,12). Voor aardappelen bedroeg het aantal krommen van CASTENMILLER bij lage en hoge pH slechts resp. 9 en 6, voor bieten 13 en 14. Hoewel een dergelijke beperkte omvang van het materiaal de kans op het vinden van een significante samenhang klein maakt, is bij aardappelen voor het hoge pH-traject de samenhang met het humusgehalte significant (overschrijdingskans < 0,05). In de overige drie analyses werden geen enigszins betrouwbare verbanden gevonden.

In tegenstelling met CASTENMILLER tonen wij in zijn materiaal dus wel een invloed van het gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect aan. Vermoedelijk vindt dit zijn oorzaak in de grotere mogelijkheden die de door ons gebruikte bewerkingstechniek biedt.

In al de vermelde gevallen van een meer of minder betrouwbare samenhang in het materiaal van CASTENMILLER is het pH-effect gemiddeld groter, naarmate het gehalte aan afslibbare delen hoger en het gehalte aan organische stof lager is. Dit stemt dus kwalitatief overeen met hetgeen in het nieuw verzamelde materiaal werd gevonden. Gezien deze overeenstemming, en in aanmerking nemende dat de omvang van het materiaal per gewas in de boven beschreven analyses meestal klein was, hebben wij een gezamenlijke analyse van het nieuwe en het oude materiaal uitgevoerd.

Een regressieanalyse op het gezamenlijke materiaal werd uitgevoerd voor de gewasgroepen granen (tarwe, gerst en haver), aardappelen en bieten. Het aantal proefjaren werd in de gezamenlijke bewerking van de pH-trajecten 5,0-5,8 en 5,8-6,6 bij granen resp. 58 en 76, bij aardappelen 24 en 20 en bij bieten 32 en 32. In alle drie analyses werden als verklarende variabelen opgenomen de gehalten aan afslibbare delen en organische stof. Daarnaast werden in de gewasgroep granen weer twee hulpvariabelen opgenomen voor eventuele systematische verschillen in pH-effect tussen tarwe, gerst en haver. Als te verklaren variabelen werden voor het nieuwe materiaal genomen de verandering van de opbrengst van pH-KCl 5,0 tot 5,8 resp. van pH-KCl 5,8 tot 6,6 en voor het materiaal van CASTENMILLER dezelfde grootte bij de (als gelijkwaardig aangenomen) pH-H₂O trajecten 6,0 tot 6,7 resp. 6,7 tot 7,4.

Een overzicht van de regressiecoëfficiënten en hun betrouwbaarheid geeft tabel 3.

De regressiecoëfficiënten voor de gehalten aan afslibbare delen en organische stof in tabel 3 geven aan met hoeveel quintalen per ha het verschil in opbrengst tussen pH 5,8 en 5,0 resp. 6,6 en 5,8 verandert per procent afslibbare delen of organische stof. Bij de gewasgroep granen bijv. is de opbrengst van pH 5,0 tot pH 5,8 ge-

Tabel 3. Regressie van pH-effect op de gehalten aan afslibbare delen en organische stof (oude + nieuw materiaal).

| Gewasgroep | Beschouwde factor | pH-effect van 5,0 tot 5,8 | | pH-effect van 5,8 tot 6,6 | |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| | | gemiddelde q/ha | overschrijdingskans | gemiddelde q/ha | overschrijdingskans |
| granen cereals | pH-effect | + 2,48 | — | + 1,81 | — |
| | regr. coëff. slibgehalte * | + 0,0833 | <0,001 | + 0,0706 | <0,001 |
| | regr. coëff. org. stofgehalte ** | - 0,4199 | <0,01 | - 0,4915 | <0,01 |
| aardappelen potatoes | pH-effect | - 0,25 | — | - 10,50 | — |
| | regr. coëff. slibgehalte * | + 0,3801 | 1) >0,2 | - 0,6054 | ca. 0,05 |
| | regr. coëff. org. stofgehalte ** | - 2,107 | ca. 0,19 | + 4,202 | ca. 0,03 |
| bieten beets | pH-effect | + 62,50 | — | + 37,28 | — |
| | regr. coëff. slibgehalte * | + 0,0646 | 2) >0,2 | + 0,2741 | 3) >0,2 |
| | regr. coëff. org. stofgehalte ** | + 3,366 | >0,2 | - 3,092 | >0,2 |
| | | average 100 kg/ha | probability | average 100 kg/ha | probability |
| Crop | Factor | pH effect from 5.0 to 5.8 | | pH effect from 5.8 to 6.6 | |

* regression coefficient for particles < 16 μ

** regression coefficient for organic matter

Table 3. Regression of pH effect to contents of particles < 16 μ and organic matter (old + new data).

1) Blijven de pH-effecten van twee proefvelden uit het materiaal van CASTENMILLER die zich zonder aanwijsbare reden vrij sterk afwijkend gedragen, buiten beschouwing, dan worden de regressiecoëfficiënten voor de gehalten aan afslibbare delen en organische stof resp. + 0,5252 en - 2,190 met overschrijdingskansen van resp. 0,01 en 0,04. Het pH-effect wordt gemiddeld - 0,95.

1) If two experimental fields of CASTENMILLER, which deviate sharply, are omitted, the respective coefficients for clay and organic matter become + 0.5252 and - 2.190 with probabilities of ca. 0.01 and 0.04. The mean pH effect becomes - 0.95.

2) Wordt één proefveld dat zich zonder aanwijsbare reden sterk afwijkend gedraagt buiten beschouwing gelaten, dan worden de regressiecoëfficiënten voor de gehalten afslibbare delen en organische stof resp. + 0,0585 en + 4,518 met overschrijdingskansen van resp. > 0,2 en ca. 0,04. Het gemiddelde pH-effect wordt 55,65.

2) If one experimental field deviating sharply without obvious reason is omitted, the respective coefficients for clay and organic matter become + 0.0585 and + 4.518 with probabilities of > 0.2 and ca. 0.04. The mean pH effect becomes 55.65.

3) Hetzelfde proefveld als bij het pH-traject 5,0-5,8 is ook hier afwijkend. Weglating van dit proefveld geeft regressiecoëfficiënten van resp. + 0,3735 en - 1,650 met overschrijdingskansen in beide gevallen > 0,2. Het pH-effect wordt gemiddeld 31,06.

3) The field deviating in the pH range 5.0-5.8 is again exceptional. Omission of this field gives regression coefficients of + 0.3735 and - 1.650 with probabilities in both of > 0.2. Mean pH effect was 31.06.

middeld over de beschouwde 58 proefjaren gestegen met 2,48 quintalen. Voor elk procent afslibbare delen boven of beneden het gemiddelde van 47,1 is het pH-effect dus gemiddeld 0,0833 quintaal groter of kleiner dan 2,48. Op proefvelden met 60 % afslibbare delen (met gelijk humusgehalte) bedraagt de opbrengststijging van pH 5,0 tot 5,8 dus $(60-47,1) \times 0,0833 + 2,48 = 12,9 \times 0,0833 + 2,48 = 1,07 + 2,48 = 3,55$ quintalen.

De invloed van verschillen in gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect is in tabel 3 bij granen voor beide pH-trajecten positief en zeer significant. De samenhang wordt voor het lage pH-traject gedemonstreerd in fig. 8. Bij bieten zijn de regressiecoëfficiënten voor lage en hoge pH positief, doch de overschrijdingskansen zijn hoog. Bij aardappelen wordt in het lage pH-traject in het hele materiaal weliswaar geen invloed van het gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect aangetoond, doch door twee sterk afwijkende proefvelden buiten beschouwing te laten wordt een *significante toename* van het pH-effect met het slibgehalte gevonden. Het hoge pH-traject geeft een ongeveer significant effect, doch de invloed is in tegenstelling met de eerder besproken gevallen negatief (fig. 9).

Ook bij de factor organische-stofgehalte is het teken van de regressiecoëfficiënt

Fig. 8 Invloed van verschillen tussen proefvelden in gehalte aan afslibbare delen op de binnen de proefvelden gemeten verandering van de opbrengst van pH 5,0 tot 5,8 (bewerking op het nieuwe materiaal en dat van CASTENMILLER gezamenlijk).

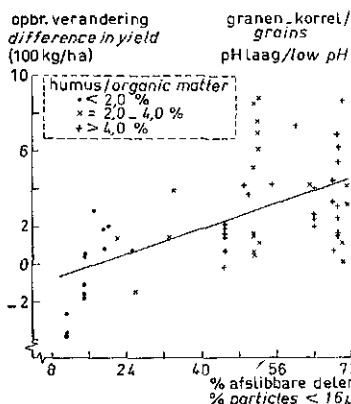


Fig. 8 Influence of differences in clay content between fields on the yield difference in the pH range 5.0-5.8 within the fields (analysis of combined data on grain crops used for this report and those of CASTENMILLER).

Fig. 9 Invloed van het gehalte aan afslibbare delen op de binnen proefvelden gemeten verandering van de opbrengst tussen pH 5,8 en 6,6 (bewerking van nieuw materiaal en dat van CASTENMILLER gezamenlijk).

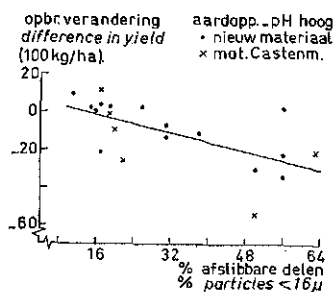


Fig. 9 Influence of differences in clay content between experimental fields on the difference in yield in the range pH 5.8-6.6 within experimental fields (analysis of the combined data on potatoes used for this report (in graph: ●) and those of CASTENMILLER (in graph: ×)).

gedraaid ten opzichte van de voorgaande significante gevallen. Dit afwijkende geval vraagt een nadere bespreking. Letten we op de behandelde positieve regressiecoëfficiënten, dan betekende een hoger gehalte aan afslibbare delen een grotere gevoeligheid van het gewas voor verschillen in pH van de grond. In al die gevallen was echter het gemiddelde effect van de pH positief of vrijwel nul (bij aardappelen pH 5,0-5,8), terwijl dit in het geval van aardappelen bij het hoge pH-traject negatief is. De negatieve regressiecoëfficiënt betekent dus in het onderhavige geval dat het pH-effect sterker negatief wordt, naarmate het gehalte aan afslibbare delen hoger wordt. In wezen leidt een hoger slibgehalte hier dus eveneens tot een vergroting van de gevoeligheid van het gewas voor verschillen in pH, hetgeen geheel overeenstemt met de andere gevallen.

De invloed van verschillen in gehalte aan organische stof op het pH-effect is bij granen negatief en significant voor beide pH-klassen. Een hoger gehalte aan organische stof heeft dus tot gevolg, dat de granen minder gevoelig zijn voor verschillen in pH van de grond (fig. 10). Bij aardappelen wordt in het lage pH-traject eveneens een negatieve regressiecoëfficiënt gevonden die door twee nogal afwijkende krommen buiten beschouwing te laten significant wordt. Het hoge pH-traject geeft een regressiecoëfficiënt met positief teken, doch in aanmerking genomen het gemiddelde negatieve pH-effect betekent dit in overeenstemming met de reeds besproken gevallen een vermindering van de gevoeligheid voor verschillen in pH.

Bij bieten is het teken van de regressiecoëfficiënt bij het hoge pH-traject negatief en bij het lage positief. In beide gevallen is de overschrijdingskans hoog, doch bij het lage traject wordt deze na weglating van een sterk afwijkende kromme uit het materiaal van CASTENMILLER ca. 0,04, dus vrij klein. In aanmerking genomen de in beide pH-trajecten gemiddeld vrij sterke positieve pH-effecten is het positieve teken van de regressiecoëfficiënt voor organische stof in het lage traject niet in overeenstemming met hetgeen men zou verwachten. Voor bieten kan dus de bij granen en aardappelen gevonden afnemning van de gevoeligheid voor verschillen in pH door een hoger gehalte aan organische stof niet worden aangetoond.

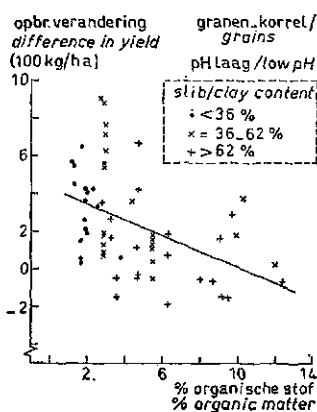


Fig. 10 Invloed van het gehalte aan organische stof op de binnen proefvelden gemeten verandering van de opbrengst tussen pH 5,0 en 5,8 (bewerking van nieuw materiaal en dat van CASTENMILLER gezamenlijk).

Fig. 10 Influence of organic matter on the difference in yield between pH 5.0 and 5.8 within experimental fields (combined data on cereal crops used for this report and those of CASTENMILLER).

De invloed van verschillen in de gehalten aan afslibbare delen en organische stof op de vorm van de volledige pH-opbrengstkrommen kan op eenvoudige wijze worden onderzocht, hoewel het verkregen resultaat moeilijk is te interpreteren. Men kan het materiaal van pH-opbrengstkrommen naar het gehalte aan afslibbare delen in enkele groepen indelen, vervolgens per groep de gemiddelde relatie tussen opbrengst en pH berekenen en de verkregen gemiddelde krommen van de groepen vergelijken. Wij voerden dit uit voor de gewasgroep granen van het nieuwe materiaal en dat van CASTENMILLER samen.

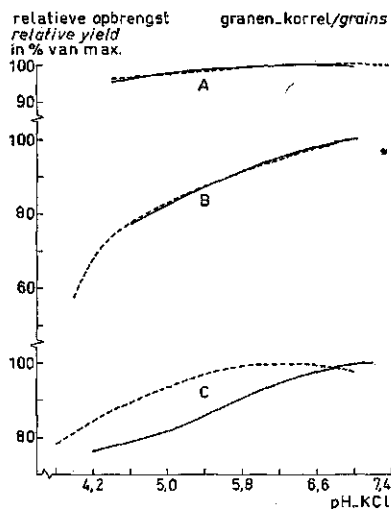
Er werden drie groepen naar slibgehalte genomen, nl. minder dan 25 %, tussen 25 en 50 en meer dan 55 % afslibbare delen. Bij elk van deze werd nog weer onderscheid gemaakt tussen een groep met lagere en een met hogere gehalten aan organische stof. Tengevolge van de positieve correlatie tussen het gehalte aan afslibbare delen en dat aan organische stof geven de grenzen van de groepen voor organische stof een opschuiving met toenemend gehalte aan afslibbare delen. De op deze wijze verkregen gemiddelde pH-opbrengstkrommen, berekend op de wijze als onder 3 beschreven, en voor elke groep van slib- en organische stofgehalten uitgedrukt in procenten van zijn maximum, worden vermeld in fig. 11.

De proefvelden met een laag gehalte aan afslibbare delen geven vlak lopende krommen, die met een hoog gehalte veel steiler verloopende krommen. Een invloed van het gehalte aan organische stof op de vorm van de kromme komt alleen bij de groep met hoog slibgehalte naar voren; bij de groep met hoog gehalte aan organische stof ligt het maximum bij een lagere pH dan bij die met laag gehalte aan organische stof. Dat niet bij alle slibgroepen een invloed van het gehalte aan organische stof wordt gevonden, behoeft niet te verwonderen indien gelet wordt op het traject in gehalte aan organische stof bij de verschillende groepen voor afslibbare delen. Tussen de factoren afslibbare delen en organische stof bestaat nl. een positieve correlatie ($r = 0,58$ voor pH 5,0 tot 5,8 en $r = 0,49$ voor pH 5,8 tot 6,6).

Fig. 11 Gemiddelde samenhang tussen relatieve opbrengst en pH voor groepen proefvelden met verschillend gehalte aan afslibbare delen en organische stof.

- A afslibbare delen/particles $< 16 \mu < 25 \%$
 ————— organische stof/organic matter $< 2,0 \%$
 - - - - - organische stof/organic matter $\geq 2,0 \%$
- B afslibbare delen/particles $< 16 \mu$ 25-55 %
 ————— organische stof/organic matter $< 2,8 \%$
 - - - - - organische stof/organic matter $\geq 2,8 \%$
- C afslibbare delen/particles $< 16 \mu > 55 \%$
 ————— organische stof/organic matter $\leq 5,2 \%$
 - - - - - organische stof/organic matter $> 5,2 \%$

Fig. 11 Average relation between relative yield and pH for groups of experimental fields with different clay and organic matter contents.



Als gevolg hiervan bestaat tussen de beide krommen voor minder dan 25 % afslibbare delen gemiddeld weinig verschil in gehalte aan organische stof (zie ter oriëntatie fig. 10). Hier valt dus ook weinig verschil in pH-effect te verwachten.

De middelste en de hoge slibgroep omvatten daarentegen proefvelden met gehalten aan organische stof tussen 3 en 12 %, zodat tussen de beide krommen in figuur 11b en 11c gemiddeld wel een flink verschil in gehalte bestaat. Niettemin werd ook bij de groep van 25-55 % afslibbare delen geen verschil in vorm van de pH-opbrengstkrommen voor de organische-stofgroepen gevonden.

Men zou het resultaat van de figuren 11b en 11c dus kunnen interpreteren als een aanwijzing, dat op zware gronden (met meer dan 55 % afslibbare delen) het effect van verschillen in gehalte aan organische stof groter is dan op kleigronden met 25-55 % afslibbare delen. Hierbij moet echter worden bedacht, dat dit resultaat samenhangt met de betrekkelijk onzekere uiteinden van de krommen die bepalend waren voor de te berekenen (of te schatten) maximale opbrengsten per slib- en organische stofgroep.

Om de genoemde aanwijzing verder te onderzoeken werd voor het samengevatte oude en nieuwe materiaal nog een regressieanalyse uitgevoerd waarin een eventuele interactie tussen afslibbare delen en organische stof kon worden getoetst. Het eerder gebruikte model werd daartoe uitgebreid met de verklarende variabele afslibbare delen maal organische stof. Het resultaat was, dat zowel voor de pH-effecten van 5,0-5,8 als voor die van 5,8-6,6 geen betere verklaring van de verschillen in pH-effect werd verkregen dan in het model zonder de factor voor de interactie tussen afslibbare delen en organische stof.

Indien een belangrijke interactie tussen de factoren afslibbare delen en organische stof zou bestaan, zou dit eveneens moeten blijken uit fig. 8, waarin de in de regressieanalyse gevonden relatie tussen het pH-effect en het gehalte aan afslibbare delen wordt gegeven met een onderscheiding van de proefvelden in drie groepen naar gehalte aan organische stof. Bij het bestaan van een interactie zouden de waarnemingen van de verschillende organische-stofgroepen moeten liggen in zwermen met uiteenlopende helling. Zoals uit de figuur blijkt, is dit niet het geval voor de middelste en de hoge organische stofgroep, die elk een flink traject van deze variabele beslaan. De groep met laag gehalte aan organische stof geeft weliswaar een tendens naar een grotere invloed van de factor afslibbare delen op het pH-effect dan de regressielijn aangeeft, maar het korte traject in afslibbare delen maakt ook hier een verschil weinig overtuigend.

Op grond van het bovenstaande concluderen wij dat het beschouwde materiaal geen voldoende aanwijzingen geeft om aan te nemen dat de invloed van het gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect afhankelijk is van het gehalte aan organische stof. Voorlopig wordt verder gewerkt met de eenvoudige additieve invloeden van afslibbare delen en organische stof die in de besproken regressieanalyses werden gevonden.

Nu is aangetoond dat de gehalten aan afslibbare delen en organische stof invloed

hebben op het effect van verschillen in pH op de opbrengst, rijst de vraag of de onder 4.2 besproken gemiddelde verschillen tussen het nieuwe materiaal en dat van CASTENMILLER hierdoor kunnen zijn veroorzaakt. In tabel 4 wordt dit nagegaan voor de gewasgroep granen, die wegens zijn grootste omvang de beste schattingen geeft. Kleine verschillen in frequentie van de afzonderlijke gewassen in de groepen worden verwaarloosd. Als maat worden de kengetallen voor het pH-effect genomen die bij de regressieanalyses werden gebruikt, terwijl de regressiecoëfficiënten van de samenvatting in tabel 3 worden genomen.

Na herleiding op gelijke gehalten aan afslibbare delen en organische stof worden de gemiddelde pH-effecten in het nieuwe en het oude materiaal dus 1,50 en 2,66 resp. 1,01 en 1,63. Het verschil wordt dus aanzienlijk kleiner, doch het materiaal van CASTENMILLER blijft een sterker pH-effect vertonen. Het is niet uitgesloten dat de toegepaste omrekening van pH-H₂O op pH-KCl hierbij een rol speelt.

De gevoeligheid van de gewassen voor de pH van de grond is volgens BRUIN (1936) en VISSER (1938) o.a. afhankelijk van de algemene vruchtbaarheidstoestand van de grond, die tot uitdrukking komt in het opbrengstniveau. Zij vonden dat een bepaalde opbrengstverandering per 0,1 pH-eenheid bij een lagere pH-waarde optreedt, naarmate de opbrengst zelf hoger is. Wij hebben nagegaan of dit zich ook in ons materiaal voordoet. Daarbij moest er rekening mee worden gehouden dat het vruchtbaarheidsniveau kan samenhangen met de gehalten aan afslibbare delen en organische stof. In ons materiaal bleek tussen proefjaren enige samenhang van de opbrengst bij pH 5,8 met het gehalte aan afslibbare delen te bestaan. De samenhang tussen het pH-effect en het opbrengstniveau is daarom nagegaan voor constante gehalten aan afslibbare delen en organische stof. Deze (resterende) invloed van de vruchtbaarheidstoestand op het pH-effect wordt gevonden door de afwijkingen ten opzichte van ons regressiemodel uit te zetten tegen het opbrengstniveau. Het resultaat wordt gegeven in fig. 12. De waarnemingen zijn naar opbrengstniveau in vier groepen ingedeeld en in elke groep is afzonderlijk voor het pH-effect tussen 5,0 en 5,8 en tussen 5,8 en 6,6 het zwaartepunt bepaald. Aangezien de zwaartepunten voor het pH-effect in de beide pH-groepen vrij goed samenvallen, is de regressie van het pH-effect op het opbrengstniveau berekend voor beide groepen gezamenlijk. De samenhang is zeer significant.

Het pH-effect is bij de granen gemiddeld 0,055 quintaal kleiner per quintaal hoger opbrengstniveau bij pH 5,8 (fig. 12). Over het gehele traject van opbrengsten van ca. 30 tot 50 quintalen geeft dit dus een gemiddeld verschil in pH-effect van ca. één quintaal. Dit is vrij gering in vergelijking met de invloed van de factoren afslibbare delen en organische stof, waarvoor over het gehele traject een verschil van ca. vier quintalen in pH-effect werd gevonden.

Voor aardappelen vinden wij een kwalitatief gelijke samenhang van het pH-effect met het opbrengstniveau als voor granen. Het pH-effect is bij dit gewas voor de beide pH-trajecten 5,0 tot 5,8 en 5,8 tot 6,6 echter resp. vrijwel nul en duidelijk negatief. Fig. 12 geeft dus aan dat het pH-effect van aardappelen bij een hoog

Tabel 4. *Vergelijking van het gemiddelde pH-effect in het nieuwe materiaal met dat van CASTENMILLER, waarbij rekening is gehouden met de gehalten aan afslibbare delen en organische stof (granen).*

| | Gemiddeld pH-effect | % Afslib- baar | % Organi- sche stof | Correctie op materiaal CASTENMILLER | | Totaal |
|----------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------|
| | | | | % afslibbaar | % organische stof | |
| pH 5,0-5,8 | | | | | | |
| nieuw materiaal / new data | 1,50 | 45,0 | 5,49 | | | |
| materiaal CASTENMILLER | 3,86 | 49,7 | 3,56 | | | |
| CASTENMILLER's data | | | | $-4,7 \times 0,0833 = -0,39$ | $1,93 \times -0,4199 = -0,81$ | - 1,20 |
| pH 5,8-6,6 | | | | | | |
| nieuw materiaal / new data | 1,01 | 46,4 | 5,44 | | | |
| materiaal CASTENMILLER | 2,95 | 48,6 | 3,07 | | | |
| CASTENMILLER's data | | | | $-2,2 \times 0,0706 = -0,16$ | $2,37 \times -0,4195 = -1,16$ | - 1,32 |
| | Average pH effect | % Particles < 16 μ | % Organic matter | % particles < 16 μ | % organic matter | Total |
| | | Correction for CASTENMILLER's data | | | | |

Table 4. *The average pH effect in the new data, compared with the average pH effect in CASTENMILLER's data, the contents of clay and organic matter taken into account.*

Fig. 12 Samenhang tussen de afwijkingen van het regressiemodel en de gemiddelde opbrengst bij pH 5,8 (granen en aardappelen).



Fig. 12 Relation between deviations from regression model and yield level at pH 5.8 (cereals and potatoes).

opbrengstniveau sterker negatief wordt. Per quintaal hogere opbrengst wordt het pH-effect 0,05 quintaal meer negatief. De samenhang is significant.

Voor bieten werd geen samenhang tussen het pH-effect en het opbrengstniveau gevonden.

Uit het bovenstaande blijkt dat in ons materiaal de invloed van de gehalten aan afslibbare delen en organische stof op het pH-effect kwantitatief veel groter is dan de (resterende) 'invloed' van het opbrengstniveau. Om deze reden, èn omdat niet is aan te geven van welke vruchtbaarheidsfactoren de opbrengstverschillen het gevolg zijn, wordt het opbrengstniveau voor de advisering van de optimale pH verder buiten beschouwing gelaten.

6 Invloed van het tijdstip van bekalking

Dat het tijdstip van toediening van kalk invloed kan hebben op de vorm van de pH-opbrengstkromme is voor zandgrond aangetoond door SLUIJSMANS en BOSKMA (1959). In de beschreven proeven werden veldjes die kort vóór het zaaien van de bieten waren bekalkt vergeleken met niet recent bekalkte veldjes. De pH-opbrengstkromme bleek voor de laatste veldjes een veel grotere toeneming van de bieten-opbrengst per 0,1 pH-eenheid te geven dan die van de recent bekalkte. Nagegaan is, of ook in ons materiaal de recent bekalkte proefvelden gemiddeld anders reageren.

In de gewasgroep granen bleek voor de lage en hoge pH-trajecten in resp. zes en zeven proefjaren in het voorjaar of het voorgaande najaar te zijn bekalkt. Bij bieten bleek dit in resp. vijf en vijf proefjaren het geval te zijn. Aardappelen werden niet in de vergelijking betrokken.

Voor de proefjaren met recente bekalking werd nagegaan, hoe vaak het kengetal voor het pH-effect in het desbetreffende pH-traject groter, kleiner of gelijk was aan hetgeen op grond van de gehalten aan afslibbare delen en organische stof was te verwachten. De resultaten van deze eenvoudige toets geeft tabel 5.

Alleen bij het lage pH-traject worden bij bieten op de recent bekalkte proeven kleinere pH-effecten gevonden. Het verschil is echter niet significant. De overige drie gevallen geven geen duidelijke verschillen ten opzichte van het gemiddelde effect.

Tabel 5. Frequentie van het pH-effect in proeffaren met recente bekalking onder gelijkblijvende gehalten aan afslibbare delen en organische stof t.o.v. het gemiddelde pH-effect.

| Gewasgroep | pH-traject | Frequentieverdeling | | |
|------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|--------------|
| | | groter | kleiner | gelijk |
| granen / cereals | 5,0-5,8 | 3 | 2 | 1 |
| granen / cereals | 5,8-6,6 | 4 | 3 | 0 |
| bieten / beets | 5,0-5,8 | 0 | 5 | 0 |
| bieten / beets | 5,8-6,6 | 2 | 3 | 0 |
| | | <i>bigger</i> | <i>smaller</i> | <i>equal</i> |
| <i>Crop</i> | <i>pH range</i> | <i>Frequency distribution</i> | | |

Table 5. Frequency of pH effects more than, less than or equal to the average in trials with recent liming where clay and organic matter are constant.

Ook de alternatieve hypothese dat de pH-effecten op de vers bekalkte proefvelden gelijk zijn aan die van de niet recent bekalkte (verschillen in gehalten aan afslibbare delen en organische stof in aanmerking genomen) wordt niet verworpen.

Bij de beoordeling van de resultaten van deze toetsen moet bedacht worden dat het aantal waarnemingen in alle vier groepen klein is, zodat aan de uitkomsten niet veel waarde mag worden toegekend. De voorzichtige conclusie luidt, dat bij de bieten (laag pH-traject) een aanwijzing is gevonden in dezelfde richting als voor zandgrond door SLUIJSMANS en BOSKMA (1959) wordt vermeld.

7 Opbouw van een advies voor de bekalking van kleigrond gebaseerd op de gevonden relaties

Voor de opbouw van een bekalkingsadvies wordt uitgegaan van de gemiddelde relatie tussen de opbrengst van de gewassen en de pH van de grond. Om deze gemiddelden op zoveel mogelijk gegevens te baseren werden de afzonderlijke pH-opbrengstcurven die CASTENMILLER gebruikte op dezelfde wijze gemiddeld als voor het nieuwe materiaal is beschreven in hoofdstuk 3, en per gewas één gemiddelde kromme berekend voor het oude en nieuwe materiaal samen. Aangenomen is dat pH-KCl en pH-H₂O in elkaar kunnen worden omgerekend, zoals bij de gezamenlijke regressieanalyses op de pH-effecten werd gedaan. De gemiddelde rela-

Tabel 6. Gemiddelde samenhang tussen de opbrengst in % van het maximum en de pH van de grond (nieuw materiaal en dat van CASTENMILLER samengevoegd).

| Gewas | Aantal proefjaren | pH-KCl | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 6,0 | 6,4 | 6,8 | 7,2 |
| bieten / beets | 47 | 75 | 82 | 88 | 92 | 95 | 98 | 99 | 100 |
| tarwe / wheat | 55 | 81 | 85 | 89 | 93 | 96 | 99 | 100 | 100 |
| gerst / barley | 19 | 83 | 88 | 91 | 94 | 96 | 99 | 100 | 100 |
| haver / oats | 26 | 89 | 92 | 94 | 96 | 98 | 99 | 100 | 100 |
| aardappelen / potatoes | 38 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 97 | 94 | — |
| erwten / peas | 26 | 88 | 95 | 98 | 99 | 100 | 100 | 100 | 98 |

| Crop | Number of field-years |
|------|--------------------------|
|------|--------------------------|

Table 6. Average relation between yield in % of maximum and pH of the soil (new data and those of CASTENMILLER combined).

tieve opbrengsten in procenten van het maximum (eventueel door extrapolatie geschat) zijn vermeld in tabel 6.

Per gewas is het gehalte aan organische stof gemiddeld vrijwel gelijk (ca. 4%), doch het gehalte aan afslibbare delen loopt tussen de gewassen iets uiteen. De proefpercelen van tarwe, gerst, haver en erwten verschillen gemiddeld weinig in slibgehalte (gemiddeld resp. 46,5; 42,7; 43,5 en 46,7), doch aardappelen en bieten hebben gemiddeld betrekking op iets lichtere gronden (gemiddeld resp. 31,2 en 34,3 % afslibbare delen). Zou men de invloed van de verschillen in gehalte aan afslibbare delen willen elimineren door hun bij granen gevonden invloed, uitgedrukt in relatieve maat, als correctie te gebruiken, dan worden de verhoudingen tussen de gewassen ten aanzien van de reactie op pH-verschillen hierdoor nog weinig beïnvloed. Het belangrijkste verschil tussen tabel 6 en een soortgelijke tabel voor 35 % afslibbare delen zou zijn, dat de relatieve opbrengst van granen en erwten bij pH 5,0 ongeveer 2 % hoger zou worden.

De verschillen in gevoeligheid van de gewassen voor de pH van de grond werden in hoofdstuk 4 reeds voorlopig besproken. Gemiddeld geeft haver bij lage pH minder opbrengstverlies dan tarwe en gerst. Bieten reageren aanmerkelijk sterker dan granen. Aardappelen geven al bij lage pH de maximale opbrengst en van ca. pH 5,6 naar hogere kalktoestand een geleidelijk toenemende oogstdepressie. Hoewel de reactie van erwten in het materiaal van CASTENMILLER sterk verschilt van die in het onze (tabel 2), werden in tabel 6 de proefjaren toch samengevoegd, aangezien wij het verschil niet kunnen verklaren. Voor erwten werden gemiddeld de hoogste opbrengsten gevonden tussen pH 6,0 en 6,8. Dit resultaat stemt overeen met het onderzoek van BOEKEL²⁾ in noordelijk Friesland en Groningen. Bij vergelijking van

²⁾ BOEKEL, P. Mondelinge mededeling; onderzoek verricht in het kader van de werkgroep streekonderzoek erwten.

de opbrengsten van ca. 150 praktijkpercelen met erwten verdeeld over drie jaren, werd in twee jaren geen duidelijke samenhang met de pH gevonden en in één jaar een aanwijzing voor een maximum bij ca. 6,5.

Hier wordt verder volstaan met erop te wijzen, dat de grote verschillen in gevoeligheid het wenselijk maken bij de keuze van de pH waartoe men wil bekalken rekening te houden met het bouwplan. Naarmate bieten en tarwe een grotere plaats in de vruchtwisseling innemen, is het nodig tot een hogere pH te bekalken. Meer aardappelen en erwten maken het daarentegen wenselijk de pH lager te houden.

Let men op de gemiddelde effecten van de gewassen in tabel 6, dan blijkt de gewasgroep granen, gewogen gemiddeld over tarwe, gerst en haver, een tussenpositie in te nemen tussen sterk reagerende gewassen als de bieten en niet of negatief reagerende gewassen als aardappelen. In het volgende wordt aangenomen dat het pH-effect van onze groep granen behoorlijk representatief is voor het pH-effect van het gehele bouwplan op kleigrond ³⁾.

De cijfers in tabel 6 gelden, zoals vermeld, voor de gemiddelde gehalten aan afslibbare delen en organische stof van de desbetreffende proefjaren. Zoals in hoofdstuk 5 is aangetoond, is de invloed van pH op de opbrengst groter naarmate het gehalte van de grond aan afslibbare delen hoger en dat aan organische stof lager is. De invloed van deze factoren werd het nauwkeuriger geschat en met de grootste waarschijnlijkheid aangetoond bij de granen (tabel 3). Ook bij aardappelen en bieten werd in grote lijn gevonden dat een hoger gehalte aan afslibbare delen de gevoeligheid voor verschillen in pH doet toenemen, terwijl een hoger gehalte aan organische stof de gevoeligheid vermindert.

Op grond van de nauwkeuriger schatting, samen met de voor het bouwplan ongeveer representatieve grootte van het pH-effect, wordt de invloed van de factoren afslibbare delen en organische stof bij de granen verder gebruikt voor de opbouw van het advies.

Om de invloed van verschillen in gehalte aan afslibbare delen op de vorm van de pH-kromme aan te geven wordt uitgegaan van de gemiddelde opbrengstveranderingen tussen pH 5,0 en 5,8 resp. 5,8 en 6,6 die voor de regressieanalyses werden gebruikt. Deze kunnen worden afgelezen uit de figuren die de samenhang geven tussen het pH-effect en het gehalte aan afslibbare delen. In fig. 8 bijv. is het pH-effect bij gemiddeld slibgehalte van 47 % dus 2,5 quintalen per ha. Ze stemmen uiteraard nauw overeen met de cijfers die aan tabel 6 ten grondslag liggen, hoewel kleine verschillen kunnen bestaan, omdat in het laatste geval ook krommen die niet de genoemde pH-grenzen overbruggen, mede zijn gemiddeld.

Voor granen steeg de opbrengst van pH 5,0 tot 5,8 met gemiddeld 2,5 quintalen en van pH 5,8 tot 6,6 met gemiddeld 1,8 quintalen. Met behulp van de gemiddelde opbrengst van 38,5 quintalen bij pH 5,8 is dus te berekenen dat de ge-

³⁾ Dit klopt bij pH 6,0 ongeveer met het bouwplan op zeekleigrond in 1963. Bij lagere pH is dat niet meer het geval.

gemiddelde opbrengst bij pH 5,0 bedraagt $38,5 - 2,5 = 36,0$ quintalen en bij pH 6,6: $38,5 + 1,8 = 40,3$ quintalen.

Op dezelfde wijze als voor het gemiddelde gehalte aan afslibbare delen is besproken, kan voor elk slijbgehalte binnen het onderzochte traject de opbrengstverandering tussen pH 5,0 en 5,8 resp. 5,8 en 6,6 worden afgelezen. Vervolgens kan op analoge wijze als boven is gedemonstreerd voor het desbetreffende gehalte aan afslibbare delen de opbrengst bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 worden berekend.

Tabel 7. Invloed van het gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect in quintalen per ha.

| pH-traject | % Afslibbare delen | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| opbrengstverandering | | | | | | |
| <i>difference in yield</i> | | | | | | |
| 5,0-5,8 | -0,6 | 0,2 | 1,1 | 1,9 | 2,7 | 3,6 |
| 5,8-6,6 | -0,8 | -0,1 | 0,6 | 1,3 | 2,0 | 2,7 |
| gemiddelde opbrengst | | | | | | |
| <i>average yield</i> | | | | | | |
| 5,0 | 39,1 | 38,3 | 37,4 | 36,6 | 35,8 | 34,9 |
| 5,8 | 38,5 | 38,5 | 38,5 | 38,5 | 38,5 | 38,5 |
| 6,6 | 37,7 | 38,4 | 39,1 | 39,8 | 40,5 | 41,2 |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| pH range | % Particles < 16 μ | | | | | |

Table 7. Influence of the clay content on the effect of pH on yield (100 kg per ha).

De opbrengsten bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 uit het onderste gedeelte van tabel 7 werden gebruikt om de maximale opbrengst te bepalen die onder invloed van variatie in pH kan worden verkregen. Hiertoe werd een tweedegraadsfunctie door de drie waarden berekend en daarvan het maximum bepaald. Dit impliceert de veronderstelling dat de relatie tussen opbrengst en pH binnen het beschouwde traject redelijk kan worden beschreven door een functie van de tweede graad. Vervolgens werden de opbrengsten uitgedrukt in procenten van dit maximum. De berekende relatieve opbrengsten bij de drie pH-waarden van tabel 7 zijn vermeld in tabel 8.

Worden op lichte grond reeds bij een pH van 5,0 de hoogste opbrengsten verkregen, op zware grond is een pH van 6,6 nog duidelijk te laag. In het laatste geval lijkt voor de hoogste opbrengst van het gewas een pH van tenminste 7,0 nodig. Aangezien de figuren waaruit de invloed van het gehalte aan afslibbare delen werd afgelezen, gelden voor het gemiddeld gehalte aan organische stof, geldt hetzelfde voor de verschillende kolommen in tabel 8.

Tabel 8. Invloed van de pH op de relatieve opbrengst bij verschillend gehalte aan afslibbare delen (4,5 % org. stof) in procenten van het maximum.

| pH-KCl | % Afslibbare delen | | | | | |
|--------|------------------------|-----|-----|----|----|----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 5,0 | 98 | 100 | 95 | 91 | 86 | 82 |
| 5,8 | 97 | 100 | 98 | 96 | 93 | 90 |
| 6,6 | 95 | 100 | 100 | 99 | 98 | 97 |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| pH-KCl | % Particles < 16 μ | | | | | |

Table 8. Influence of pH on relative yield (in % of maximum) for soils with different clay content and 4.5 % organic matter.

Om pH-opbrengstkrommen te verkrijgen voor een verschillend gehalte aan organische stof is op analoge manier gewerkt als zojuist voor het gehalte aan afslibbare delen is uiteengezet. De gemiddelde relatieve opbrengsten uitgedrukt in procenten van het maximum bij de desbetreffende klasse van organische stof, worden vermeld in tabel 9.

Tabel 9. Invloed van de pH op de relatieve opbrengst bij verschillend gehalte aan organische stof (47 % afslibbaar) in procenten van het maximum.

| pH-KCl | % Organische stof | | | |
|--------|-------------------|----|----|-----|
| | 2 | 4 | 6 | 10 |
| 5,0 | 81 | 86 | 92 | 100 |
| 5,8 | 89 | 93 | 97 | 100 |
| 6,6 | 96 | 98 | 99 | 98 |
| | 2 | 4 | 6 | 10 |
| pH-KCl | % Organic matter | | | |

Table 9. The influence of pH on yield in % of maximum, at different organic matter contents (47 % particles < 16 μ).

Bij een laag gehalte aan organische stof hebben verschillen in pH van de grond een grotere invloed op de opbrengst dan bij een hoog gehalte. Bij 10 % organische stof is een pH van ca. 5,0 al ongeveer optimaal, bij 2 % organische stof bedraagt het opbrengstverlies bij pH 6,6 nog ca. 4 %.

In hoofdstuk 5 is besproken dat het materiaal geen voldoende aanwijzingen geeft om verder te gaan dan de invloed van afslibbare delen en organische stof als additief aan te nemen. In een model waarin dit het geval is, kunnen met de gemiddelde invloed van deze factoren rechtstreeks de gemiddelde opbrengsten bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 worden berekend bij elke combinatie van afslibbare delen en

organische stof. Op analoge wijze als boven voor het gehalte aan afslibbare delen bij gemiddeld gehalte aan organische stof is gedemonstreerd, kunnen voor één van beide factoren de gemiddelde opbrengsten bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 worden berekend. Vervolgens kan daarbij opgeteld worden de afwijking die de andere factor bij elk van de drie pH-waarden geeft ten opzichte van zijn gemiddelde invloed. Deze som geeft de opbrengsten in quintalen per ha bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 voor de desbetreffende combinatie van afslibbare delen en organische stof. De verkregen opbrengsten vormen drie punten van de pH-opbrengstkromme die wij verder hebben geschat door een kwadratische functie aan te passen en het maximum van deze functie te berekenen. Indien het maximum beneden pH 4,0 of boven pH 7,2 zou vallen, is de opbrengst bij deze pH-waarden als maximum aangenomen om al te sterke extrapolaties te vermijden⁴⁾. De opbrengsten in quintalen per ha bij pH 5,0; 5,8 en 6,6 werden vervolgens uitgedrukt in procenten van het maximum en vermeld in tabel 10.

Tabel 10. Samenhang tussen de relatieve opbrengst van granen (in % van de maximale) en de pH bij enkele combinaties van gehalten aan afslibbare delen en organische stof.

| Organische stof-gehalte | pH-KCl | % Afslibbare delen | | | | | |
|-------------------------|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 2 % | 5,0 | 97,2 | 92,6 | 87,9 | 83,8 | 79,6 | 75,8 |
| | 5,8 | 98,2 | 95,5 | 93,0 | 90,6 | 88,1 | 86,1 |
| | 6,6 | 99,2 | 98,3 | 97,3 | 96,5 | 95,4 | 94,9 |
| 4 % | 5,0 | 99,2 | 98,7 | 93,9 | 89,4 | 85,2 | 80,9 |
| | 5,8 | 98,2 | 99,7 | 97,2 | 94,6 | 92,1 | 89,7 |
| | 6,6 | 96,7 | 100,0 | 99,2 | 98,3 | 97,4 | 96,5 |
| 6 % | 5,0 | 97,1 | 99,7 | 99,0 | 95,6 | 91,0 | 86,6 |
| | 5,8 | 93,9 | 98,5 | 100,0 | 98,7 | 96,0 | 93,7 |
| | 6,6 | 90,0 | 96,2 | 99,5 | 100,0 | 99,0 | 98,3 |
| 10 % | 5,0 | 94,1 | 96,2 | 99,2 | 100,0 | 99,0 | 96,4 |
| | 5,8 | 87,5 | 91,2 | 96,2 | 99,0 | 100,0 | 99,7 |
| | 6,6 | 79,5 | 84,6 | 91,0 | 95,4 | 98,2 | 99,7 |
| Organic matter content | pH-KCl | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| | | % Particles < 16 μ | | | | | |

Table 10. Relation between yield (in % of maximum) of cereal crops and pH of the soil at some clay and organic matter contents.

⁴⁾ De waarden 4,0 en 7,2 vormen ongeveer de grenzen van het pH-traject waarover het nieuwe materiaal gegevens opleverde.

Uit tabel 10 blijkt welke pH-waarde ongeveer nodig is bij verschillende combinaties van gehalten aan afslibbare delen en organische stof. Bij een gehalte aan afslibbare delen van 10 % is een pH van 5,0 te laag indien het gehalte aan organische stof 2 % bedraagt, ongeveer optimaal bij 4 % en te hoog bij 10 % organische stof. Bij 60 % afslibbare delen en 10 % organische stof is een pH van 5,8 pas ongeveer optimaal. Bij hetzelfde gehalte aan afslibbare delen en 2 % organische stof ligt het maximum van de pH-opbrengstkromme berekend door extrapolatie, belangrijk boven pH 7,2 (voor berekening van de relatieve opbrengsten is echter, zoals eerder genoemd, de opbrengst bij pH 7,2 als maximum aangenomen).

Hoewel de cijfers in tabel 10 als gevolg van de aanname van geen interactie tussen afslibbare delen en organische stof en de lineaire basisrelaties met grote spreiding als vrij globaal moeten worden beschouwd, tonen ze toch wel aan dat bij bekalking van kleigrond met beide factoren rekening moet worden gehouden. Doet men dit niet, dan kunnen aanzienlijke opbrengstdervingen het gevolg zijn.

8 Vergelijking van de resultaten met het bestaande adviesschema

Het is van belang de verkregen uitkomsten te vergelijken met het thans gebruikte adviesschema voor de bekalking van kleigronden. Om dit eenvoudig en overzichtelijk te kunnen doen is voor alle combinaties van afslibbare delen en organische stof in tabel 10 berekend, bij welke pH-waarden de opbrengsten 1 % of minder beneden het (eventueel aangenomen) maximum liggen. De uitkomsten van deze berekening zijn vermeld in tabel 11. In de gevallen waar een sterretje achter de pH-waarde staat, treedt volgens de berekende kromme een opbrengstderving van meer dan 1 % op bij een hogere pH, in de andere gevallen bij een lagere.

Tabel 11. *Beneden en/of bovengrenzen van het pH-traject waar de depressie in opbrengst ≤ 1 % is (bovengrenzen met *).*

| % Organische stof | % Afslibbare delen | | | | | |
|-------------------|------------------------|-------|-------|-------|------------|------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 2 | 6,44 | 6,94 | 6,94 | 7,00 | 7,08 | 7,06 |
| 4 | 5,22* | 5,40 | 6,43 | 6,81 | 6,94 | 7,00 |
| 6 | 4,39* | 5,55* | 5,00 | 5,90 | 6,60 | 6,80 |
| 10 | 4,24* | 4,32* | 5,10* | 5,80* | 5,00/6,38* | 5,53 |
| % Organic matter | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| | % Particles < 16 μ | | | | | |

Table 11. *Lower or upper limits of the pH range with yield depression of 1 % or less (upper limits marked with *).*

De pH-waarden uit tabel 11 (met uitzondering van die met een sterretje) kunnen worden vergeleken met die welke als benedengrens van de waarderingsklasse 'goed' worden vermeld in het huidige adviesschema. Omdat niet steeds nauwkeurig vaststaat, welke opbrengstdepressie volgens het adviesschema bij deze pH-waarde wordt verwacht, blijft de vergelijking enigszins globaal. Het gegeven voor minder dan 5 % organische stof is ontleend aan schema 4, de rest aan schema 8 uit de ADVIESBASIS VOOR DE BEMESTING VAN LANDBOUWGRONDEN.

Vergelijking van de rij voor < 5 % organische stof in tabel 12, die geldt voor het gemiddelde gehalte aan afslibbare delen, met de rijen voor 2 en 4 % organische stof van tabel 11 toont aan, dat bij ongeveer 40 % afslibbare delen volgens de nieuwe gegevens een iets hogere pH wenselijk zou zijn dan het geldende adviesschema aangeeft, hoewel het verschil klein is. De zware gronden zouden echter tot een veel hogere pH moeten worden bekalkt, de lichte daarentegen minder sterk.

Een groot verschil tussen het geldende adviesschema en de nieuwe gegevens komt naar voren bij vergelijking van de twee rechtse kolommen van de tabellen 11 en 12. Volgens de nieuwe gegevens is bij hoog gehalte aan organische stof, vooral wanneer dit samengaat met een laag gehalte aan afslibbare delen, een aanmerkelijk lagere pH dan het huidige adviesschema aangeeft voldoende voor de opbrengst. De thans geldende waarden zijn zelfs ongunstig hoog.

Zoals bij de bespreking van tabel 6 (zie boven) is opgemerkt, komt de reactie van onze gewasgroep granen, waarop tabel 11 is gebaseerd, gemiddeld ongeveer overeen met een bouwplan waarin ca. 1/7 aardappelen, 1/7 bieten en 1/7 als bieten reagerende, andere gewassen voorkomen.

Om aan te geven welke pH-waarde economisch optimaal is, zouden naast de reactie en de opbrengst van de gewassen in geld ook de kosten verbonden aan het op peil houden van de pH in afhankelijkheid van de gehalten aan afslibbare delen

Tabel 12. pH-waarden die de benedengrens van de waarderingsklasse 'goed' in het bestaande bekalingsadvies vormen.

| % Organische stof | % Afslibbare delen | | | | | |
|-------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| < 5 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,7 |
| ca. 6 | 5,3 | 5,6 | 6,1 | 6,3 | 6,4 | 6,4 |
| ca. 10 | 5,1 | 5,3 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,2 |
| % Organic matter | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| | % Particles < 16 μ | | | | | |

Table 12. pH values that are lower limits for 'good pH status of the soil' according to the present advisory scheme.

en organische stof in de beschouwing moeten worden betrokken. Dit ligt echter buiten het bestek van deze publikatie.

Naarmate meer of minder van de gevoelige gewassen (tabel 6) worden verbouwd, worden de aan de pH te stellen eisen uit tabel 11 hoger of lager.

9 Samenvatting

Van alle kalkproeven die volgens het kaartstelsel van het IB in de periode 1947-1963 op zeekelegrond in Nederland werden genomen en waarvan voldoende gegevens beschikbaar waren, werd de relatie tussen de opbrengst en de pH van de grond nagegaan. In totaal betrof dit 166 proefjaren van 38 proefvelden.

De invloed van verschillen in pH van de grond op de opbrengst was gemiddeld bij bieten en aardappelen ongeveer gelijk en bij granen kleiner dan CASTENMILLER vond in het materiaal van vóór 1947. Voor erwten werd een daling van de opbrengst naar hogere pH gevonden, terwijl dit gewas volgens de gegevens van CASTENMILLER positief zou reageren.

Tussen de proefvelden komen grote verschillen voor in invloed van de kalktoestand op de opbrengst. Als kengetallen voor de invloed van pH werden genomen de opbrengstverandering bij pH 5,0 tot 5,8 en die bij pH 5,8 tot 6,6. Getracht werd deze te verklaren uit verschillen in gehalte aan afslibbare delen en organische stof van de proefpercelen. Ook het kaligehalte van de grond en de kalien- en stikstofbemesting werden in enkele regressieanalyses als verklarende variabelen opgenomen. Door samenvoeging van enkele min of meer gelijksoortige gewassen werd getracht het materiaal in 'gewasgroepen' in te delen om aldus met meer waarnemingen scherper te kunnen toetsen.

De verklarende variabelen afslibbare delen en organische stof vertoonden geen significante samenhang met het pH-effect. In het gunstigste geval (granen) werden overschrijdingskansen gevonden van resp. ca. 0,11 en 0,08. Voor de andere verklarende variabelen was het resultaat niet beter. In de meeste gevallen bestond tussen de gewasgroepen overeenstemming ten aanzien van de richting van de invloed zowel van afslibbare delen als van organische stof. Een hoger gehalte aan afslibbare delen vergroot de invloed van pH-verschillen op de opbrengst, een hoger gehalte aan organische stof verkleint deze.

Na een zo goed mogelijke reconstructie van de pH-opbrengstkrommen die CASTENMILLER voor zijn samenvatting gebruikte, werd ook op dit materiaal een regressieanalyse uitgevoerd. Hierin werd alleen de invloed van de factoren afslibbare delen en organische stof op het pH-effect onderzocht, afzonderlijk voor het opbrengsteffect in de pH-H₂O-trajecten 6,0 tot 6,7 en 6,7 tot 7,4. Voor de gewasgroep granen bedroeg de overschrijdingskans voor de samenhang met de factor afslibbare delen resp. minder dan 0,05 en ca. 0,14 en voor de factor organische stof

resp. 0,15 en 0,12. Voor aardappelen werd in het hoge pH-traject een overschrijdingskans voor de samenhang met het organische-stofgehalte kleiner dan 0,05 gevonden. In de andere gevallen waren de overschrijdingskansen hoog.

De invloed van de factoren afslibbare delen en organische stof stemde kwalitatief goed overeen met hetgeen in de analyses van het nieuwe materiaal was gevonden.

Een regressieanalyse op het nieuwe materiaal en dat van CASTENMILLER samen leverde bij de gewasgroep granen zowel met de kengetallen voor het pH-effect in het lage als met die in het hoge pH-traject een zeer significante samenhang met de gehalten aan afslibbare delen en organische stof (overschrijdingskans $< 0,001$ resp. $< 0,01$). Ook bij aardappelen en bieten werden in het samengevoegde materiaal in verschillende gevallen significante verbanden tussen de grootte van het pH-effect en de gehalten aan afslibbare delen en organische stof gevonden.

Duidelijk komt naar voren dat een hoger gehalte aan afslibbare delen in het algemeen de gevoeligheid van het gewas voor verschillen in pH van de grond verhoogt en een hoger gehalte aan organische stof die gevoeligheid verlaagt.

Met kennis van deze verbanden kan een gedeelte van het verschil in gemiddelde reactie van de gewassen in het nieuwe materiaal ten opzichte van dat van CASTENMILLER worden verklaard, hoewel enig verschil blijft bestaan.

Het materiaal leverde geen duidelijke aanwijzingen dat de invloed van het gehalte aan afslibbare delen op het pH-effect afhangt van het gehalte aan organische stof.

Het pH-effect vertoont, nadat verschillen in gehalte aan afslibbare delen en organische stof in rekening zijn gebracht, nog een samenhang met het opbrengst-niveau. Naarmate de opbrengst bij pH 5,8 hoger is, geven de granen een kleiner pH-effect te zien en wordt het effect bij aardappelen sterker negatief. In de gegevens van bieten is geen samenhang tussen het pH-effect en de hoogte van de opbrengst gevonden.

In het nieuwe materiaal kon niet duidelijk worden aangetoond dat het pH-effect in de gevallen met recente bekalking kleiner was, hoewel een aanwijzing in die richting werd gevonden.

Van de gewassen waarover voldoende gegevens werden verkregen, is de biet het gevoeligst voor een lage pH; de opbrengst neemt zeker toe tot pH 7,2 (tabel 6). Van de granen reageren tarwe en gerst vrij sterk, haver minder. Aardappelen zijn niet gevoelig voor een lage pH maar geven van pH 5,6 naar hogere pH een afneming van de opbrengst. Ten aanzien van erwten bestaat er groot verschil tussen het oude en het nieuwe materiaal; gemiddeld reageert de erwt in het praktisch belangrijke traject vrij weinig.

De gemiddelde reacties van de gewassen berekend uit het samengevoegde materiaal lopen dus nogal uiteen. Het lijkt daarom wenselijk in een bekalkingsadvies voor kleigrond rekening te houden met het bouwplan.

Uit de gemiddelde pH-effecten en de gevonden relaties met de gehalten aan afslibbare delen en organische stof werden voor een aantal combinaties van de laatste twee factoren drie punten van de pH-opbrengstkromme berekend. Aan-

genomen werd, dat de relatie tussen opbrengst en pH binnen het beschouwde traject kan worden beschreven met een tweedegraadsfunctie door de drie punten. Deze functie werd gebruikt voor het schatten van de maximale opbrengst. De relatieve opbrengst uitgedrukt in procenten van dit maximum wordt gegeven in tabel 10.

Bij toenemend gehalte aan afslibbare delen is een hogere pH nodig, bij toenemend gehalte aan organische stof kan met een lagere worden volstaan. Een beschouwing van de pH-waarden beneden of boven welke de opbrengstderving groter dan 1 % is toont op overzichtelijke wijze aan welke pH ongeveer optimaal is voor de opbrengst bij verschillende combinaties van afslibbare delen en organische stof (tabel 11).

Volgens deze gegevens is het met het oog op de opbrengst wenselijk kleigronden met minder dan 5 % organische stof gemiddeld tot een iets hogere pH te bekalken dan thans wordt geadviseerd (ADVIESBASIS, 1962). Zware gronden zouden tot een belangrijk hogere pH moeten worden bekalkt. Bij hoge gehalten aan organische stof, vooral wanneer deze samengaan met lage gehalten aan afslibbare delen, zou een belangrijk lagere pH gewenst zijn dan in het huidige schema wordt geadviseerd. De vermelde resultaten moeten vooral voor extreme combinaties als een enigszins globale aanduiding van de invloed van de gehalten aan afslibbare delen en organische stof op de optimale pH worden opgevat, aangezien de eraan ten grondslag liggende regressiemodellen een grote restspreiding vertonen.

Summary

This report deals with the relation between yield and pH on marine clay soils in the Netherlands. The results of 166 field-years from 38 trial fields in the period 1947-1963 are described. The results are compared with those of CASTENMILLER who studied experimental results before 1947. As agreement was close between the average relations of yield and pH, the joint data were further analysed.

The average relations between yield and pH of the soil are given in table 6. Beet is rather sensitive to acid soil. Cereals are moderately sensitive; wheat and barley are more sensitive than oats. Potatoes yield most tubers at rather low pH; yield is depressed by pH above 5.6. For peas the new data and those of CASTENMILLER did not agree. Since we cannot explain the difference, the average values of the joint data are given.

Important differences between fields in effect of pH on yield may be explained by factors varying between the fields. Standard values for measurement of the effects of pH on yields were the difference in yield between pH 5.8 and 5.0, resp. pH 6.6 and 5.8.

Regression analysis relating the effects of pH and (amongst others) clay (particles smaller than 16μ) and organic matter in soil showed the following results. For the cereals (wheat, barley and oats) a significant relation was found between clay content and the effect of pH on yield (probability P of rejecting the null hypothesis when it is true < 0.001). The effect of pH on yield increased as clay in the soil increased (fig. 8). A further significant relation was found with the differences in organic matter ($P < 0.01$). The fields with more organic matter showed less effect of pH on yield (fig. 10).

A similar analysis carried out on the data of potatoes and beets, showed like results, though with less significance statistically.

There was no statistically significant interaction between the variables clay and organic matter content in their influence on the effect of pH on yield.

The general interpretation of the results is that clay in the soil increases the sensitivity of crops to differences in soil pH while organic matter diminishes the sensitivity to low pH.

After elimination of the influence of clay and organic matter, cereals showed a decrease of the positive effect of pH with increasing yield, potatoes an increasing negative effect of pH.

The influences of clay and organic matter in the soil are used to calculate three points of the relation between yield and pH for different clay and organic-matter contents. A quadratic function through these three points is used to calculate the

maximum and the values of this function at different pH levels in percentages of the maximum. The results are given in table 10.

For heavy marine clay soils with an organic matter content of about 2 % a pH of about 7.0 or more is required for the highest yield of cereals. For light soils equal in organic matter a pH of about 6.6 is sufficient. With increasing organic matter the light soils show a sharp decrease of the optimum pH values. This decrease is much less for the heavy soils.

The results are re-expressed in table 11, which gives pH values at which the yield depression is one percent. This table shows that the combinations of clay and organic matter contents in the top right of the table require a high pH of the soil and that requirements change to lower pH values towards the bottom left.

The results, however, give only a rough idea of the way the optimum pH of marine clay soils depends on the clay and organic matter content, especially at their extreme values, as there is a marked scattering in the basic regression relations.

Literatuur

- Adviesbasis voor de bemesting van landbouwgronden 1962 Ministerie van Landbouw en Visserij, Den Haag.
- Boskma, K. en P. Boekel 1961 Het bekalkingsproefveld Pr 582. Verslag 1956 t/m 1960 van de Vereniging tot Exploitatie van Proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van Groningen.
- Bruin, P. 1936 Samenvatting van enige resultaten van kalkproefvelden op bouwland. Versl. Landbk. Onderz. 42 (18) A.
- Castenmiller, G. M. 1948 De betekenis van de kalktoestand van het Nederlandse bouwland voor de toekomstige produktiemogelijkheden van de akkerbouw. Landbk. Tijdschr. 60, p. 92-105.
- Ferrari, Th. J. en C. M. J. Sluijsmans 1955 Mottling and magnesium deficiency in oats and their dependance on various factors. Plant and Soil 6, p. 262-292.
- Sluijsmans, C. M. J. 1956 De reactie van de aardappel op kalk-kaliverhoudingen in de grond. Versl. Landbk. Onderz. 62.13.
- Sluijsmans, C. M. J. en K. Boskma 1956 De bekalkingsproefvelden Pr 79 en 582. Verslag 1951 t/m 1955 van de Vereniging tot Exploitatie van Proefboerderijen in de klei- en zavelstreken van Groningen.
- Sluijsmans, C. M. J. en K. Boskma 1959 Kalktoestand van de grond en opbrengst van bieten op zand- en dalgrond. Versl. Landbk. Onderz. 65.18.
- Snedecor, G. W. 1959 Statistical Methods, 5th Ed. Ames, Iowa.
- Visser, W. C. 1938 Kalktoestand en oogstopbrengst. Versl. Landbk. Onderz. 44 (6) A.
- Visser, W. C. 1939 Idem 45 (14) A.
- Visser, W. C. 1943 Idem 49 (1) A.

Appendix 1

Overzicht van het verzamelde materiaal (proeven na 1946)

List of the new data (experiments after 1946)

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|
| TARWE/wheat | | | | | |
| 1 | Pr 79 | 1954 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1954 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 3 | Pr 82 | 1949 | Bellingwolde | — | — |
| 4 | Pr 90 | 1948 | Scheemda | — | — |
| 5 | Pr 82 | 1947 | Bellingwolde | — | — |
| 6 | Pr 144 | 1947 | Stedum | — | — |
| 7 | Pr 841 | 1948 | Woltersum | 60 | 10,3 |
| 8 | Pr 841 | 1950 | Woltersum | 60 | 7,0 |
| 9 | Pr 842 | 1948 | Ten Boer | 64 | 8,0 |
| 10 | Pr 842 | 1950 | Ten Boer | 64 | 8,7 |
| 11 | Pr 842 | 1954 | Ten Boer | 64 | 9,2 |
| 12 | Pr 1044 | 1950 | Drieborg | 54 | 2,8 |
| 13 | Pr 978 | 1948 | Nieuw-Beerta | 54 | 5,4 |
| 14 | Pr 978 | 1950 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 15 | Pr 978 | 1952 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 16 | Pr 978 | 1955 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 17 | Pr 978 | 1957 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 18 | Pr 978 | 1959 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 19 | Pr 978 | 1961 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 20 | Pr 1006 | 1948 | Hoeksmeer | 68 | 6,3 |
| 21 | Pr 1006 | 1950 | Hoeksmeer | 68 | 6,3 |
| 22 | Pr 1008 | 1952 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 23 | Pr 1008 | 1956 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 24 | Pr 1078 | 1950 | Zuurdijk | — | 2,2 |
| 25 | NGr 1168 | 1954 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 26 | NGr 1211 | 1949 | Grijssloot | 16 | 1,3 |
| 27 | NGr 1211 | 1951 | Grijssloot | 14 | 2,2 |
| 28 | NGr 1304 | 1955 | Hornhuizen | 15 | 1,9 |
| 29 | NGr 1346 | 1960 | Hornhuizen | 15 | 2,0 |
| 30 | NGr 1771 | 1955 | Warfhuizen | 32 | 2,1 |
| 31 | NGr 2089 | 1956 | Saaxumhuizen | 17 | 2,3 |
| 32 | NF 701 | 1951 | Sexbierum | 21 | 1,7 |
| 33 | NH 947 | 1950 | Beemster | 58 | 8,0 |
| 34 | NNH 946 | 1954 | Wieringerwaard | 26 | 7,4 |
| 35 | Z ¹⁵ / ₄ 1073 | 1951 | Baarland | — | — |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|-----|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| 36 | Z 1816 | 1956 | Kloetinge | 19 | 3,1 |
| 37 | WB 1521 | 1951 | Etten | 49 | 9,9 |

GERST/barley

| | | | | | |
|----|------------|------|--------------|----|------|
| 1 | Pr 79 | 1947 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1947 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 3 | Pr 90 | 1950 | Scheemda | — | — |
| 4 | Pr 978 | 1958 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 5 | Pr 1006 | 1951 | Hoeksmeer | 68 | 6,3 |
| 6 | Pr 1008 | 1953 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 7 | NGr 1346 | 1953 | Hornhuizen | 15 | 2,0 |
| 8 | NGr 2089 | 1959 | Saaxumhuizen | 17 | 2,3 |
| 9 | NZH 408 | 1951 | Hazerswoude | 50 | 12,0 |
| 10 | Z 7/2 1072 | 1952 | Kerkwerve | 19 | 2,4 |
| 11 | ZVI 181 | 1951 | Hoek | — | — |
| 12 | WB 1521 | 1952 | Etten | 47 | 9,7 |

HAYER/oats

| | | | | | |
|----|----------|------|---------------|----|------|
| 1 | Pr 79 | 1949 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 79 | 1955 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 3 | Pr 80 | 1949 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 4 | Pr 842 | 1952 | Ten Boer | 64 | 12,4 |
| 5 | Pr 908 | 1948 | Kloosterburen | — | — |
| 6 | Pr 908 | 1950 | Kloosterburen | — | — |
| 7 | Pr 1008 | 1948 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 8 | Pr 1044 | 1949 | Drieborg | 54 | 2,8 |
| 9 | Pr 1078 | 1951 | Zuurdijk | — | 2,2 |
| 10 | Pr 1079 | 1950 | Ulrum | 22 | 1,4 |
| 11 | Pr 1206 | 1950 | Zuurdijk | 32 | 2,0 |
| 12 | NGr 5 | 1950 | Nieuw-Beerta | 64 | 4,3 |
| 13 | NGr 1168 | 1952 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 14 | NGr 1168 | 1955 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 15 | NGr 1211 | 1952 | Grijssloot | 15 | 2,1 |
| 16 | NGr 1304 | 1954 | Hornhuizen | 15 | 1,9 |
| 17 | NGr 1346 | 1956 | Hornhuizen | 15 | 1,9 |
| 18 | WF 582 | 1951 | Blija | 17 | 1,7 |

BIETEN/beets

| | | | | | |
|---|---------|------|---------------|----|-----|
| 1 | Pr 79 | 1950 | Nieuw-Beerta | 69 | 5,0 |
| 2 | Pr 80 | 1950 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 3 | Pr 90 | 1947 | Scheemda | — | — |
| 4 | Pr 842 | 1951 | Ten Boer | 65 | 8,8 |
| 5 | Pr 908 | 1951 | Kloosterburen | — | — |
| 6 | Pr 978 | 1951 | Nieuw-Beerta | 57 | 5,2 |
| 7 | Pr 1008 | 1951 | Oldehove | 38 | 2,6 |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|-----|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| 8 | Pr 1078 | 1949 | Zuurdijk | — | 2,2 |
| 9 | Pr 1079 | 1949 | Ulrum | 22 | 1,4 |
| 10 | NGr 1168 | 1949 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 11 | NGr 1346 | 1959 | Hornhuizen | 16 | 2,1 |
| 12 | NF 701 | 1949 | Sexbierum | 21 | 1,7 |
| 13 | NF 701 | 1952 | Sexbierum | 21 | 1,7 |
| 14 | NF 747 | 1953 | Wier | — | 1,6 |
| 15 | NF 833 | 1952 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 16 | NF 833 | 1957 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 17 | NF 833 | 1958 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 18 | WF 582 | 1948 | Blija | 17 | 2,0 |
| 19 | WF 582 | 1950 | Blija | 17 | 1,7 |
| 20 | WF 582 | 1953 | Blija | 17 | 1,7 |
| 21 | NNH 946 | 1951 | Wieringerwaard | 26 | 7,4 |
| 22 | NNH 946 | 1953 | Wieringerwaard | 26 | 7,4 |
| 23 | NNH 946 | 1955 | Wieringerwaard | 26 | 7,4 |
| 24 | NZH 408 | 1950 | Hazerswoude | 50 | 12,0 |
| 25 | NZH 408 | 1953 | Hazerswoude | 50 | 12,0 |
| 26 | NZH 408 | 1954 | Hazerswoude | 50 | 13,1 |
| 27 | Z 7/2 1072 | 1950 | Kerkwerve | 19 | 2,4 |
| 28 | Z 15/4 1073 | 1952 | Baarland | — | — |
| 29 | Z 1815 | 1956 | Scherpenisse | 25 | 2,2 |
| 30 | Z 1816 | 1958 | Kloetinge | 19 | 3,1 |
| 31 | ZVI 181 | 1953 | Hoek | — | — |
| 32 | WB 1521 | 1950 | Etten | 46 | 10,2 |

AARDAPPELEN/potatoes

| | | | | | |
|----|----------|------|---------------|----|-----|
| 1 | Pr 908 | 1952 | Kloosterburen | — | — |
| 2 | Pr 908 | 1952 | Kloosterburen | — | — |
| 3 | Pr 1008 | 1950 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 4 | NGr 1168 | 1953 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 5 | NGr 1211 | 1950 | Grijssloot | 17 | 2,2 |
| 6 | NGr 1304 | 1953 | Hornhuizen | 16 | 1,9 |
| 7 | NGr 1346 | 1954 | Hornhuizen | 15 | 2,0 |
| 8 | NGr 1346 | 1961 | Hornhuizen | 15 | 2,0 |
| 9 | NF 833 | 1953 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 10 | NF 833 | 1956 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 11 | NF 833 | 1959 | Beetgum | 17 | 1,8 |
| 12 | WF 580 | 1948 | Minnertsga | 26 | 2,2 |
| 13 | WF 581 | 1948 | Beetgum | — | 3,3 |
| 14 | WF 581 | 1950 | Beetgum | — | 3,3 |
| 15 | WF 582 | 1949 | Blija | 17 | 1,7 |
| 16 | WF 582 | 1952 | Blija | 17 | 1,4 |
| 17 | NH 947 | 1949 | Beemster | 56 | 8,5 |
| 18 | NH 947 | 1951 | Beemster | 56 | 8,5 |
| 19 | NH 947 | 1954 | Beemster | 56 | 8,5 |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|-----|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| 20 | NZH 408 | 1949 | Hazerswoude | 50 | 11,0 |
| 21 | NZH 408 | 1952 | Hazerswoude | 50 | 11,0 |
| 22 | NZH 408 | 1955 | Hazerswoude | 50 | 13,0 |
| 23 | Z 7/2 1072 | 1951 | Kerkwerve | 19 | 2,4 |
| 24 | Z 1816 | 1957 | Kloetinge | 19 | 3,1 |
| 25 | Z 1816 | 1960 | Kloetinge | 19 | 3,1 |
| 26 | ZVI 134 | 1949 | Axel | 39 | 2,4 |
| 27 | WB 1521 | 1949 | Etten | 46 | 9,6 |

ERWTEN/peas

| | | | | | |
|----|----------|------|--------------|----|-----|
| 1 | Pr 79 | 1956 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 841 | 1949 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 3 | Pr 841 | 1949 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 4 | Pr 842 | 1949 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 5 | Pr 842 | 1949 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 6 | Pr 978 | 1956 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |
| 7 | Pr 1006 | 1953 | Hoeksmeer | 68 | 6,3 |
| 8 | Pr 1008 | 1954 | Oldehove | 38 | 2,6 |
| 9 | Pr 1079 | 1951 | Uirum | 22 | 1,4 |
| 10 | NGr 1304 | 1956 | Hornhuizen | 15 | 1,9 |
| 11 | NGr 1346 | 1955 | Hornhuizen | 15 | 2,0 |
| 12 | NH 947 | 1953 | Beemster | 56 | 8,5 |
| 13 | Z 1816 | 1955 | Kloetinge | 19 | 3,1 |

BONEN/beans

| | | | | | |
|---|---------|------|--------------|----|-----|
| 1 | Pr 79 | 1953 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1953 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 3 | Pr 82 | 1948 | Bellingwolde | — | — |
| 4 | Pr 90 | 1949 | Scheemda | — | — |
| 5 | Pr 841 | 1947 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 6 | Pr 842 | 1947 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 7 | Pr 1006 | 1952 | Hoeksmeer | 68 | 6,3 |
| 8 | NF 701 | 1950 | Sexbierum | 21 | 1,7 |

KLAVER/clover

| | | | | | |
|---|--------|------|--------------|----|-----|
| 1 | Pr 841 | 1947 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 2 | Pr 841 | 1948 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 3 | Pr 842 | 1947 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 4 | Pr 842 | 1948 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 5 | Pr 978 | 1949 | Nieuw-Beerta | 56 | 5,2 |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| LUZERNE/alfalfa | | | | | |
| 1 | Pr 841 | 1947 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 2 | Pr 841 | 1948 | Woltersum | 60 | 8,6 |
| 3 | Pr 842 | 1947 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| 4 | Pr 842 | 1948 | Ten Boer | 64 | 9,4 |
| KANARIEZAAD/canary-grass | | | | | |
| 1 | Pr 79 | 1952 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1952 | Nieuw-Beerta | — | — |
| 3 | Pr 1044 | 1951 | Drieborg | 54 | 2,8 |
| VLAS/flax | | | | | |
| 1 | NGr 1168 | 1951 | Uithuizen | 11 | 1,7 |
| 2 | ZV1 181 | 1952 | Hoek | — | — |
| WINTERROGGE/rye | | | | | |
| 1 | Pr 79 | 1948 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1948 | Nieuw-Beerta | — | — |
| GELE MOSTERD/yellow mustard | | | | | |
| 1 | Pr 79 | 1951 | Nieuw-Beerta | 69 | 4,7 |
| 2 | Pr 80 | 1951 | Nieuw-Beerta | — | — |
| MAIS/maize | | | | | |
| 1 | Pr 908 | 1953 | Kloosterburen | — | — |

Appendix 2

Overzicht van het door Castenmiller gebruikte materiaal

List of the data used by Castenmiller

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|
| WINTERTARWE/winterwheat | | | | | |
| 1 | Z 135 | 1935 | Brouwershaven | 26 | 3,8 |
| 2 | OB 13 | 1933 | Ravenstein | 20 | 1,2 |
| 3 | Pr 582 | 1940 | Nieuw-Beerta | 71 | 3,3 |
| 4 | Pr 90 | 1940 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 5 | Pr 151 | 1936 | Overschild | 69 | 9,1 |
| 6 | Pr 79 | 1934 | Nieuw-Beerta | 70 | 3,6 |
| 7 | Pr 144 | 1939 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 8 | ZHE 620 | 1940 | Spijkenisse | 63 | 2,8 |
| 9 | Pr 90 | 1942 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 10 | Pr 144 | 1935 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 11 | Z 48 | 1935 | Scherpenisse | — | — |
| 12 | Z 129 | 1935 | Kloetinge | 19 | 1,3 |
| 13 | NH 30 | 1931 | Wieringen | 55 | 4,4 |
| ZOMERTARWE/spring wheat | | | | | |
| 1 | Pr 144 | 1942 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 2 | WO 101 | 1934 | Olst | 33 | 2,6 |
| 3 | Pr 90 | 1932 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 4 | Pr 90 | 1935 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 5 | Pr 79 | 1931 | Nieuw-Beerta | 70 | 3,6 |
| ZOMERGERST/spring barley | | | | | |
| 1 | Pr 90 | 1937 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 2 | Pr 144 | 1937 | Stedum | 52 | 2,9 |
| 3 | Pr 144 | 1943 | Stedum | 52 | 2,7 |
| 4 | Pr 582 | 1942 | Nieuw-Beerta | 71 | 3,3 |
| 5 | Pr 605 | 1942 | Usquert | 25 | 1,9 |
| 6 | WO 101 | 1937 | Olst | 34 | 2,9 |
| 7 | Z 129 | 1937 | Kloetinge | 19 | 1,3 |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| HAVER/oats | | | | | |
| 1 | Pr 79 | 1938 | Nieuw-Beerta | 70 | 3,5 |
| 2 | Pr 79 | 1943 | Nieuw-Beerta | 70 | 4,7 |
| 3 | Pr 90 | 1936 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 4 | Pr 144 | 1940 | Stedum | 52 | 2,7 |
| 5 | Pr 151 | 1934 | Overschild | 69 | 9,5 |
| 6 | Pr 151 | 1938 | Overschild | 69 | 9,7 |
| 7 | ZHE 16 | 1935 | Kijfhoek | 61 | 2,1 |
| 8 | Z 49 | 1935 | Souburg | 20 | 2,9 |
| AARDAPPELEN/potatoes | | | | | |
| 1 | OB 13 | 1930 | Ravenstein | 20 | 1,4 |
| 2 | Z 48 | 1936 | Scherpenisse | — | — |
| 3 | ZGe (Nederasselt) | 1930 | Nederasselt | 17 | 1,3 |
| 4 | OB 15 | 1930 | Lithoyen | 28 | 1,7 |
| 5 | ZGe 100 | 1943 | Hedel | 50 | 4,8 |
| 6 | ZHE 620 | 1941 | Spijkenisse | 63 | 2,8 |
| 7 | Z 129 | 1936 | Kloetinge | 19 | 1,2 |
| 8 | Pr 151 | 1937 | Overschild | 69 | 9,7 |
| 9 | OB 16 | 1930 | Lith | 17 | 1,4 |
| BIETEN/beets | | | | | |
| 1 | Pr 151 | 1935 | Overschild | 69 | 9,5 |
| 2 | WO 101 | 1933 | Olst | 34 | 2,8 |
| 3 | ZGe 49 | 1934 | Hien | — | — |
| 4 | OB 12 | 1933 | Maren | 31 | 2,4 |
| 5 | OB 13 | 1931 | Ravenstein | 20 | 1,3 |
| 6 | OB 15 | 1933 | Lithoyen | 28 | 1,7 |
| 7 | Z 49 | 1935 | Souburg | 20 | 2,9 |
| 8 | Pr 90 | 1931 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 9 | Pr 90 | 1934 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 10 | Pr 90 | 1939 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 11 | Pr 90 | 1943 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 12 | Pr 144 | 1934 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 13 | Pr 144 | 1938 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 14 | Z 48 | 1933 | Scherpenisse | — | — |
| 15 | Z 48 | 1937 | Scherpenisse | — | — |
| ERWTEN/peas | | | | | |
| 1 | Pr 90 | 1930 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 2 | Pr 79 | 1941 | Nieuw-Beerta | 70 | 4,7 |
| 3 | Pr 79 | 1935 | Nieuw-Beerta | 70 | 3,6 |

| No. | Proefveld <i>Experiment no.</i> | Proefjaar <i>Year</i> | Plaats <i>Site</i> | % Afslibbare delen <i>Particles < 16 μ</i> | % Organische stof <i>Organic matter</i> |
|-----|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|
| 4 | Pr 90 | 1933 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 5 | Pr 90 | 1941 | Scheemda | 51 | 2,9 |
| 6 | Pr 144 | 1930 | Stedum | 52 | 3,0 |
| 7 | Pr 582 | 1941 | Nieuw-Beerta | 71 | 3,3 |
| 8 | Z 48 | | Scherpenisse | — | — |
| 9 | OB 13 | 1932 | Ravenstein | 20 | 1,2 |
| 10 | OB 16 | 1932 | Lith | 17 | 1,4 |
| 11 | Z 129 | 1934 | Kloetinge | 19 | 1,3 |
| 12 | OB 15 | 1932 | Lithoyen | 28 | 1,7 |
| 13 | ZHE 16 | | Kijfhoek | 61 | 2,1 |