

NN31545.0820

BIBLIOTHEEK
STADINGEBDOUW

NOTA 820

september 1974

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

HET EFFECT VAN WINDBESCHUTTING OP
LANDBOUWGEWASSEN IN NEDERLAND
(literatuurstudie)

ing. J.B. Sprik

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0006 5116

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

24 MEI 1983

JSN 109295 -01

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. ALGEMEEN	2
3. WINDREMMENDE WERKING VAN WINDSCHERMEN	3
4. BEÏNVLOEDING VAN ANDERE KLIMATOLOGISCHE FACTOREN	
DOOR WINDSCHERMEN	17
5. DE INVLOED VAN WINDSCHERMEN OP LANDBOUWGEWASSEN	22
5.1. Algemeen	22
5.2. Onderzoek in Nederland	23
5.3. Onderzoek in West Duitsland	37
5.4. Nabeschouwing	52
6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	53
LITERATUUR	58

1. INLEIDING

Bij de uitvoering van landinrichtingsplannen wordt steeds meer aandacht besteed aan landschappelijke en natuurwetenschappelijke elementen. De Zorg voor het landschap en natuurgebieden behoort dan ook tot de wezenlijke onderdelen van een ruilverkaveling. (CULTUUR TECHNISCHE DIENST, 1972). Naast de te sparen elementen kunnen bij de landschapsbouw nieuwe voorzieningen in de vorm van bossen en andere houtopstanden in de landschapsplannen worden ingebouwd, waarmee landschappelijke verfraaiing van het gebied wordt beoogd.

Het aanbrengen van houtopstanden in agrarische gebieden doet niet alleen de oppervlakte aan landbouwgrond afnemen maar kan daarnaast een invloed doen gelden op de direct aangrenzende landbouwgewassen. Ook het handhaven van houtopstanden kan een belemmering vormen voor de ontwikkeling van een gezonde landbouw. Naast de direct aan te wijzen consequenties zoals wortelconcurrentie, beschaduwning enzovoort kan in bepaalde gebieden de voor een modern gemechaniseerde landbouwexploitatie benodigde vernieuwing van de kavelinrichting verhinderd worden.

Als positieve invloed van houtopstanden wordt de beschuttende werking tegen te grote windsnelheden genoemd. Naar deze beschuttende werking zijn in diverse landen onderzoeken verricht. Uitgebreide Literatuuroverzichten (o.a. VAN DER LINDE, 1958 en 1962; VAN EIMERN, 1961 en GUYOT, 1963) vermelden dat vooral in de uitgestrekte steppes in Rusland gunstige effecten zijn waargenomen. In Nederland wordt bij de fruitteelt veel gebruik gemaakt van windschermen. In landbouwgebieden komen plaatselijk wel houtwallen of heggen voor die als windscherm kunnen fungeren, alhoewel het effect daarvan op de landbouwgewassen niet duidelijk is.

Aan de hand van de beschikbare literatuur is getracht meer inzicht te krijgen in de invloed van windbeschutting door windschermen op de landbouwgewassen in Nederland.

2. ALGEMEEN

Windschermen kunnen van velerlei aard zijn. In Nederland bestaan windschermen meestal uit een enkele rij bomen (b.v. langs boomgaarden), heggen of houtwallen (o.a. DIJKSTERHUIS, 1956 en VAN RHEE, 1959). Kunstmatige windschermen in de vorm van schuttingen kan men bij sommige tuinderijen aantreffen. In het buitenland, vooral Rusland en de Verenigde Staten zijn de windschermen veelal meerdere rijen breed en bestaan uit bossen en struiken (o.a. VAN EIMERN, 1961 en STOECKELER, 1963). Op stuifgevoelige gronden ziet men smalle boscomplexen die dienen als windscherm tegen winderosie (VAN DER LINDE, 1969).

Windschermen kunnen worden beschouwd als hindernissen voor de wind en geven beschutting aan mens, dier, plant en gebouwen. In diverse artikelen worden verschillende voordelen van windschermen genoemd, welke als volgt kunnen worden samengevat: windschermen remmen de windsnelheid, beschutten het vee, verminderen de mechanische beschadigingen aan gewassen, verhogen de opbrengsten en verbeteren de kwaliteit van landbouwproducten, verminderen de verdamping, verhogen de lucht- en bodemtemperatuur, verminderen erosiegevaar, bieden schuilplaatsen aan nuttige organismen, leveren hout en verfraaien het landschap (o.a. VAN DER LINDE, 1958; N.N., 1968 en SHAH, 1962).

Als nadelen van windschermen worden wel genoemd: leggen beslag op landbouwgrond, onttrekken water en voedingsstoffen aan de grond, geven schaduw, vertragen in natte perioden het afdrogen van grond en gewassen, bevorderen legeren, verhogen incidenteel nachtvorstgevaar, concentreren vee in de luwte met als gevolg vetrapping en vervuiling, verstoren mechanisch oogsten onder andere door gevallen takken, bemoeilijken het vormen van rationele bedrijfskavels, bieden schuilplaatsen aan schadelijke organismen en vragen onderhoud (o.a. HELLINGS, 1967; HILLE RIS LAMBERS, 1948; JONKER, 1954; LEWIS, 1968; N.N. 1968 en SHAH, 1962).

Vele van de voor- en nadelen van windschermen zijn het gevolg van de windremmende werking. In gebieden met grote windsnelheden kunnen windschermen het microklimaat verbeteren, waardoor mens, dier en gewas beter kunnen gedijen. Komen grote windsnelheden niet of sporadisch voor dan zal het nuttige effect van windschermen beperkt zijn. Voor het beoordelen van het nut van windschermen voor de landbouwgewassen is enig inzicht in de windremmende werking en de microklimatologische veranderingen als gevolg van deze windschermen gewenst.

In het volgende hoofdstuk wordt eerst uitvoerig ingegaan op de windremmende werking van windschermen waarna in het kort de veranderingen van het microklimaat worden genoemd. Tenslotte worden in uitvoerige samenvattingen de gepubliceerde resultaten van opbrengstmetingen achter windschermen in Nederland en in West-Duitsland besproken.

3. WINDREMMENDE WERKING VAN WINDSCHERMEN

Windschermen fungeren als hindernissen voor de wind, waardoor aan de lijzijde van het scherm de windsnelheid kleiner zal zijn dan in het vrije veld. De windremmende werking is afhankelijk van de dichtheid van het scherm. De breedte waarover deze windremmende invloed merkbaar is, is afhankelijk van de hoogte en de dichtheid van het scherm. Diverse onderzoekers hebben windsnelheidsmetingen verricht voor en achter windschermen met verschillende dichtheidsklassen en hoogten. De breedte waarover de beschuttende werking van een windscherm merkbaar is wordt uitgedrukt in de hoogte (h) van het betreffende scherm. Fig. 1 illustreert de karakteristieke lucht-beweging voor en achter een dicht windscherm.

Door het dichte scherm wordt de aankomende luchtstroom in een opwaartse richting gedirigeerd, waardoor reeds voor het scherm de windsnelheid afneemt. Bij een dicht scherm kan hierbij een werveling ontstaan, die mogelijkerwijs evenveel of meer schade aan de daar groeiende planten kan toebrengen. Ook achter het windscherm ontstaat

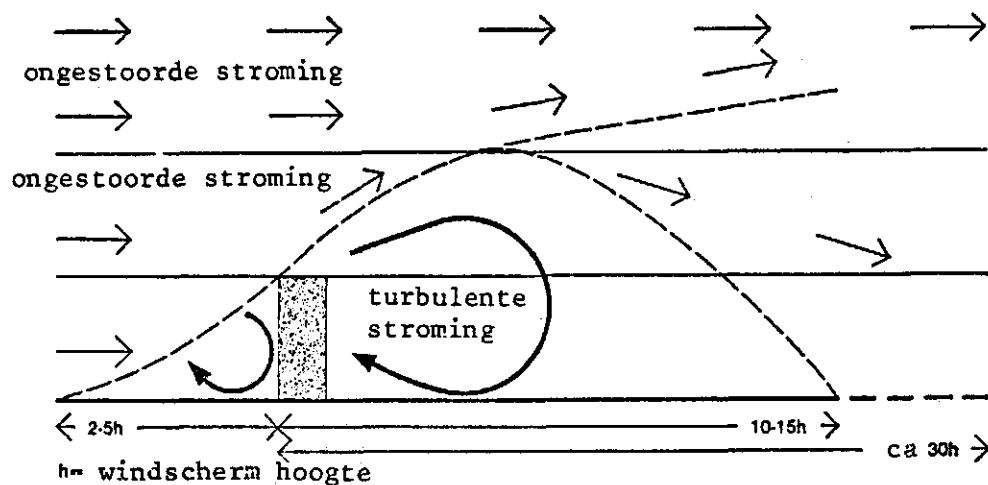


Fig. 1. Karakteristieke luchtbeweging voor en achter een dicht windscherm (naar GLOYNE, 1954)

een wervelende luchtbeweging die tot 10 à 15 h kan reiken. Tussen de 15 en 30 h herneemt de luchtbeweging geleidelijk weer zijn ongestoorde richting en snelheid.

Is het windscherm enigszins doorlatend dan zal een deel van de aankomende luchtstroom zich een weg zoeken door het scherm. De windremmende werking is kleiner, maar de wervelingen voor en achter het scherm zullen beperkt blijven. Fig. 2 geeft de luchtbeweging rond een winddoorlatend scherm schematisch weer.

Ook nu wordt de luchtstroom reeds bij 2 - 5 h voor het scherm gedeeltelijk omhoog geduwd, waardoor vlak voor het scherm de windsnelheid afneemt. Doordat een deel van de lucht door het scherm dringt daalt de omhooggestuwde luchtmassa achter het scherm minder snel, waardoor de beschutte zone groter wordt. De intensiteit van de beschutting en de breedte van de beschutte zone zijn daardoor mede afhankelijk van de dichtheid van het scherm. Dichte schermen hebben direct achter het scherm een groter windremmende werking als winddoorlatende schermen, maar de breedte van de beschuttende zone is kleiner (o.a. GLOYNE, 1954; NÄGELI, 1946, 1953a; SHAH, 1962 en SKIDMORE en HAGEN, 1970).

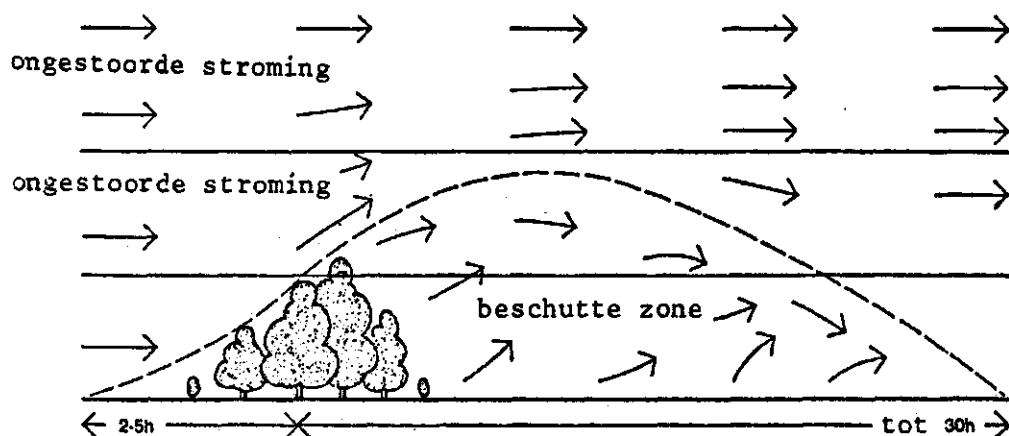


Fig. 2. Karakteristieke luchtbeweging voor en achter een middelmatig dicht scherm (naar N.N., 1968)

Volgens VAN DER LINDE (1958) heeft NÄGELI (1946) windsnelheidsmetingen verricht achter windschermen van diverse dichtheden. Fig. 3 vertoont enkele gemiddelde curven die verkregen zijn uit metingen op objecten in Zwitserland. De lijnen hebben betrekking op de luchtlaag van de grond tot $\frac{1}{4} h$ of op de beschutting van gewassen welke laag zijn vergeleken met het windscherm.

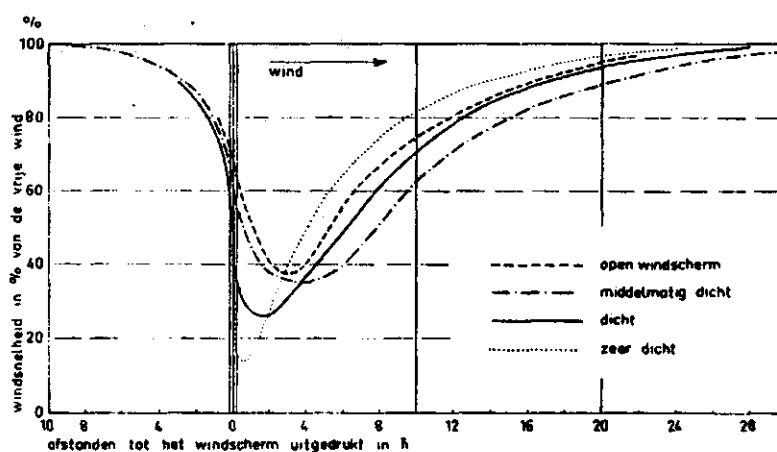
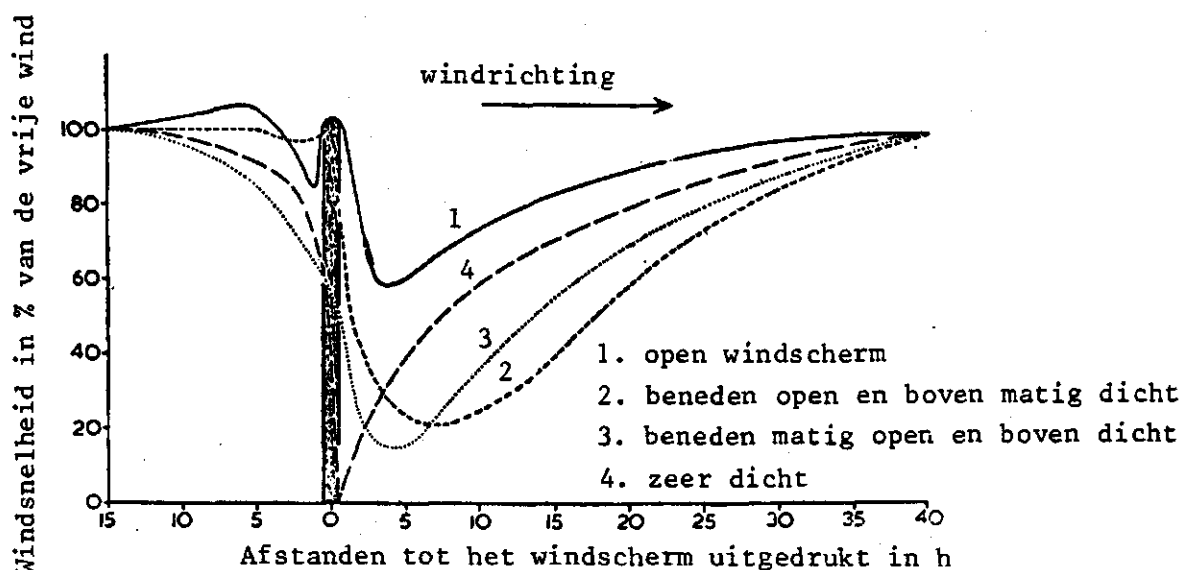


Fig. 3. De windremming door windschermen uit verschillende dichtheidsklassen (NÄGELI, 1946)

Hij vond het grootste windremmende effect bij zeer dichte schermen namelijk 80% direct achter het scherm. Reeds op een afstand van 10h was dit effect echter afgenomen tot nog maar 20%. Bij doorlatende schermen was weliswaar de windremmende werking minder groot maar de breedte van de beschutte zone liep op tot circa 15 h (middelmatig dicht scherm). Een aan russische gegevens ontleende grafische voorstelling geeft een overeenkomstig effect te zien (fig. 4).



. 4. De windremming door windschermen uit verschillende dichtheidsklassen naar gegevens van russische onderzoekers (uit GLOYNE, 1954)

Ook zij vonden de grootste windremmende werking direct achter een dicht scherm, maar reeds op een afstand van 5 h is de windremmende werking van een middelmatig dicht (circa 40% winddoorlatend) scherm groter.

SKIDMORE en HAGEN (1970) hebben de windremmende werking van 2,44 m hoge kunstmatige windschermen met een doorlatendheid van 60, 40 en 0% beproefd. De metingen werden verricht op een hoogte van 1,42 m boven de grond (0,6 h). De resultaten vertonen een gelijksoortig beeld als bij de twee voorgaande onderzoekers (fig. 5).

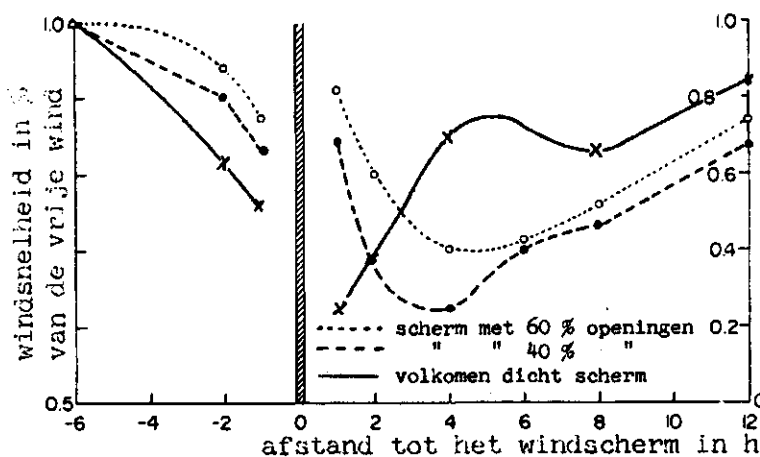
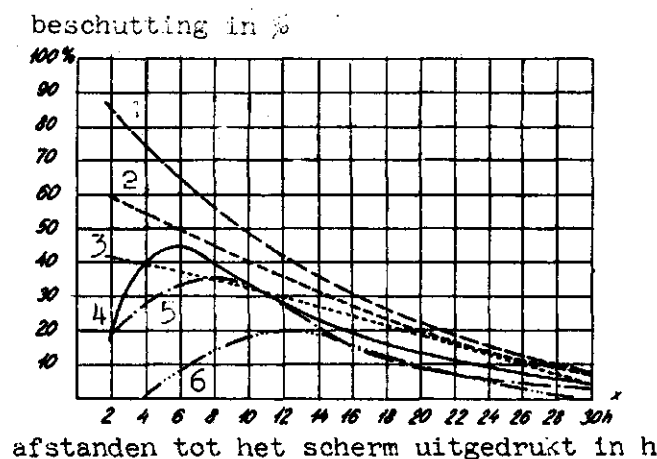


Fig. 5. De windremmende werking van kunstmatige windschermen met verschillende dichtheidsklassen (naar SKIDMORE en HAGEN, 1970)

In een windtunnel heeft SHAH (1962) kunstmatige windschermen met verschillende dichtheidsklassen beproefd op hun windbeschuttende werking. Hoewel de windtunnel opstellingen niet exact overeenkomen met de omstandigheden in het veld blijken de metingen toch dezelfde tendensen te vertonen. Dichte schermen geven direct achter het scherm de beste windbeschutting maar op een afstand van 15 h is de beschuttende werking van minder dichte schermen groter.

Uit de windtunnelproeven en de metingen in het veld blijkt dat de breedte van de beschutte zone mede door de dichtheid van de windschermen wordt bepaald. Omgekeerd kan men de dichtheid van de schermen aanpassen aan de breedte die beschut moet worden. In het algemeen worden windschermen met een doorlatendheid van 40-50% beschouwd als de schermen met de meest effectieve beschutting. Wel moet deze winddoorlatendheid verdeeld zijn over de gehele hoogte van het scherm. JENSEN (1954) heeft hiernaar onderzoek verricht in een windtunnel. Hiervoor gebruikte hij windschermen van 5 cm hoog, waarvan de bovenste delen een doorlatendheid hadden van respectievelijk 0; 36 en 65% en de onderste delen volledig open waren over respectievelijk 2,5; 2,1 en 2,4 cm. Deze schermen zijn te vergelijken met schermen bestaande uit een kronen etage en een stammen etage zoals bij bomenrijen. Het beschuttingseffect van deze

schermen heeft hij vergeleken met het beschuttingseffect van schermen die over de gehele hoogte een regelmatig verdeelde doorlatendheid hadden van respectievelijk 51; 65 en 72%. Zoals fig. 6 aangeeft is de windremmende werking van schermen met verschillende dichtheden aanzienlijk kleiner dan bij schermen met een regelmatige opbouw.



Curve nr.	Perc. geometrische openingen		
	onder	boven	gemiddeld
1			51%
2			65%
3			72%
4	2,5 cm - 100%	2,5 cm - 0%	50%
5	2,1 cm - 100%	2,9 cm - 36%	63%
6	2,4 cm - 100%	2,6 cm - 65%	82%

Fig. 6. Beschutting achter 5 cm hoge kunstmatige schermen van verschillende opbouw in een windtunnel. De meethoogte was 0,4 h (naar JENSEN, 1954)

Effectief werkende schermen moeten dan ook regelmatig van opbouw zijn. Hierbij kunnen struikbeplantingen zorgen voor het afdichten van het onderste gedeelte en de boomkronen zorgen voor het bovenste gedeelte van het scherm.

Windschermen moeten uit een geheel bestaan. Onderbrekingen in windschermen fungeren als tochtgaten waar de windsnelheid kan oplopen tot 120% van de vrije wind (o.a. NÄGELI, 1953a). Vooral bij dichte schermen kan de schadelijke werking van deze zogenaamde tochtgaten zich verbreden tot achter het scherm waardoor de beschuttende werking van de schermen afneemt (fig. 7).

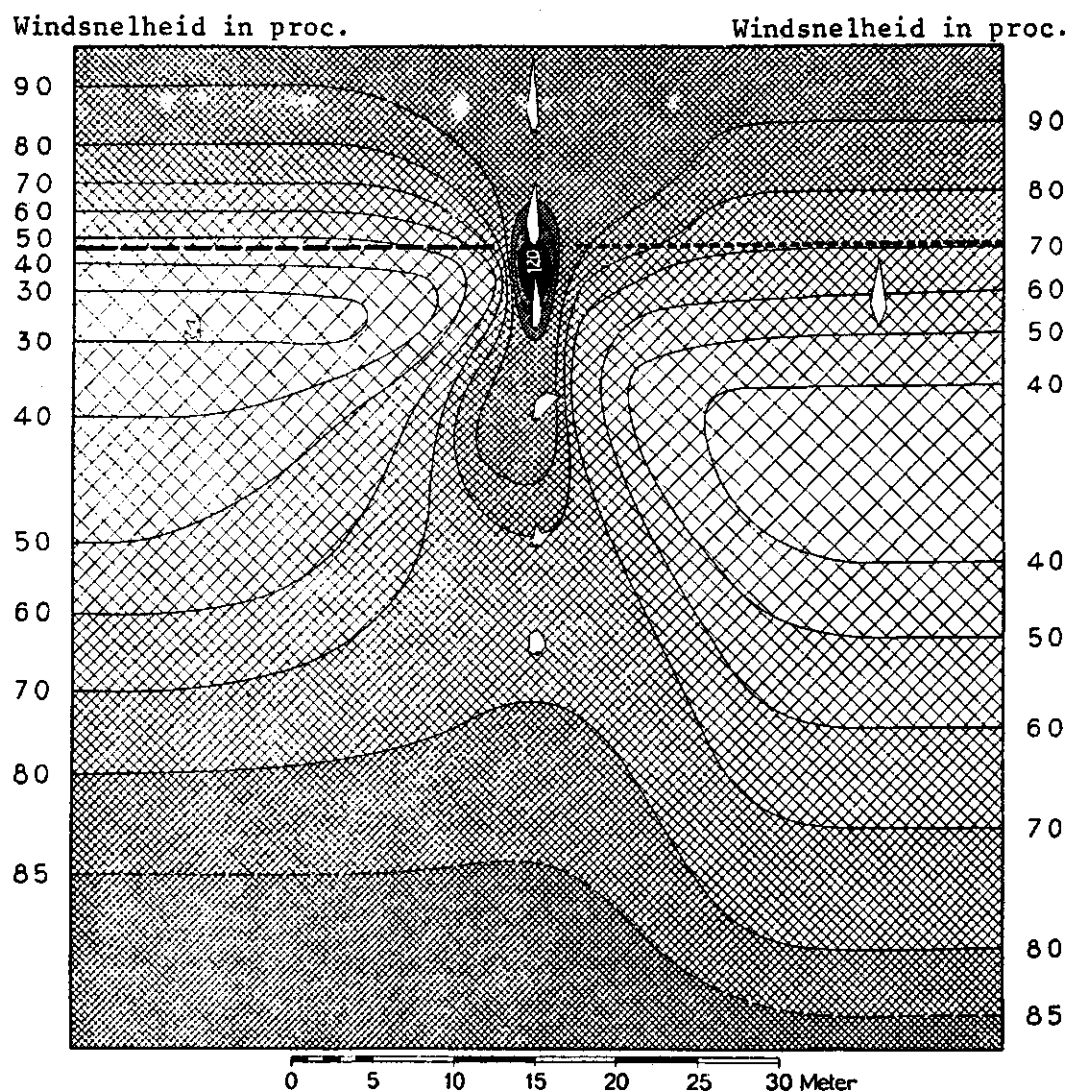


Fig. 7. Windsnelheden nabij een opening tussen een dicht windscherm (links) en een middelmatig dicht windscherm (rechts). De windschermen zijn opgebouwd uit riet. De windsnelheid is aangegeven in procenten van de vrije wind (NÄGELI, 1953a)

Aan het eind van een scherm kan men hetzelfde effect verwachten ^{met} als bij een onderbreking in een scherm. Volgens CABORN (1957) meette BATES (1944) bij het schermeinde ook windsnelheden tot 110 à 120% van de vrije wind. Naarmate de windschermen minder dicht zijn is de vermindering van de windremmende invloed achter het scherm nabij het schermeinde minder groot (NÄGELI, 1953a en JENSEN, 1954). Fig. 8 en 9 geven hiervan eveneens een indruk.

Afstand tot het scherm-einde in h

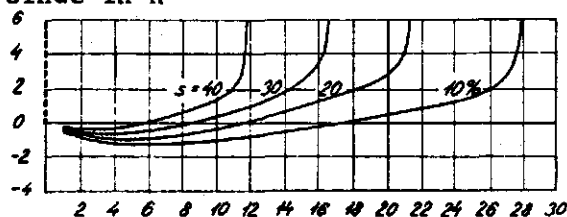


Fig. 8. Beschuttingseffect nabij het eind van een scherm met 65% openingen. Beschuttingseffect (s) is uitgedrukt in proc. van vrije wind (JENSEN, 1954)

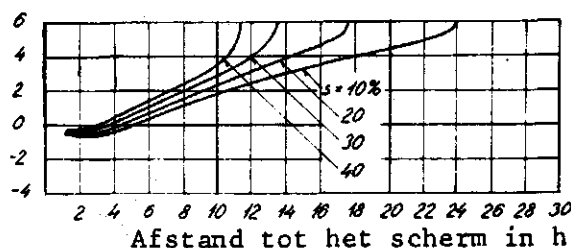


Fig. 9. Beschuttingseffect nabij het eind van een volkomen dicht scherm. Beschuttingseffect (s) is uitgedrukt in proc. van vrije wind (JENSEN, 1954)

Omtrent de invloed van de schermbreedte op de windremmende werking verschillen de diverse onderzoekers van mening. JENSEN (1954) heeft metingen in een windtunnel verricht, waaruit hij concludeert dat de beschuttende werking van boscomplexen minstens even groot is als van normale windschermen, waarbij hij tevens door NØKKENTVED en FLENSBORG (1938, 1940) verrichte meetresultaten achter boscomplexen aanhaalt die overeenkomstige tendensen aangeven. CABORN (1957) heeft eveneens in een windtunnel windsnelheidsmetingen achter windschermen met verschillende breedten gedaan. De resultaten van deze metingen geven aan dat bij bredere schermen de winddoorlatendheid minder groot is en deze schermen daardoor meer overeenkomst gaan vertonen met dichte schermen. Is de breedte zo groot dat de doorlatendheid kleiner

is als 20% - in het onderzochte geval bij een breedte/hoogte (w/h) verhouding van 5 - dan wordt de schermbreedte de beïnvloedende factor. Bredere schermen beschutten dan een smallere zone, waaruit geconcludeerd kan worden dat langs bosranden weinig beschuttingseffect verwacht mag worden (zie ook NÄGELI, 1965).

In fig. 10 vergelijkt CABORN zijn resultaten met de resultaten van NÄGELI (1953b). De laatste had namelijk metingen verricht achter een boscomplex met een w/h verhouding van 21,5 en had een overeenkomstig resultaat gevonden. BLENK en TRIENES (1956) komen - eveneens aan de hand van meetresultaten in een windtunnel - tot dezelfde conclusie.

De negatieve windsnelheden in fig. 10 tussen 0 en 15 h duiden op turbulente luchtbewegingen.

Uit bovenstaande blijkt dat de meningen omtrent de windbeschuttende werking van boscomplexen nogal verdeeld zijn. Dat boscomplexen fungeren als dichte schermen is wel acceptabel, waaruit dan geconcludeerd kan worden dat boscomplexen niet de ideale beschutting geven tegen wind.

Tot nu toe zijn de onderzoeken voornamelijk gericht geweest op beschutting tegen winden die loodrecht tot nagenoeg loodrecht op de windschermen stonden. KREUTZ en WALTER (1956) hebben in een windtunnel proefmetingen verricht waarbij de windschermen onder een hoek met de windrichting waren opgesteld. De luchtbewegingen werden waargenomen met behulp van windvaantjes, zaagmeel en zand en rookproeven. Fig. 11 geeft de luchtbewegingen rond de schermen weer onder 2 verschillende hoeken en 3 schermdichtheden.

Wanneer het scherm een hoek van 45° met de windrichting maakt waait de wind bij dichte schermen dicht achter het scherm langs. De windsnelheid is achter het scherm dan groter als de vrije wind. Zijn de schermen halfdoorlatend (metalen strippen of kokosvezel), dan is dit effect aanzienlijk minder, vooral als de doorlatendheid regelmatig over het scherm is verdeeld, zoals bij het kokosvezelscherm. Worden de dichte schermen enigszins vrij van de bodem ($1/7$ h) opgesteld, dan waait de wind gedeeltelijk onder het scherm door. Het nadelige effect van de verhoogde windsnelheden direct achter het

Windsnelheid in proc.
van de vrije wind

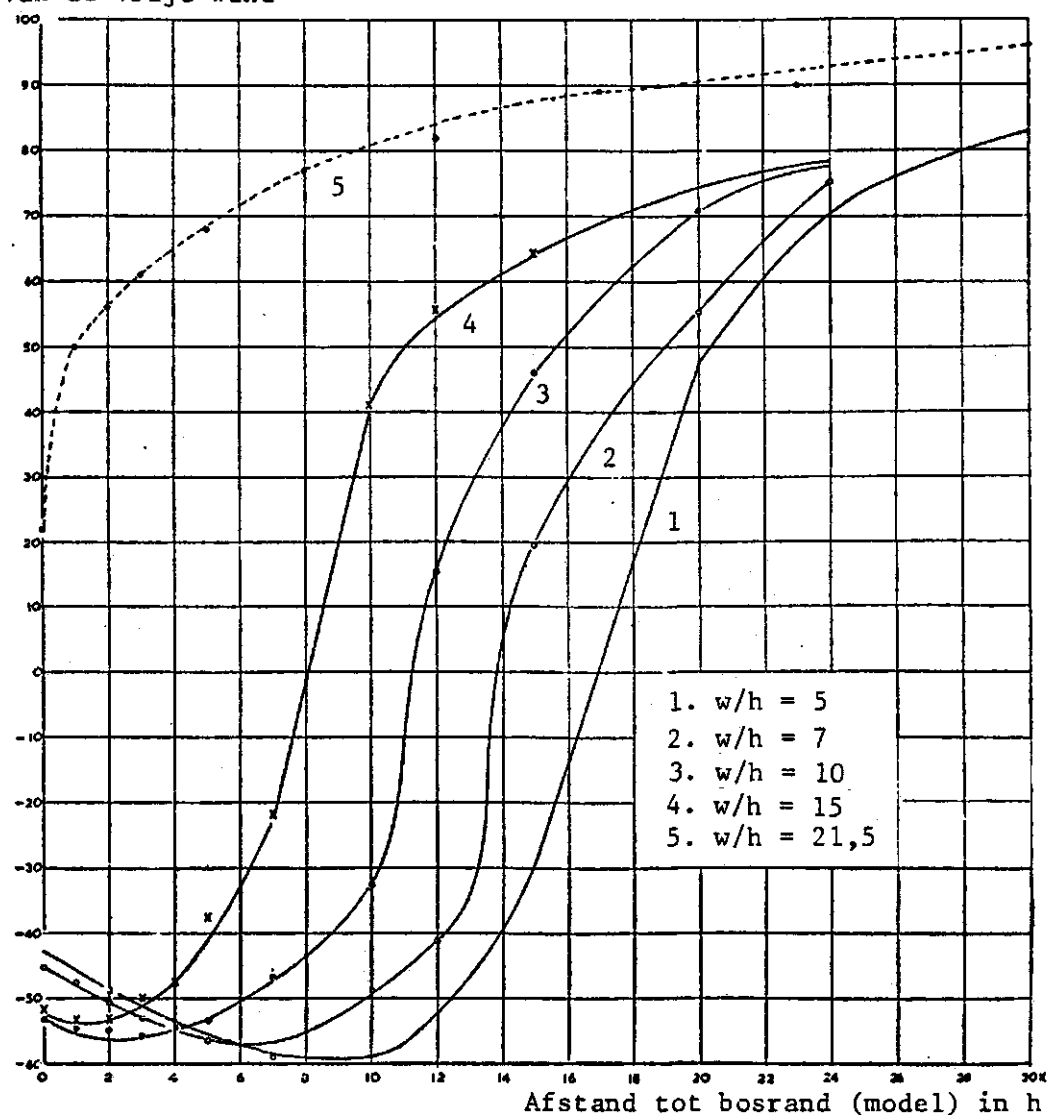


Fig. 10. De relatieve windsnelheden achter modellen die variëren in de breedte/hoopte verhouding (w/h) van 5 tot 15 en de door NÄGELI (1953b) gemeten relatieve windsnelheden achter een boscomplex met een breedte/hoopte verhouding van 21,5; meethoopte 0,2 h (uit CABORN, 1957)

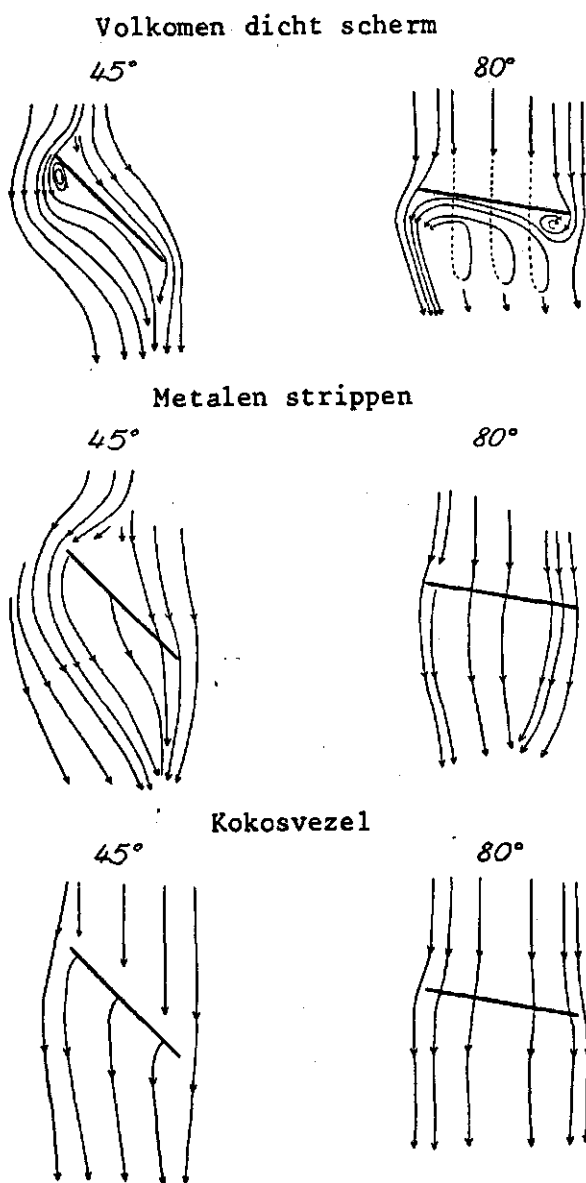


Fig. 11. Luchtstroming nabij kunstmatige wind-schermen welke een hoek van 45° en 80° met de windrichting maken (KREUTZ en WALTER, 1956)

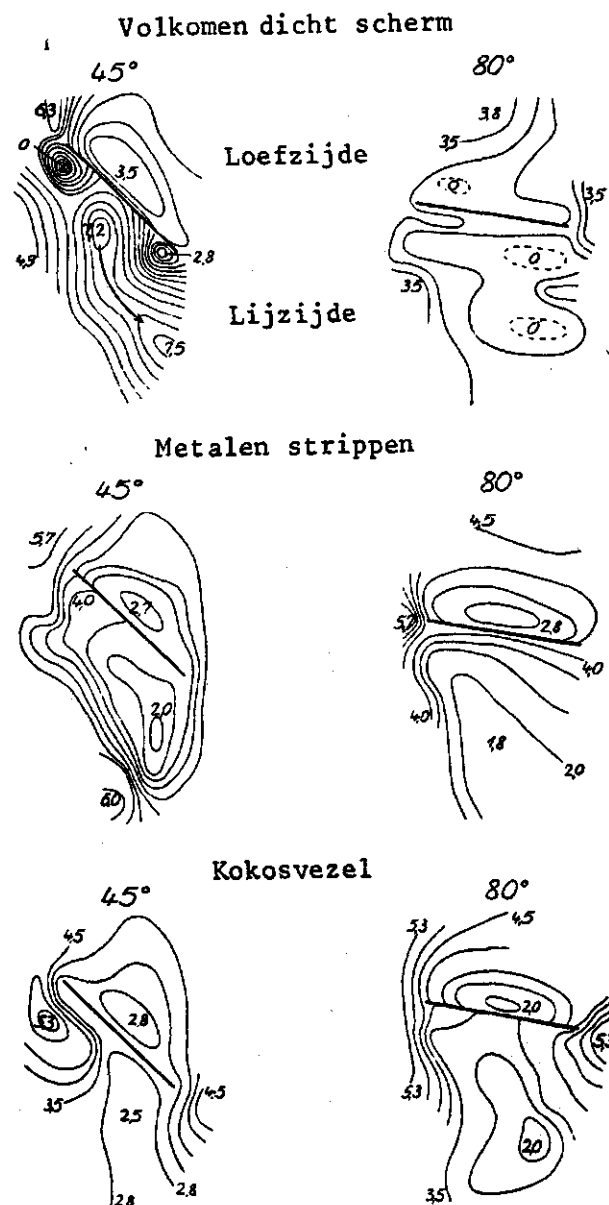
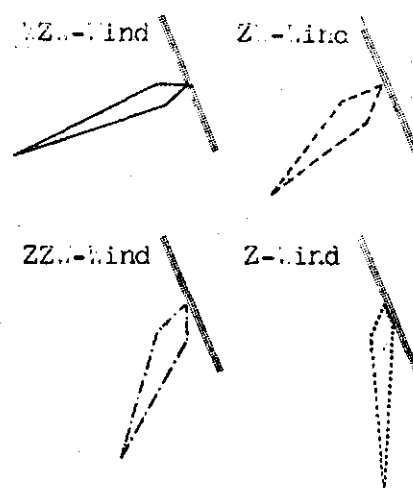
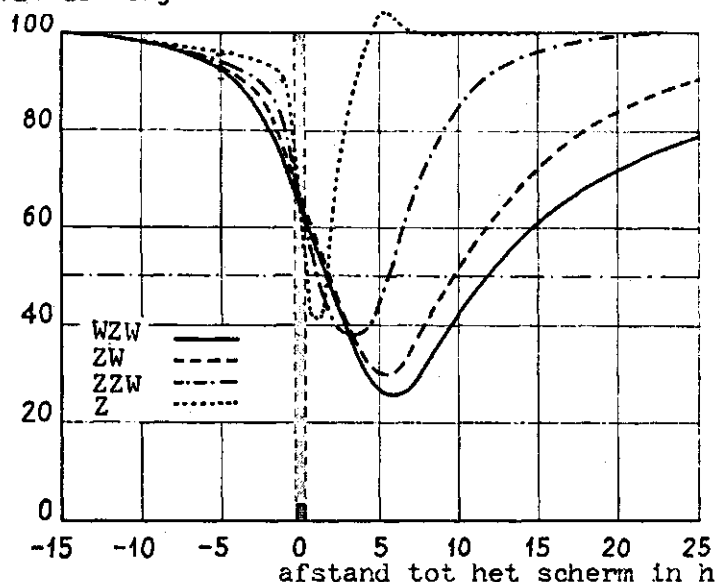


Fig. 12. Windsnelheden (m/sec) nabij kunstmatige wind-schermen welke een hoek van 45° en 80° met de windrichting maken (KREUTZ en WALTER, 1956)

scherm bij schuin op de windrichting opgestelde schermen is dan minder ernstig. Ook achter doorlatende schermen is de beschuttende

werking bij schuin op de windrichting staande windschermen kleiner dan wanneer de windrichting loodrecht op het scherm staat. BLENK en TRIENES (1956) hebben veldwaarnemingen achter kunstmatige schermen uitgevoerd. Zij vinden ook een lager beschuttingseffect wanneer de windrichting niet loodrecht op het scherm staat. NÄGELI (1965) heeft de bij kunstmatige schermen (rietmatten met 47% doorlatendheid) verrichte metingen opgesplitst naar vier windrichtingen en komt tot overeenkomstige resultaten (fig. 13).

Windsnelheid in proc.
van de vrije wind



Hoekafwijking t.o.v. loodrecht op het scherm: WZW - 0g

ZW - 25g

ZZW - 50g

Z - 75g

Fig. 13. Windsnelheid in procenten van de vrije wind achter een half-doorlatend scherm (47%) bij verschillende windrichtingen (NÄGELI, 1965)

Hij vond evenals de bovengenoemde onderzoekers een afnemend beschuttingseffect wanneer de windrichting meer van een loodrecht op het scherm staande windrichting afweek. Bij een afwijking van 75g werd op 5 h achter het scherm evenals bij KREUTZ en WALTER een verhoging van de windsnelheid geconstateerd.

Een enkel windscherm heeft een windbeschuttende werking ter breedte van 10 - 20 h, afhankelijk van de overheersende windrichting. Wil men een heel gebied beschermen tegen te harde winden dan zal men meerdere windschermen moeten plaatsen. Het effect van meerdere parallel lopende windschermen is door enkele onderzoekers onderzocht. JENSEN (1954), BLENK en TREENES (1956) en CABORN (1957) hebben in windtunnels metingen verricht achter 2 of 3 parallel opgestelde windschermen-modellen. Uit de metingen is een cumulatieve beschuttingseffect af te leiden indien de afstand tussen de schermen niet te groot is (10 - 20 h). Wordt de afstand tussen de schermen groter (rond 30 h) dan is er geen cumulatieve beschuttingseffect. Achter elkaar opgestelde windschermen veroorzaken turbulente stromingen boven de schermen waardoor de beschuttende werking per windscherm kleiner wordt. NÄGELI (1943) heeft een serie metingen voor, tussen en achter enkele levende windschermen verricht. De resultaten van een reeks van deze metingen heeft hij later vergeleken met metingen op $\frac{1}{2}$ h achter kunstmatige schermen van rietmatten met een doorlatendheid van 47% (fig. 14).

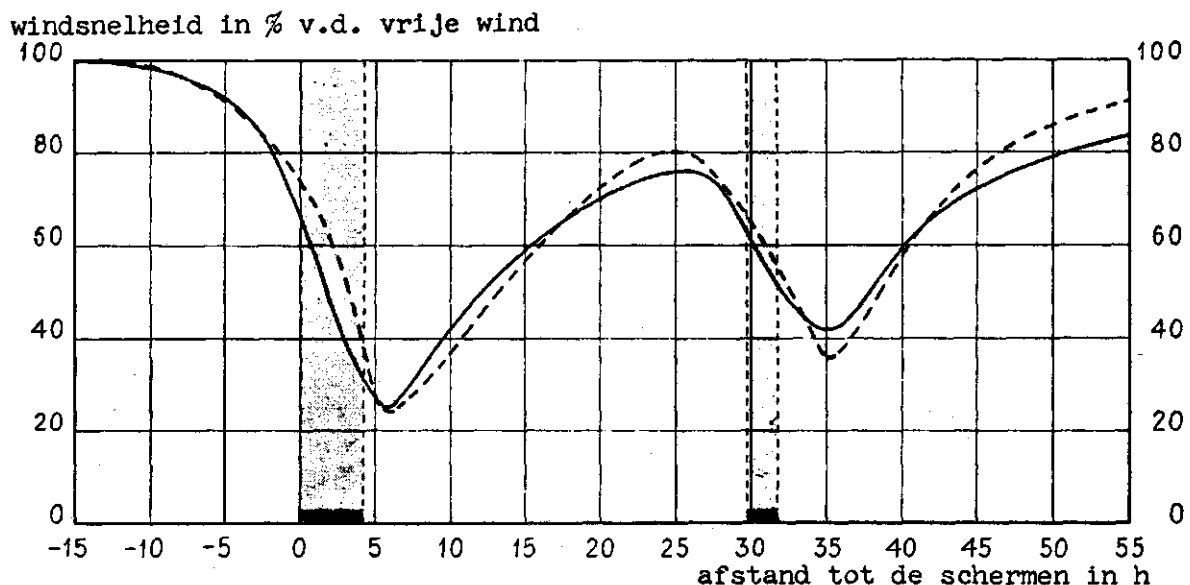


Fig. 14. Windsnelheden achter twee rietmatten op een onderlinge afstand van 30 h (—) en achter twee brede levende schermen (-----) bij een loodrecht op de schermen staande windrichting (NÄGELI, 1965)

Beide meetseries vertonen veel overeenkomst in beschuttings-effect. Worden meerdere schermen achter elkaar geplaatst dan valt ook geen cumulatieve invloed te constateren (fig. 15).

Windsnelheid in % van de
vrije wind

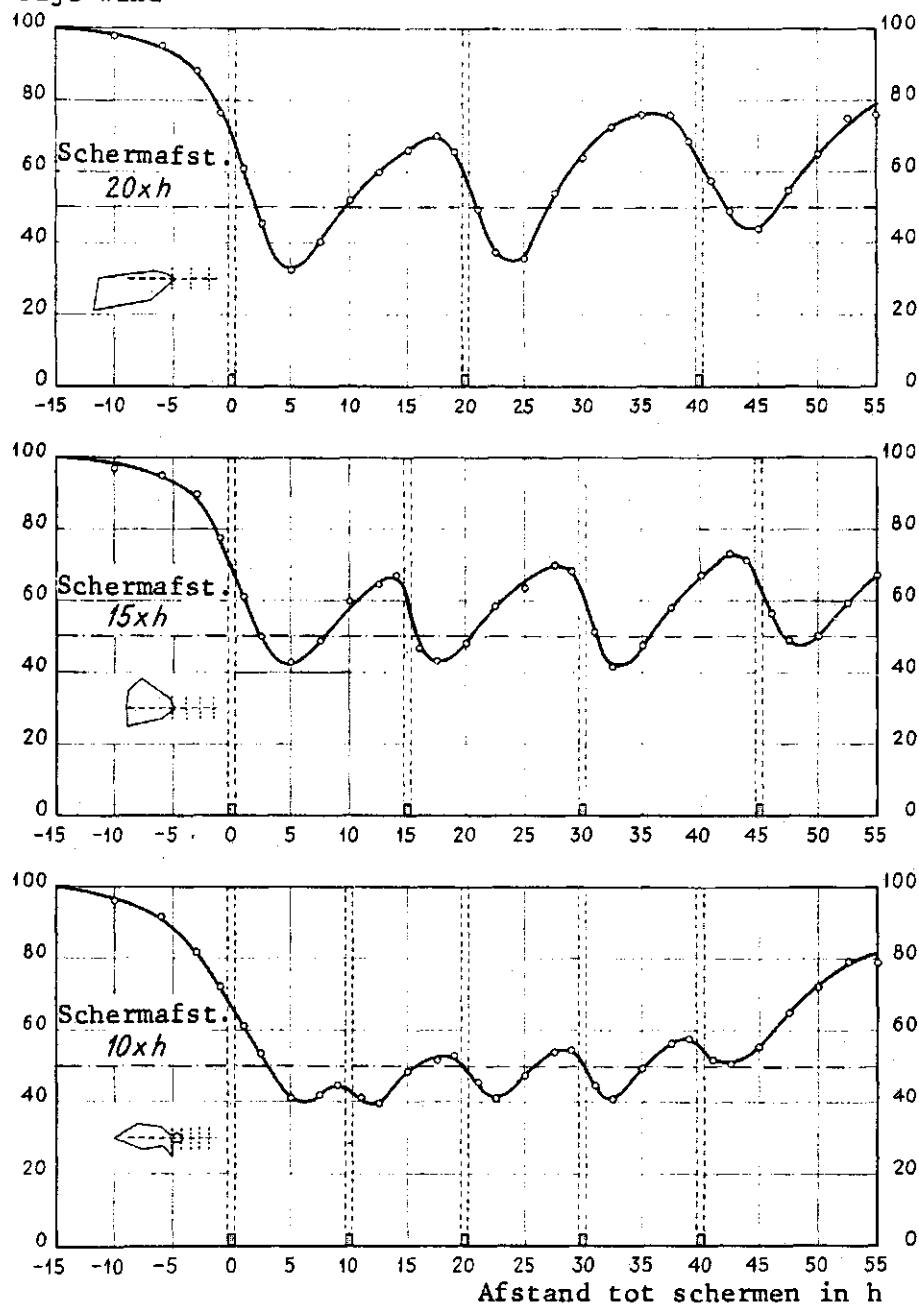


Fig. 15. Gemiddelde windsnelheden achter enkele parallel lopende kunstmatige windschermen (rietmatten) bij verschillende onderlinge afstanden en een nagenoeg overwegend loodrecht op de schermen staande windrichting (NÄGELI, 1965)

De maxima tussen de schermen vertonen zelfs een lichte stijging naarmate het aantal schermen groter wordt. Bij schuin op de schermen staande windrichting kunnen deze maxima bij een onderling scherm-afstand van 20 h zelfs de vrije windsnelheid overtreffen.

GEORGE (1971) heeft windsnelheidsmetingen verricht rond 7 respectievelijk 5 parallel achter elkaar staande windschermen van verschillende hoogte en samenstelling. Bij een Z.O. zomerwind, die loodrecht op de schermen stond, werd een kleine cumulatieve windbeschutting waargenomen, maar bij een N.W.wind leek het beschuttingseffect echter negatief cumulatief te zijn. Bij deze 7 parallel staande schermen waren waarschijnlijk de hoedanigheid en de opvolging van de verschillende schermen mede bepalend voor het gemeten beschuttingseffect. Bij de 5 parallel achter elkaar staande schermen werd geen cumulatief beschuttingseffect gemeten.

Naarmate de windrichting meer varieert is de invloed van parallel achter elkaar staande windschermen op de windremmende werking moeilijker te voorspellen. VAN EIMERN (1961) concludeert dat niet alleen de hoogte, de dichtheid en de afstand van de schermen bepalend is voor de windremmende werking maar ook de windsnelheid en de windrichting.

4. BEÏNVLOEDING VAN ANDERE KLIMATOLOGISCHE FACTOREN DOOR WINDSCHERMEN

Het klimaat in een gebied wordt mede bepaald door de windsnelheid. Wordt de vrije wind geremd dan is het zeer wel mogelijk dat ook andere klimatologische factoren worden beïnvloed. Zonnestraling verwarmt de bodem en de onderste luchtlagen. De luchtbeweging vermengt de verwarmde onderste luchtlagen met de koudere luchtlagen erboven (HAGEN en SKIDMORE, 1971). Wordt de windsnelheid afgeremd door onder andere windschermen dan zal deze vermenging minder optreden. Zo kan de l u c h t t e m p e r a t u u r van de onderste luchtlagen (20 à 30 cm) in de luwte van windschermen overdag 1 à 2 graden C. hoger zijn (o.a. VAN DER LINDE en WOUDEBERG, 1950; VAN WIJK en HIDDING, 1955; STEUBING, 1956; WOUDEBERG, 1967 en BÄTJER, NESS, FEISE en VON LÜCKEN, 1967). 's Nachts kan bij onbewolkte hemel

de minimum temperatuur van de onderste luchtlagen in de luwte 1 à 2° C lager zijn dan in het open veld. Deze verlaging van de minimum-temperatuur doet de kans op nachtvorst toenemen. Enkele van boven genoemde auteurs hebben eveneens onderzoek naar de b o d e m t e m p e r a t u u r gedaan. Zij constateerden in de luwte een verhoging van de bodemtemperatuur, welke overdag tot meerdere graden kan oplopen en ook 's nachts nog enigszins hoger kan zijn dan in het open veld. JENSEN (1954) vond op een diepte van 20 cm een verhoging van de gemiddelde bodemtemperatuur van 0 - 2° C in de zomermaanden. Door schaduwwerking ontstaat vooral bij oost west lopende windschermen direct naast het scherm een schaduwstrook (VAN DER LINDE en WOUDEBERG, 1946) waar zowel de luchttemperatuur als de bodemtemperatuur lager zal zijn dan in het vrije veld. Aan de zonkant van het scherm ontstaat reflectie van de zonne-energie waardoor de lucht- en de bodemtemperatuur wordt verhoogd (VAN DER LINDE, 1958).

De v e r d a m p i n g wordt eveneens sterk beïnvloed door de windsnelheid. Wordt de windsnelheid afgeremd dan daalt ook de verdamping. WOUDEBERG(1967), BÄTJER en FEISE (1962) en SKIDMORE en HAGEN (1970) vonden een duidelijk verband tussen de windsnelheid en de verdamping. De relatieve afname van de verdamping is circa de helft van de relatieve afname van de windsnelheid (fig. 16 en 17). BÄTJER, NESS, FEISE und VON LÜCKEN (1967) kwamen tot een relatieve vermindering van de verdamping die overeenkomt met de wortel van de relatieve afname van de winsnelheid (zie ook NÄGELI, 1943).

BÄTJER en FEISE maken hierbij de opmerking dat de verdamping niet alleen afhankelijk is van de windsnelheid maar dat ook de zonnewarmte en de verdampingsoppervlakte een zeer grote invloed op de verdamping hebben. Uit andere onderzoeken zou zijn gebleken dat de verdamping ten gevolge van de zonnewarmte gemiddeld over het hele jaar de verdamping ten gevolge van de luchtbewegingen overtreft. De verdampingsafname ten gevolge van de windremmende werking van windschermen moet daarom niet worden overschat. GUYOT (1963) komt via een theoretische beschouwing, welke gestaafd wordt door waarnemingen, tot een meer genuanceerde conclusie. Hij stelt dan ook dat de mate van verdamping van meerdere klimatologische factoren afhankelijk is.

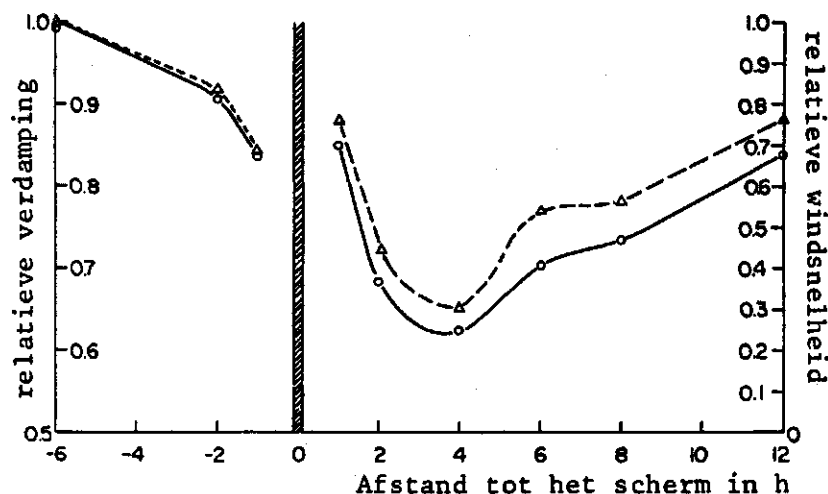


Fig. 16. De relatieve verdamping (-----) en de relatieve windsnelheid (—) rond een kunstmatig windscherm met een doorlatendheid van 40%. Vrije windsnelheid 5,6 tot 6,2 m/sec. Meethoogte 0,6 h (SKIDMORE en HAGEN, 1970)

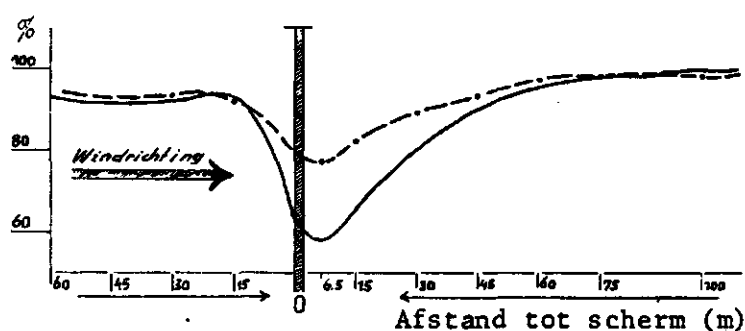


Fig. 17. Samenhang tussen de relatieve windsnelheid (—) en de relatieve verdamping (---) achter kunstmatige windschermen met 50% doorlatendheid. Meethoogte 0,45 h (BÄTJER en FEISE, 1962)

De l u c h t v o c h t i g h e i d is afhankelijk van vele factoren zoals: temperatuur, luchtbeweging, verdamping en transpiratie. Vele van deze factoren kunnen dagelijks variëren, waardoor de invloed van windschermen op de luchtvochtigheid gecompliceerd is. (VAN EIMERN, 1961). Toch vonden STEUBING (1956) en andere onderzoekers (zie VAN EIMERN, 1961) een hogere relatieve luchtvochtigheid in de beschutte zone. Enkele onderzoekers (waaronder VAN DER LINDE en

WOUDENBERG, 1950) vonden een dagelijks verloop van de invloed van beschutting op de relatieve luchtvochtigheid. Samenvattend zegt VAN DER LINDE (1958) dat beschutting in de voormiddag en de vroege namiddag een verlagende invloed op de relatieve luchtvochtigheid en in de rest van de dag een verhogende invloed op de relatieve luchtvochtigheid uitoefent. CABORN (1957) schrijft dit toe aan de positieve warmtebalans in de voormiddag en de negatieve warmtebalans in de namiddag. De invloed van windschermen op de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid mag zwak positief worden genoemd.

Daarnaast vonden diverse onderzoekers (zie o.a. VAN EIMERN, 1961 en VAN DER LINDE, 1962) in de beschutte zone duidelijk een hoger v o c h t g e h a l t e in de bovenste b o d e m l a g e n, vooral als het een begroeide bodem betrof. Op een onbegroeide bodem was dit effect duidelijk minder. PEERLKAMP en VAN DER LINDE (1967) hebben op stuifgevoelige gronden in raaien loodrecht op windsingels monsters gestoken en onderzocht op vochtgehalte. Zij vonden een zeer onregelmatig patroon hetgeen zij toeschrijven aan het verschil in organisch stofgehalte van de grond en de wisselende windrichting in de periode direct voor de bemonstering. BÄTJER, NESS, FEISE en VON LÜCKEN (1967) vonden ook geen duidelijk verband tussen windbeschutting en de vochtigheidstoestand in de bovenste 40 cm van de bodem. Alleen in de laag 40-60 cm diep werd in de beschutte zone een iets lager vochtgehalte geconstateerd. Dit moet volgens de schrijvers toegeschreven worden aan de diepere beworteling van de planten in deze zone. STEUBING (1956) heeft de wateronttrekking van een bomenrij onderzocht door op een afstand van 2 m over 15 m de boomwortels door te snijden. Het vochtgehalte in de bodem bleek naast de bomen met doorgesneden wortels aanzienlijk hoger te zijn dan naast de bomen met intacte wortels (fig. 18). Deze vochtonttrekking kan zich uitstrekken tot 10 à 15 m vanaf het scherm (zie ook STEUBING, 1960). Het vochtgehalte in de grond is overigens van meerdere klimatologische factoren afhankelijk, waaronder verdamping en neerslag.

Bodemvochtgehalte
in proc.

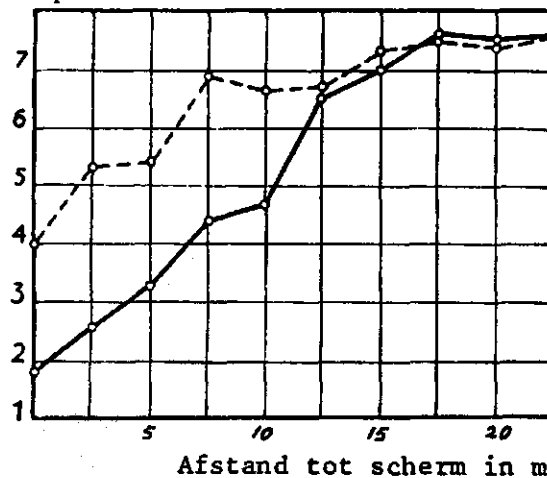


Fig. 18. Het vochtgehalte in de bodem op 20 cm diepte naast bomenrij met doorgesneden wortels (---o---) en naast bomenrij met intacte wortels (—●—) (STEUBING, 1956)

VAN DER LINDE (1962) maakt melding van een onderzoek van KARSCHON (1958) waaruit blijkt dat afhankelijk van de windrichting en de windsnelheid windschermen neerslag kunnen onderscheppen, waardoor direct achter het scherm aan de lijzijde een regenschaduw ontstaat. Verder van het scherm af valt geleidelijk weer meer regen tot een maximum nog in de beschutte zone, waarna de hoeveelheid neerslag weer afneemt tot een normaal niveau (fig. 19).

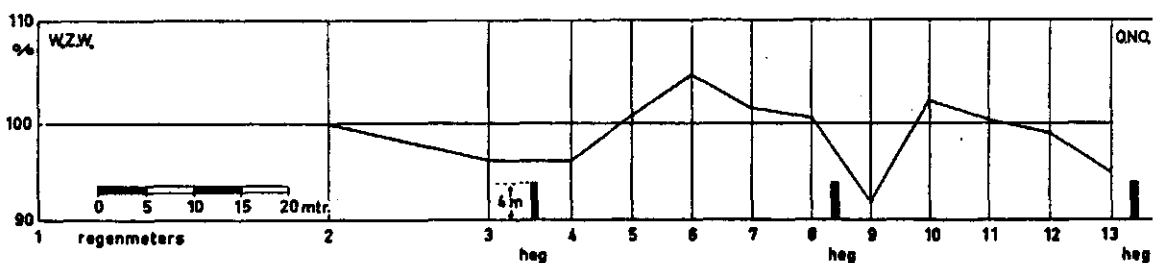


Fig. 19. De verdeling van de regenval in een beschut gebied (KARSCHON, 1958)

De hogere neerslag in de beschutte zone gaat ten koste van neerslag in een ander gedeelte waardoor geen verhoging van de totale

neerslag in een heel gebied verwacht mag worden tengevolge van windschermen. VAN DER LINDE vermeldt verder echter wel dat russische onderzoekers van mening zijn dat tengevolge van de luchtbeweging rond windschermen, wel een verhoging van de totale neerslag (i.c. sneeuw) verwacht mag worden.

Alhoewel windschermen ook enige invloed op dauwvorming en mist-neerslag kunnen hebben, is de hoeveelheid van weinig belang op de totale waterbalans. Wel kan de duur van dauwvorming van betekenis zijn (VAN EIMERN, 1961).

5. DE INVLOED VAN WINDSCHERMEN OP LANDBOUWGEWASSEN

5.1. A l g e m e e n

In sommige gebieden waar het klimaat voor landbouwgewassen niet al te best is kan men hierin verbetering brengen door het aanleggen van windschermen.

Deze windschermen doen over een bepaalde strook de windsnelheid afnemen waardoor er in de luwte een ander microklimaat kan ontstaan, waarin de landbouwgewassen anders reageren.

In de enorme russische steppen is de vochtvoorziening voor de landbouwgewassen ten eerste afhankelijk van de sneeuwval in de wintermaanden. Door de sneeuwval zoveel mogelijk te reguleren en het wegwaaien te voorkomen hoopte men de vochtvoorziening voor de landbouwgewassen veiliger te stellen (zie o.a. VAN DER LINDE, 1962 en GUYOT, 1963). De verlaagde verdamping ten gevolge van de aangelegde windschermen komt eveneens ten goede van de gewassen.

Om soortgelijke redenen en om de verstuiving tegen te gaan zijn in de zogenaamde 'Great Plains' in de Verenigde Staten windschermen aangelegd (STOECKELER, 1963, GEORGE, 1971).

Omstreeks 1850 is men in Jutland (Denemarken) begonnen met de ontginning van de uitgestrekte heidevelden (WALLACE, 1963). Dit waren boomloze vlakten bestaande uit een zeer arme zandige bodem met een ondoorlatende laag tot op circa 50 cm minus maaiveld. Zelfs na het breken van deze laag bleven het droogte- en stuifgevoelige gronden.

Rond de eeuwwisseling is men hier begonnen met het aanplanten van bossen op de armste gronden en windschermen op de landbouwgronden om deze tegen de harde westenwind te beschermen.

In bovengenoemde gebieden is veel onderzoek verricht naar de invloed van windsingels op landbouwgewassen. Vooral in Rusland zijn in droge jaren grote opbrengstverschillen gemeten tussen met windschermen beschutte gebieden en de open steppen (zie o.a. VAN DER LINDE, 1958 en 1962 en VAN EIMERN, 1961). Hoewel minder spectaculair zijn in de Verenigde Staten en in Denemarken ook duidelijk meeropbrengsten gemeten die toegeschreven kunnen worden aan de aangelegde windschermen (zie bovenstaande auteurs).

De omstandigheden in bovengenoemde gebieden wijken vrijwel in alle gevallen zeer sterk af van die in Nederland. Voor zover in de nederlandse kustprovincies droogte- en stuifgevoelige gronden zoals in Denemarken voorkomen, kan men een overeenkomstig effect als in Denemarken verwachten. Voor de overige gebieden kan men zich beter laten leiden door onderzoeken in Nederland en de direct omringende landen. Hiertoe staan ons de resultaten van enkele onderzoeken, die tussen 1940 en 1960 in Nederland zijn verricht, ter beschikking. Rond 1960 heeft men ook in West Duitsland opbrengst metingen verricht op door windschermen beschutte gronden. De opzet en de resultaten van deze onderzoeken zullen hier nader worden besproken.

5.2. O n d e r z o e k i n N e d e r l a n d

JONKER (1954) heeft proefnemingen met windschermen in de Noord-Oostpolder beschreven, welke in de jaren 1947-1950 zijn verricht. In 1944 zijn op 2 graslandkavels met Ramspolzand en op 2 bouwlandkavels met zware zavel windschermen (3 rijen elzen in een plantverband van 50 x 50 cm) geplant. De 300 m lange schermen lagen in de richting ZO-NW, dus loodrecht op de overheersende W-windrichting.

Van de Ramspolzandgronden zijn slechts op één graslandkavel met onderlinge schermafstanden van circa 50 m globale opbrengstmetingen verricht. In 1948 werd van de eerste snede tussen de schermen een opbrengst van 76,1 kg per are aan hooi met 15% vocht gemeten en buiten de schermen was dit toen 74,9 kg per are. In 1949 was de opbrengst aan

droge stof van de tweede snede 36,7 kg per are tussen de schermen en 40,4 kg per are buiten de schermen. In verband met perceelsindeling en verweiding was de eerste snede in 1949 buiten de schermen vermoedelijk eerder afgeweid dan tussen de schermen, waardoor de cijfers in dit jaar niet goed vergelijkbaar zijn. Voor bouwland zijn de opbrengstmetingen verricht op de twee kavels met zware zavel en onderlinge schermafstanden van respectievelijk 50 en 100 m. Het oogsten heeft plaatsgevonden door de akkers evenwijdig aan de windschermen te maaidorsen. De resultaten van vier tot acht herhalingen zijn als gemiddelden tussen twee windschermen grafisch weergegeven in de figuren 20 tot en met 24. De kavels waren op onderlinge afstanden van 12 m begreppeld. Langs de greppelkant is geoogst met een zelfrijdende maaidorser en het middengedeelte van de akker is geoogst met een getrokken maaidorser. Het verschil in opbrengst van midden op de akker en langs de greppelkant mag daarom niet volledig aan greppelinvloeden worden toegeschreven. Alleen in 1947 zijn op de kavel met onderlinge schermafstanden van 100 m opbrengstmetingen verricht. De gemiddelde opbrengsten van 4 waarnemingsreeksen zijn in fig. 20 grafisch weergegeven. Door nawerking van onkruidbestrijdingsmiddelen was de stand onregelmatig. Het gewas legerde op de stroken aan de oostkant van de schermen. Voor het vaststellen van de relatieve opbrengsten zijn de gemeten opbrengsten tussen de schermen vergeleken met de opbrengsten op gelijkwaardige stroken op de akkers buiten de schermen. Op de kavel met onderlinge schermafstanden van 50 m zijn 4 jaren opbrengstmetingen verricht. De gemiddelde resultaten van 8 waarnemingsreeksen zijn voor de jaren 1947, 1948, 1949 en 1950 weergegeven in respectievelijk figuren 21, 22, 23 en 24. In 1947 werd ook op deze kavel aan de oostzijde van de schermen legering geconstateerd. Het gewas was verder vrij regelmatig. In 1948 zijn naast de opbrengstmetingen met de maaidorsers tevens proefveldjes geoogst en gewogen. De resultaten van deze proefveldjes zijn met onderbroken lijnen aangegeven. De opbrengstpercentages zijn met open rondjes aangegeven. Na de betrekkelijk goede zomer van 1948 met overwegend oostelijke winden kwam vlak voor het maaidorsen een westelijke storm die mogelijkwijs vooral in het onbeschutte gedeelte korrelverlies heeft doen ontstaan.

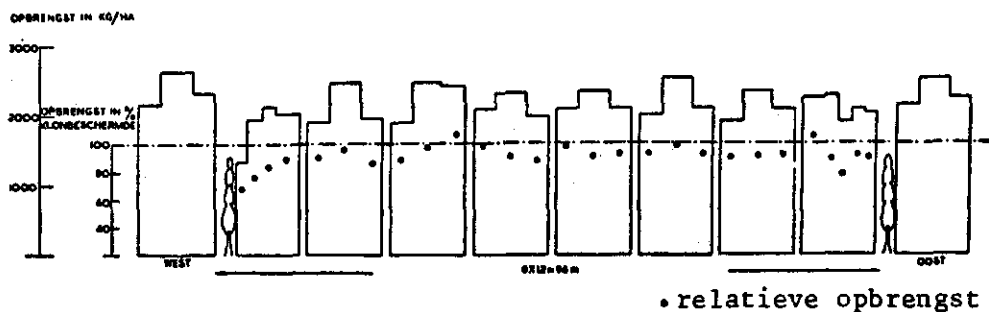


Fig. 20. Gemiddelde opbrengsten van 4 meetseries bij onderlinge scherm-afstanden van 100 m en een schermhoogte van 3,5 m op zware zavel in 1947. Gewas: zomergerst (JONKER, 1954)

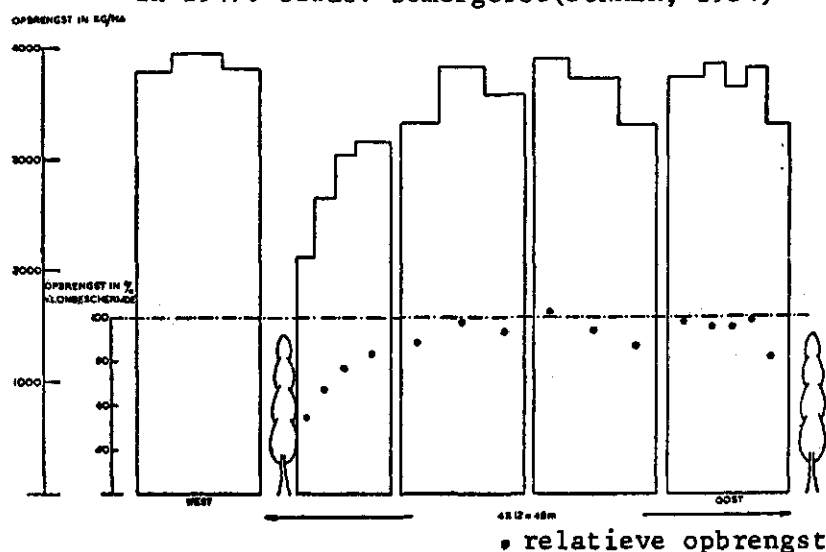


Fig. 21. Gemiddelde opbrengsten van 8 meetseries bij onderlinge scherm-afstanden van 50 m en een schermhoogte van 3,5 m op zware zavel in 1947. Gewas: zomergerst (JONKER, 1954)

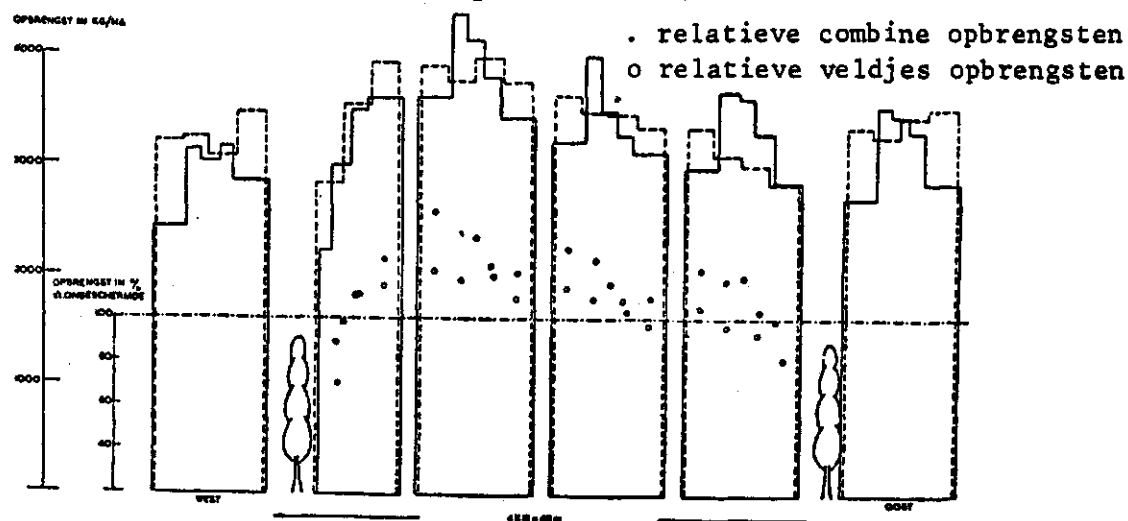


Fig. 22. Gemiddelde opbrengsten van 8 meetseries bij onderlinge scherm-afstanden van 50 m en een schermhoogte van 5 m op zware zavel in 1948. Gewas: haver (JONKER, 1954)

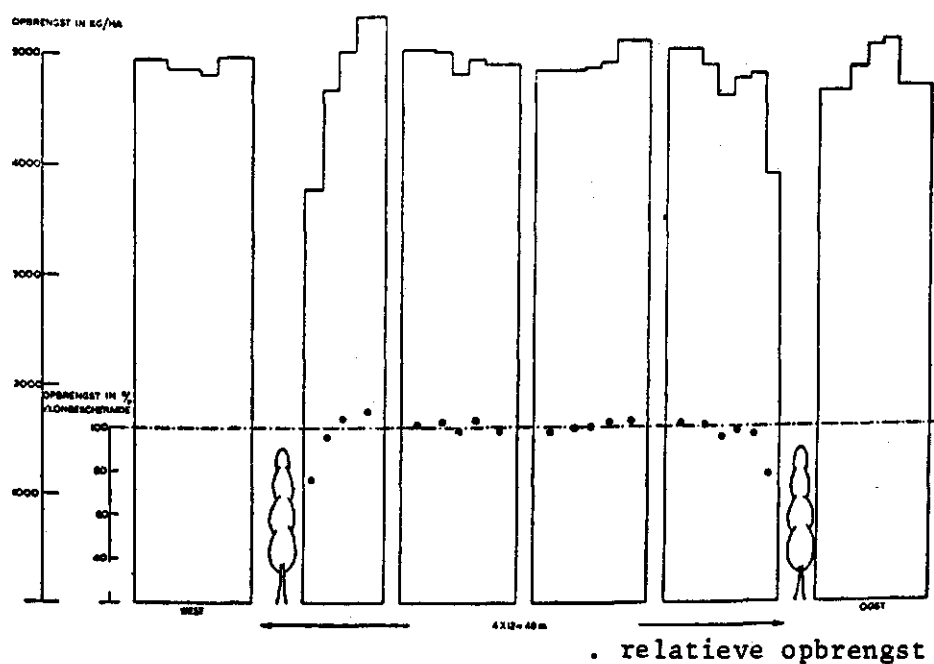


Fig. 23. Gemiddelde opbrengsten van 8 meetseries bij onderlinge scherm-afstanden van 50 m en een hoogte van 6 m op zware zavel in 1949. Gewas: zomertarwe (JONKER, 1954)

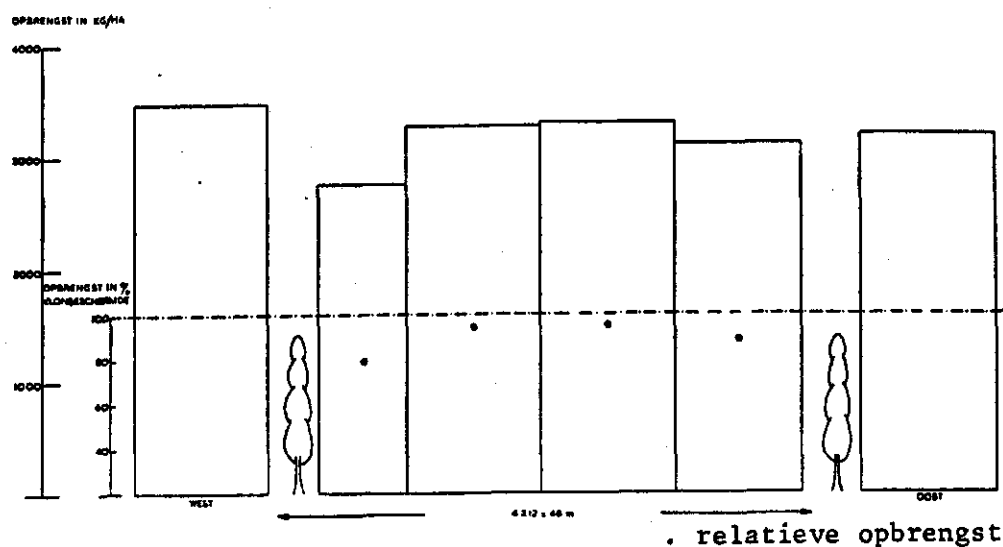


Fig. 24. Gemiddelde opbrengsten van 8 meetseries bij onderlinge scherm-afstanden van 50 m en een hoogte van 6 m op zware zavel in 1950. Gewas: zomergerst (JONKER, 1954)

De opbrengstmetingen in 1949 vertoonden hetzelfde beeld als de resultaten in 1947. Ook nu was het graan op de akkers ten oosten van het scherm gelegd. In 1950 waren de greppels gedempt en was de kavel gedraineerd. De opbrengsten zijn per voormalige akker gemeten. De resultaten komen overeen met die van de voorafgaande jaren.

De proefmetingen hebben zich beperkt tot de zomergranen. De kavels waarop de opbrengstmetingen zijn verricht waren begreppeld en daardoor niet ideaal voor dit doel. De resultaten moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden beoordeeld. In 1948 werden in het beschutte gebied hogere opbrengsten gemeten (fig. 22). De drie overige jaren gaven geen opbrengstverhogend effect van de windschermen te zien. Direct naast de schermen werd een lagere opbrengst gemeten. De totale indruk van de proefneming was zodanig dat aanplant van windschermen in de noordoostpolder niet zinvol werd geacht. Dit mede omdat de groei van de gewassen in de polder niet de indruk gaf dat het klimaat er ongunstig was.

VAN RHEE (1959) geeft de resultaten van een in 1957 en in 1958 in samenwerking met de Landbouwvoorlichtingsdienst te Goes verricht onderzoek betreffende beschutting van landbouwgewassen in Zeeland. In 1957 werd op een aardappelperceel opbrengstmetingen verricht en in 1958 is dit onderzoek voortgezet bij de gewassen aardappelen, tarwe en suikerbieten. De opbrengstmetingen zijn verricht op tegen de westenwind beschutte veldjes die op regelmatig toenemende afstanden van het windscherm waren gelegen. De resultaten van deze opbrengstmetingen zijn gegeven in tabel 1.

In 1957 werd een negatief beschuttingseffect waargenomen van circa 25% over 7 h. In 1958 waren de opbrengstresultaten bij aardappelen wisselend. Toch lijkt tot een afstand van 7 h een positief beschuttingseffect van circa 12% op te treden. Tarwe en suikerbieten gaven in het beschutte gedeelte een iets hogere opbrengst van circa 3%. De in 1958 in het tegen westenwind beschutte gedeelte gemeten opbrengstverhoging van gemiddeld circa 6% geeft volgens VAN RHEE aan dat in kustgebieden op vochtige gronden beschutting van de betrokken gewassen van nut is. Mede omdat voor het sterk negatief

Tabel 1. Opbrengstresultaten van landbouwgewassen op verschillende afstanden van het windscherm (naar VAN RHEE, 1959)

Afstand tot het windscherm	1957	1958			
	Aardapp. knollen kg/are	Aardapp. knollen kg/are	Zomertarwe korrel kg/are	Suikerbieten bieten kg/are	Suikerbieten suikergehalte %
1 h	-	408,8	-	-	-
2 h	409,1	-	-	637,5	16,9
3 h	-	482,2	40,0	-	-
4 h	519,0	-	-	648,5	17,5
5 h	-	499,4	40,0	-	-
6 h	481,1	-	-	666,5	17,4
7 h	-	-	-	-	-
8 h	621,2	-	-	-	-
9 h	-	396,6	38,8	-	-
10 h	-	-	-	631,5	17,4
11 h	-	-	-	-	-
12 h	640,2	-	-	-	-
13 h	-	450,6	38,4	-	-
14 h	642,4	-	-	631,5	16,9

beschuttingseffect in 1957 bij aardappelen geen verklaring was te vinden lijkt deze uitspraak op grond van de hier gevonden resultaten enigszins voorbarig.

Omdat onder andere de inwoners van de gemeente Grubbenvorst veel overlast ondervonden van het stuiven van de veel voorkomende stuifgevoelige asperge percelen is in 1949 een werkgroep samengesteld, om aan de hand van proefobjecten na te gaan wat de invloed van windschermen op het stuiven, het microklimaat en de gewasopbrengsten is. Van 1949 tot 1951 werden in totaal 11,3 km windscherm geplant. In 1955 zijn onder andere opbrengstmetingen bij rogge en aardappelen en in 1956 bij rogge en mais verricht (VAN RHEE en BAKKER, 1967).

De windschermen hadden toen een hoogte van circa 3,5 m. De opbrengstbepalingen hebben steekproefsgewijs plaatsgevonden. Bij rogge werden per proefobject op regelmatig toenemende afstanden tot het windscherm telkens drie monsters genomen, bestaande uit alle aren van twee rijen over een lengte van 0,50 m. De relatieve korrelopbrengst van deze metingen is grafisch weergegeven in fig. 25.

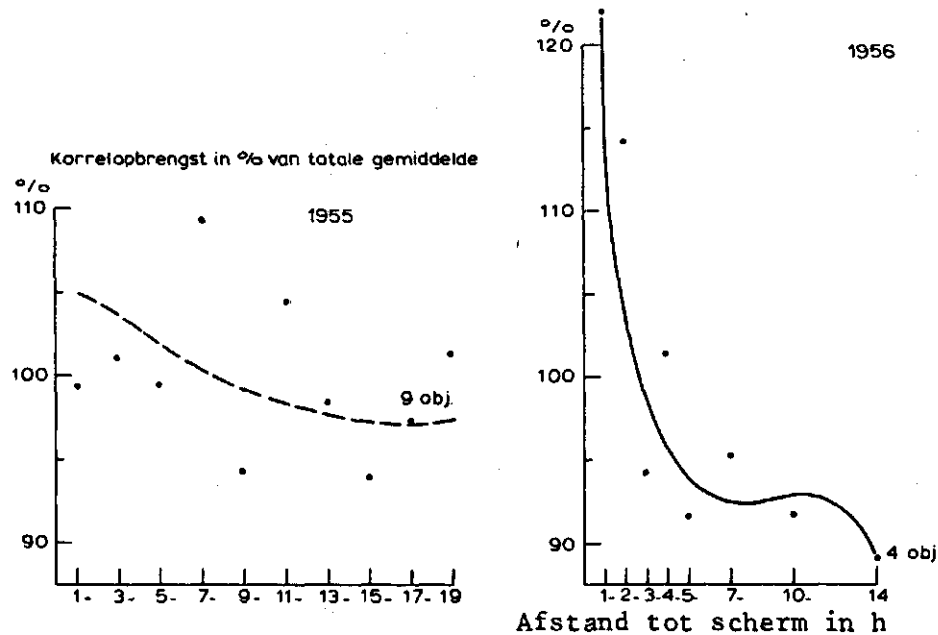


Fig. 25. Relatieve opbrengsten van rogge in afhankelijkheid van de afstand tot het windscherm in 1955 en 1956 (VAN RHEE en BAKKER, 1967)

Volgens de schrijvers was de gemeten meeropbrengst bij rogge in 1955 en 1956 respectievelijk 4 en 9% in het tegen westelijke winden beschutte gedeelte tot een afstand van 8 à 10 h.

Bij aardappelen werden in 1955 weer met drie herhalingen telkens 6 pollen gerooid. Wegens de grote variabiliteit in de knolopbrengst per pol is de geconstateerde positieve reactie van gemiddeld 6,5% tot 10 h ten oosten van het windscherm maar beperkt betrouwbaar (fig. 26).

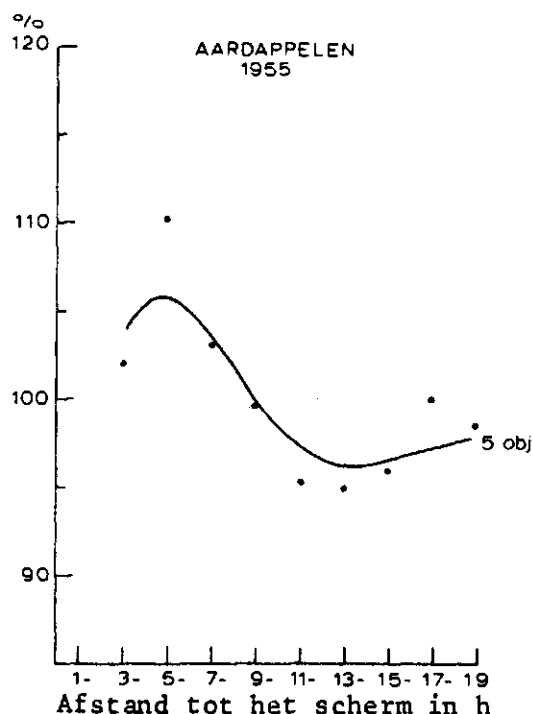


Fig. 26. Knolopbrengst van 6 aardappelplanten in % van het totale gemiddelde (VAN RHEE en BAKKER, 1967)

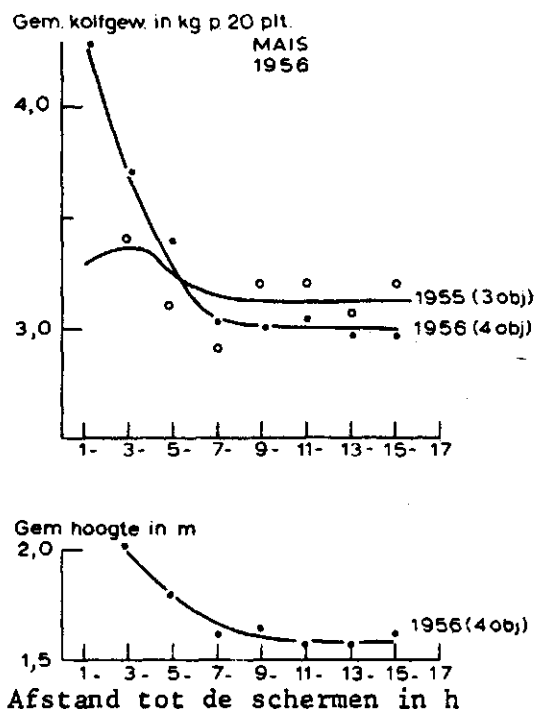


Fig. 27. Opbrengst en lengtegroei bij mais in de beschutting (VAN RHEE en BAKKER, 1967)

Bij mais zijn in 1955 telkens 20 planten met drie herhalingen en in 1956 steeds 10 planten met 2 herhalingen geoogst. Bij dit gewas werden in beide jaren de kolfopbrengsten bepaald en in 1956 is tevens de hoogte van het gewas gemeten. De resultaten hiervan zijn gegeven in fig. 27. In 1955 werd nauwelijks een opbrengstverhogende invloed van de windschermen geconstateerd. In 1956 werd tot een afstand van circa 10 h ten westen van de windschermen een opbrengstverhoging van circa 19% aan kolfgewicht en circa 9% aan stengellengte gevonden.

HELLINGS (1967) heeft in de jaren 1956, 1957 en 1958 op hetzelfde proefobject opbrengstmetingen bij rogge, mengteelt (haver/gerst), aardappelen en mais verricht. Bij granen is het door windsingels ingesloten gebied (beschut gebied) in zijn geheel vergeleken met een aangrenzend onbeschut gebied dat voor het overige aan de gewassen

overeenkomstige groeivoorwaarden bood. De gewasopbrengsten werden op willekeurig gekozen proefplekken op zoveel mogelijk percelen binnen en buiten het beschutte gebied door taxaties vastgesteld. Op een aantal van deze proefplekken werden voor controle tevens de opbrengsten door meting bepaald. In 1956 bleek bij rogge de gemiddelde opbrengst in het beschutte gebied gelijk aan die van het onbeschutte vergelijkingsgebied te zijn. In 1957 was de gemiddelde opbrengst in het beschutte gebied circa 10% hoger dan in het onbeschutte en in 1958 was de gemiddelde opbrengst in het beschutte gebied iets lager. Volgens HELLINGS kan hieruit geconcludeerd worden dat windbeschutting over het geheel genomen vrijwel geen invloed heeft gehad op het opbrengstniveau van rogge. Bij haver en mengteelt was in 1956 de gemiddelde opbrengst in het beschutte gebied circa 12% hoger dan in het onbeschutte gebied, terwijl de gemiddelde opbrengst van mengteelt in 1958 in het beschutte gebied circa 7% lager was dan in het onbeschutte gebied. Uit de resultaten van beide jaren wordt dan ook geconcludeerd dat windbeschutting het opbrengstniveau niet noemenswaard heeft beïnvloed.

Omdat de opbrengsten een grote spreiding vertoonden werden de beschutte percelen eveneens naar de gemiddelde perceels-opbrengst gegroepeerd. Verder zijn de proefveldjes op de percelen naar de mate van beschutting ingedeeld. Onderscheiden zijn stroken van 0-25 m vanaf het scherm, stroken van 25-50 m vanaf het scherm en middenvak >50 m vanaf het scherm, waarbij de opbrengsten ten oosten van een W(est)-scherm ook apart zijn behandeld. In tabel 2 staan de opbrengsten van rogge van de met windschermen beschutte percelen per beschuttingsklasse en opbrengstgroep gegeven.

Uit de resultaten van de drie jaren gezamenlijk concludeert HELLINGS dat bij de twee laagste opbrengstgroepen (I en II) een positieve beschuttingseffect is waar te nemen. Dit moet echter toegeschreven worden aan het positieve effect van 10-15% respectievelijk 5-10% in 1956. De overige jaren vertonen in deze opbrengstgroepen geen positief effect, alhoewel HELLINGS van mening is dat in 1957 het middenvak van groep II door een te hoge opbrengst het beeld verstoort.

Tabel 2. De gemiddelde opbrengst van rogge in de beschuttingsklassen per opbrengstgroep in kg/are (HELLINGS, 1967)

Gewas	Jaar	Beschutting	Opbrengstgroep en aantal plekken									
			16 t/m 21 I	n1	22 t/m 27 II	n2	28 t/m 33 III	n3	34 t/m 39 IV	n4	40 t/m 45 V	n5
Rogge	1956	Beschut	21	9	25	37	30	55	-	-	-	-
		W-rij 0-25	25	1	27	4	31	7	-	-	-	-
		W-rij 25-50	22	2	26	7	29	6	-	-	-	-
		Rand 0-25	21	4	25	13	30	29	-	-	-	-
		Rand 25-50	22	3	24	14	29	9	-	-	-	-
		Middenvak	20	2	24	10	30	17	-	-	-	-
Rogge	1957	Beschut	19	4	25	24	31	33	36	10	41	7
		W-rij 0-25	19	2	26	5	30	3	35	2	40	1
		W-rij 25-50	-	-	23	4	32	4	35	2	40	1
		Rand 0-25	19	2	26	14	31	7	35	6	42	2
		Rand 25-50	19	2	23	7	32	18	35	2	40	4
		Middenvak	-	-	27	3	29	8	38	2	43	1
Rogge	1958	Beschut	14	3	27	31	30	60	-	-	-	-
		W-rij 0-25	-	-	26	2	28	4	-	-	-	-
		W-rij 25-50	-	-	27	4	31	11	-	-	-	-
		Rand 0-25	-	-	26	13	29	13	-	-	-	-
		Rand 25-50	-	-	27	12	30	25	-	-	-	-
		Middenvak	14	3	27	6	30	22	-	-	-	-
Rogge	1956 1958	Beschut	19	16	25	92	30	148	36	10	41	7
		t/m W-rij 0-25	21	3	26	11	30	14	35	2	40	1
		W-rij 25-50	22	2	25	15	31	21	35	2	40	1
		Rand 0-25	20	6	26	40	29	49	35	6	42	2
		Rand 25-50	21	5	25	33	30	52	35	2	40	4
		Middenvak	16	5	25	19	30	47	38	2	43	1

In de middelste opbrengstgroep (III) waren de opbrengsten in alle beschuttingsklassen vrijwel gelijk, terwijl in 1957 in de hogere opbrengstgroepen (IV en V) de stroken op korte afstanden van de schermen een iets lagere opbrengst gaven.

De opbrengst van haver en mengteelt van de met windschermen beschutte percelen zijn in tabel 3 per beschuttingsklasse en opbrengstgroep gegeven.

Tabel 3. De gemiddelde opbrengst van haver en mengteelt in de beschuttingsklassen per opbrengstgroep (HELLINGS, 1967)

Gewas	Jaar	Beschutting	Opbrengstgroep en aantal plekken									
			16 t/m 21 I	n1	22 t/m 27 II	n2	28 t/m 33 III	n3	34 t/m 39 IV	n4	40 t/m 45 V	n5
Haver/ Meng- teelt	1956	Beschut	21	2	26	5	29	6	38	19	45	8
		W-rij 0-25	-	-	-	-	-	-	38	4	-	-
		W-rij 25-50	-	-	25	1	29	2	37	1	-	-
		Rand 0-25	-	-	-	-	33	1	37	5	48	1
		Rand 25-50	22	1	26	3	28	4	37	6	44	5
		Middenvak	20	1	26	2	27	1	38	8	46	2
Meng- teelt	1958	Beschut	16	8	24	21	32	23	36	27	-	-
		W-rij 0-25	-	-	22	1	-	-	34	5	-	-
		W-rij 25-50	16	1	28	1	33	3	36	3	-	-
		Rand 0-25	16	4	30	4	33	7	34	7	-	-
		Rand 25-50	14	1	25	7	31	11	37	8	-	-
		Middenvak	18	3	21	10	29	6	36	12	-	-
Haver/ Meng- teelt	1956 en 1958	Beschut	17	10	24	26	31	30	37	46	45	8
		W-rij 0-25	-	-	22	1	-	-	35	8	-	-
		W-rij 25-50	16	1	27	2	31	5	37	4	-	-
		Rand 0-25	16	4	30	4	33	8	35	12	48	1
		Rand 25-50	18	2	25	10	30	15	37	14	44	5
		Middenvak	19	4	22	12	29	7	37	20	46	2

Het negatieve beschuttingseffect van 10-15% in groep I is vanwege het kleine aantal gegevens niet erg betrouwbaar. De opbrengstgroepen II en III geven positieve beschuttingseffecten te zien van ongeveer 10-15%. Dit moet echter wel voor een groot deel toegeschreven worden aan 1958. De opbrengstgroepen IV en V vertonen geen tot zwak negatieve beschuttingseffecten.

Bij aardappelen en mais zijn op enkele percelen de opbrengstvariatiën in afhankelijkheid van de windbeschutting van scherm tot scherm vastgesteld. Hiervoor werden bij aardappelen proefplekken van 6 pollen in 1956 en 10 pollen in 1957 en 1958 gerooid en gewogen. In fig. 28 zijn de gemiddelde relatieve opbrengsten grafisch weergegeven. De opbrengsten van het perceelmidden (50-150 m vanaf het scherm) werd hierbij op 100% gesteld.

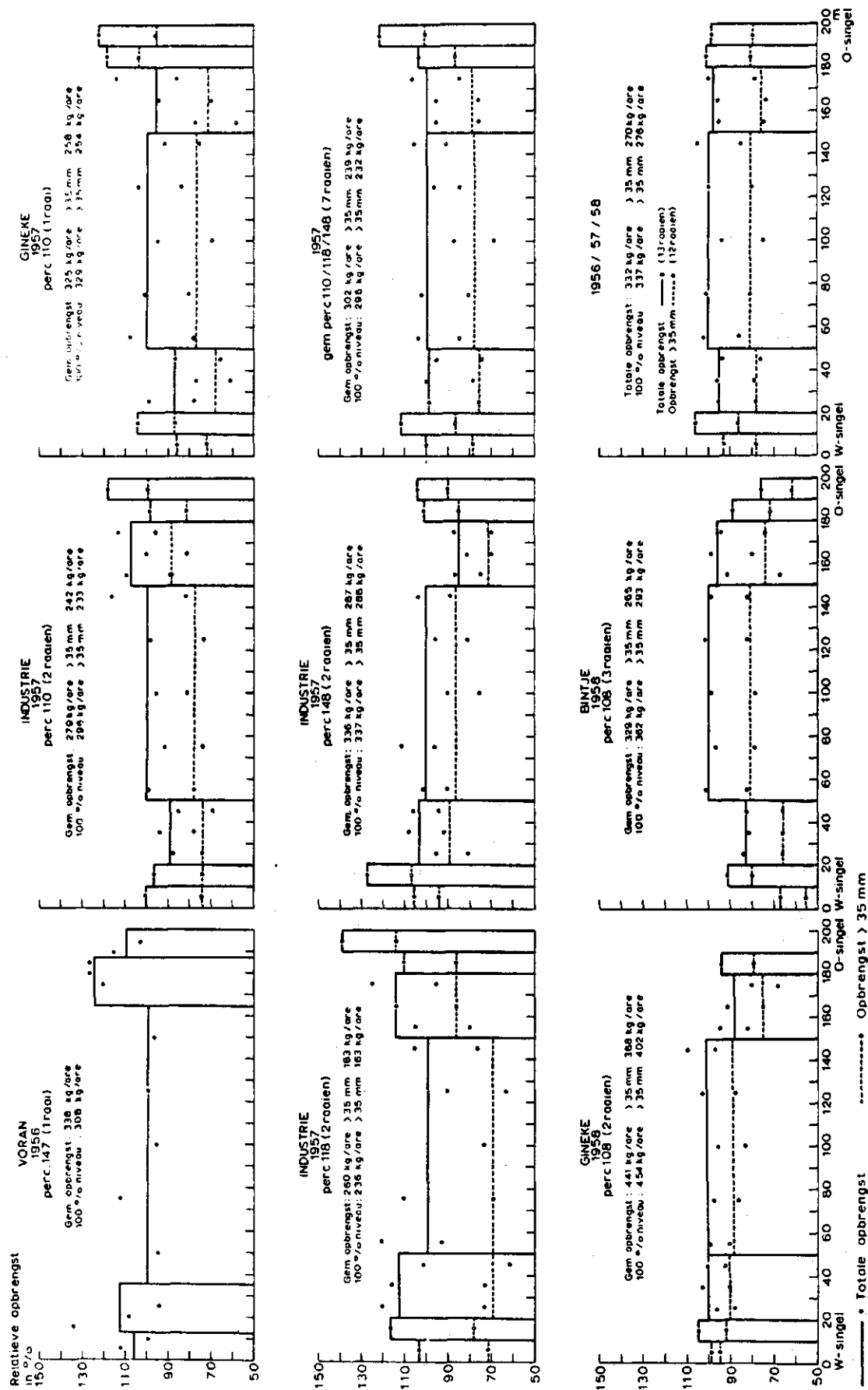


Fig. 28. Resultaten van het opbrengstonderzoek bij aardappelen op enkele percelen; beschut gebied (HELLINGS, 1967)

In 1956 waren slechts op één perceel opbrengstmetingen verricht. Bij de schermen werd een hogere opbrengst verkregen dan midden op het perceel.

In 1957 kon bij twee meetreeksen op perceel 110 een positief beschuttingseffect aan de westkant van het oostelijke windscherm worden geconstateerd. Aan de oostkant van de westelijke schermen viel daarentegen een negatief beschuttingseffect waar te nemen. Perceel 118 gaf bij beide windschermen een duidelijk positief beschuttings-effect te zien en op perceel 148 beperkte het positieve beschuttings-effect zich tot een strook naast het westelijke scherm. Op het laatste perceel werd langs het oostelijke scherm een lagere opbrengst gemeten. Gemiddeld over 1957 is tot 20 m vanaf het westelijke scherm een positief beschuttingseffect van ca. 6 % berekend, terwijl de strook van 20-50 m een lagere opbrengst te zien geeft. Voor de strook van 0-20 m ten westen van het oostelijke scherm is gemiddeld een hogere opbrengst van ca. 16 % gemeten. In 1958 was op perceel 108 bij het ras Gineke nabij het westelijke scherm een kleine opbrengstverhoging tengevolge van de windbeschutting merkbaar. Bij het oostelijke scherm was de opbrengst echter aanzienlijk lager, hetgeen volgens HELLINGS waarschijnlijk aan vruchtbaarheidsverloop van de bodem moet worden toegeschreven. Bij het ras bintje was een duidelijk negatieve invloed van de windbeschutting merkbaar, wat waarschijnlijk veroorzaakt is door een sterkere aantasting door phytophthora in de nabijheid van de windschermen. Worden de opbrengstmetingen van de drie jaren in het geheel beoordeeld dan komt HELLINGS tot de conclusie dat bij aardappelen nagenoeg geen opbrengstverhoging tengevolge van windbeschutting heeft plaatsgevonden.

Het onderzoek bij mais bleef beperkt tot lengtemetingen van de stengels en de kolven, waardoor dit onderzoek slechts een oriënterend karakter had. De metingen werden tussen noord-zuid lopende windschermen in drievoud verricht. In fig. 29 zijn de resultaten van de in 1956 en 1957 verrichte metingen gegeven.

In beide jaren bleek de lengte van het gewas in sterke mate door windbeschutting te zijn beïnvloed. Vooral in 1956 was het gewas op de strook van 0-20 m vanaf het westelijke scherm (overeenkomend met 5 h) duidelijk langer. In 1957 werd het beeld verstoord door een

Lengte v.d. stengel (cm)

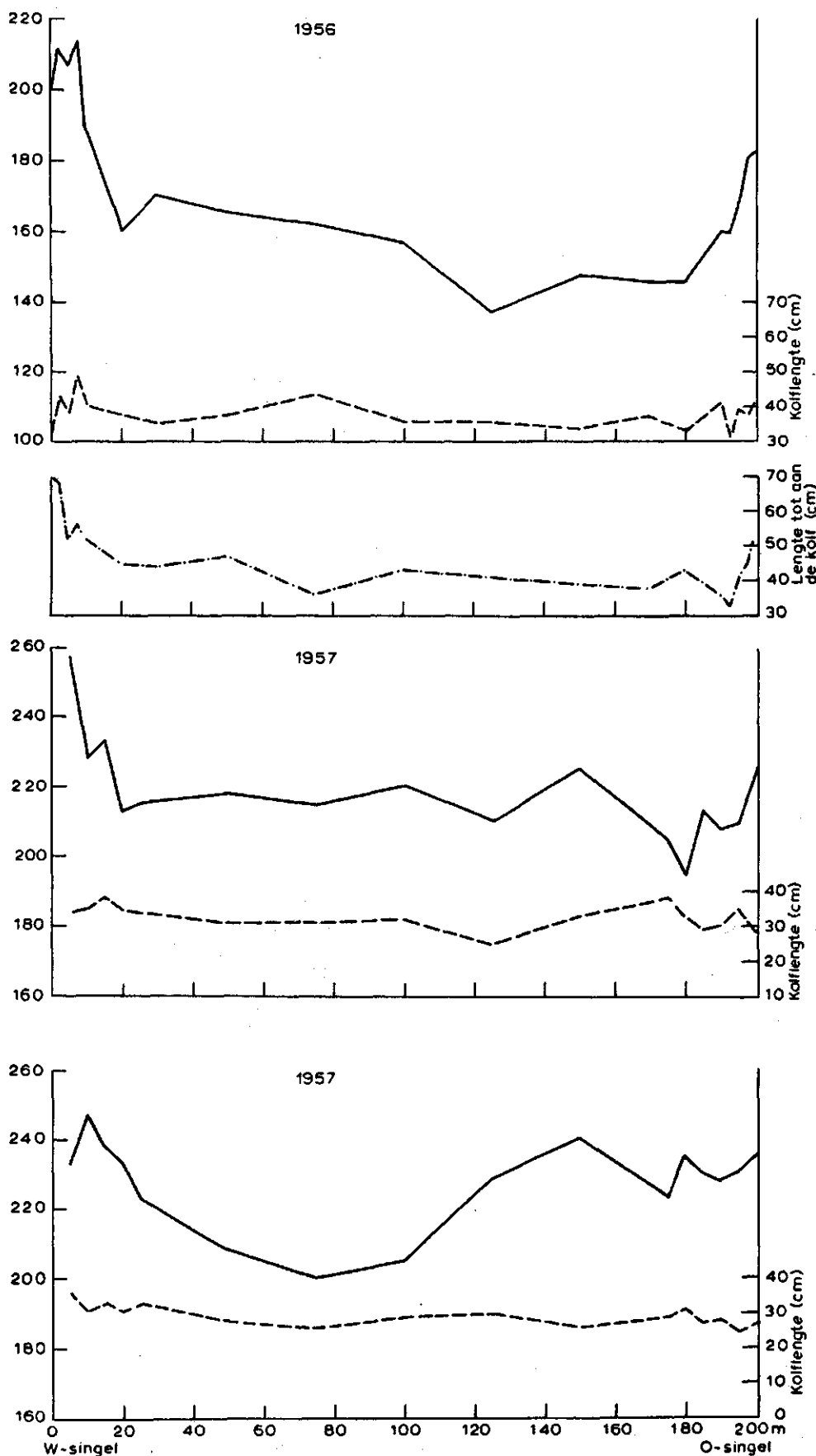


Fig. 29. De lengte van stengels (—) en kolven (----) bij mais tussen twee windsingels (HELLINGS, 1967)

vruchtbaarheidsverloop in het perceel. De kolflengte bleek veel minder door windbeschutting te worden beïnvloed.

Worden alle resultaten van het proefobject in de gemeente Grubbenvorst in beschouwing genomen dan blijken de opbrengsten en het beschuttingseffect van jaar tot jaar sterk te verschillen. Het beschuttingseffect varieerde van duidelijk positief tot duidelijk negatief. Mais blijkt bijna steeds een duidelijke positief beschuttingseffect te vertonen. Bij de overige gewassen (aardappelen en granen) is dit minder alhoewel enig positieve invloed van de windschermen op de opbrengsten wel aanwezig lijkt. Deze positieve invloed manifesteert zich dan voornamelijk op de lichtere gronden in de jaren met minder gunstig klimatologische groeiomstandigheden.

5.3. O n d e r z o e k i n W e s t D u i t s l a n d

In 1951 zijn in Horst (tussen Hannover en Braunschweig) opbrengstmetingen verricht tussen windschermen (BENDER, 1955). Dit was op een landbouwbedrijf waar reeds in 1929 om de 200 m noord-zuid lopende en enkele oost-west lopende windschermen waren geplant. Omstreeks 1940 is de afstand tussen de noordzuid lopende schermen gehalveerd door er steeds een scherm tussen te planten. De hoogte van de schermen was ten tijde van de opbrengstmetingen 6 m respectievelijk 3 m. De grond bestond uit lichte stuifzand, die aanvankelijk veel voor aspergeteelt werd gebruikt, maar waarop rond 1950 steeds meer andere landbouwgewassen werden verbouwd. Bij rogge en aardappelen zijn gedurende drie jaren opbrengstmetingen verricht, bij suikerbieten twee jaren en bij zomergerst één jaar. In een strook loodrecht op de windschermen zijn steeds veldjes van 10 m^2 geoogst en gewogen. Het veldje met de laagste opbrengst werd als vergelijkingsobject gebruikt, waardoor alle andere veldjes een meeropbrengst gaven. Aan de op deze manier berekende en in tabel 4 gegeven meeropbrengsten kan dan ook niet veel waarde worden gehecht.

Tabel 4. Procentuële opbrengststijging tengevolge van windschermen, waarbij het veldje met de laagste opbrengst als vergelijkingsobject is beschouwd (BENDER, 1955)

	Driejarig gemidd. %	Tweejarig gemidd. %	Eenjarig gemidd. %
Rogge: korrel	6,2	-	-
stro	3,0	-	-
Aardappelen	12,5	-	-
Suikerbieten:			
bieten	-	16,5	-
suikergeh.	-	19,7	-
Zomergerst: korrel	-	-	19,4
stro	-	-	49,6

De grafisch weergegeven opbrengstresultaten van drie gewassen in een willekeurig jaar geven een beter beeld van de windbeschutting (fig. 30 t/m 32).

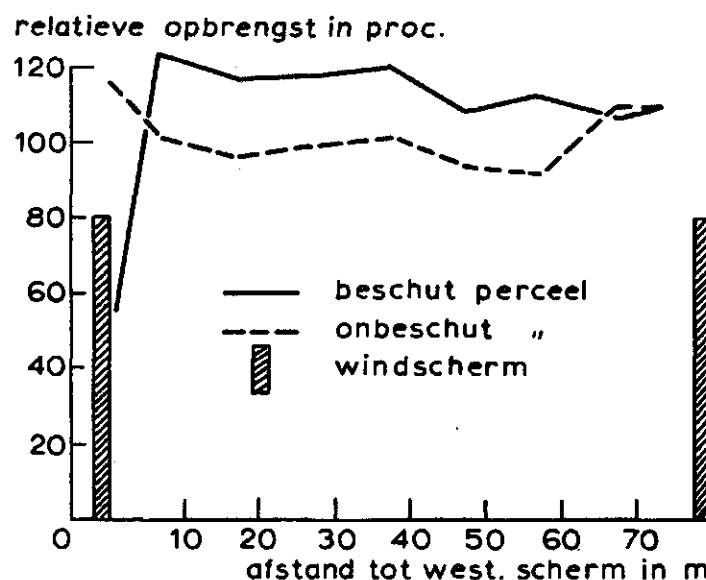


Fig. 30. Relatieve korrelopbrengst van rogge (1951) op een door windschermen beschut perceel en een onbeschut perceel. Gemiddelde opbrengst van het onbeschutte perceel is op 100% gesteld (naar BENDER, 1955)

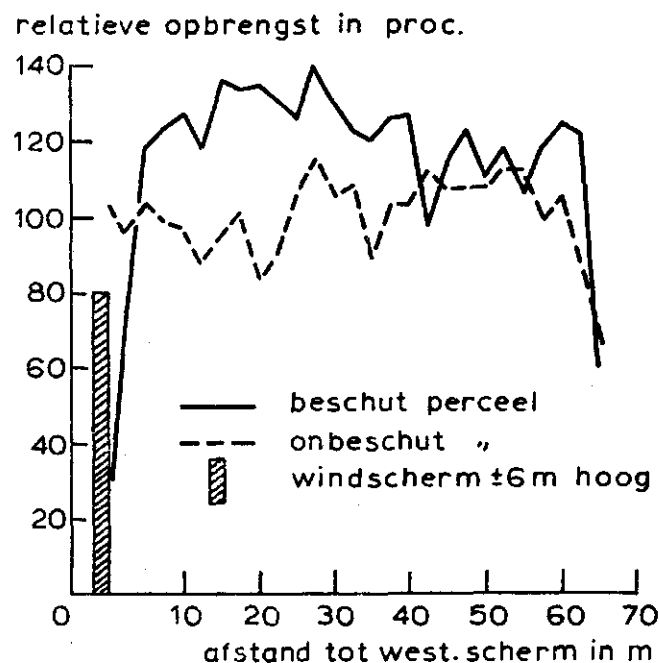


Fig. 31. Relatieve opbrengst van aardappelen (1952) op een door windschermen beschut perceel en een onbeschut perceel. Gemiddelde opbrengst van het onbeschutte perceel is op 100% gesteld (naar: BENDER, 1955)

In hoeverre de opbrengsten van de percelen met windschermen vergeleken mogen worden met die van percelen zonder windschermen kan niet beoordeeld worden omdat bodem vruchtbaarheidsfactoren van de met elkaar vergeleken percelen niet in beschouwing zijn genomen. Ondanks de bovengenoemde onzekerheden lijkt windbeschutting in dit gebied en op deze gronden een gunstige invloed op de opbrengsten van landbouwgewassen te hebben.

Door HANKE en KAISER (1956) zijn opbrengstmetingen verricht op een proefbedrijf te Wahn bij Keulen. Het betrof een perceel van 8 ha bestaande uit zandige leem tot een diepte van 70 à 100 cm. Op het perceel werden suikerbieten verbouwd en midden op het perceel is in de lengterichting (noord noordwest-zuid zuidoost) een kunstmatig windscherm van 2,5 m hoog, 200 m lang en een doorlatendheid van 50% geplaatst. Zowel aan de westkant (loefzijde) en de oostzijde

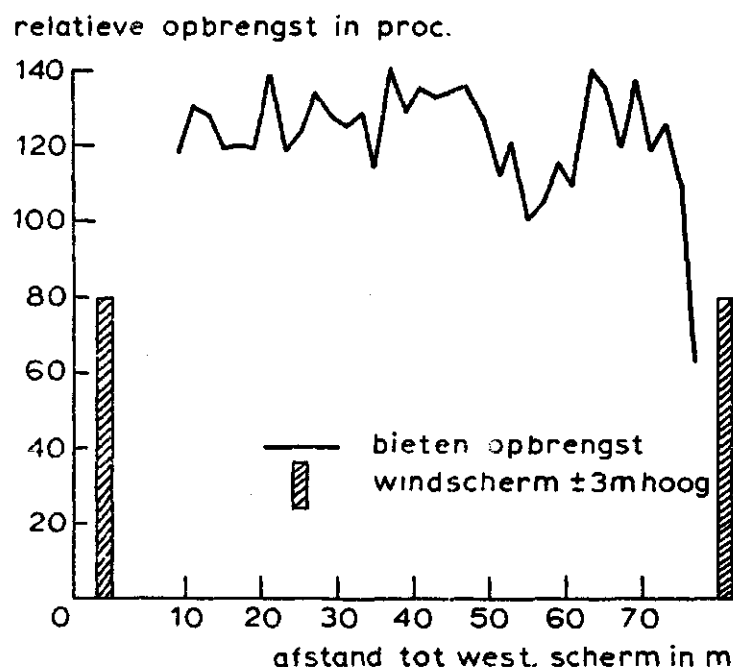


Fig. 32. Relatieve opbrengst van suikerbieten (1952) op een door windschermen beschut perceel. Laagste opbrengst is op 100% gesteld (naar: BENDER, 1955)

(lijzijde) als naast het scherm zijn op regelmatig toenemende afstand van het scherm steeds 4 keer 10 m van een rij gerooid en gewogen. De resultaten van deze metingen zijn voor de bieten in tabel 5 weergegeven.

Aan de oostkant van het scherm waren de opbrengsten zowel in het beschutte als in het onbeschutte gebied hoger dan aan de westkant. De gemiddelde opbrengsten van de proefveldjes waren aan de oostkant in het beschutte gedeelte 96,8 kg per 4 rijen van 10 m en in het vergelijkingsveld 96,9 kg per 4 rijen van 10 m. Uit deze cijfers blijkt geen beschuttingseffect. Wordt de beschutte oostkant tot 18 h vergeleken met de gemiddelde opbrengst van 90,7 kg per 4 rijen van 10 m op de vergelijkingsveldjes op de westelijke perceelshelft, zoals de auteurs hebben gedaan dan leidt dit tot een positief beschuttingseffect van circa 7%. Of dit een juiste vergelijking is is twijfelachtig omdat ook in de beschutte zone

Tabel 5. De gesommeerde opbrengsten van de vier herhalingen bij suikerbieten in kg per 4 rijen van 10 m (naar HANKE en KAISER, 1956)

Westkant van het scherm (loefzijde)											
Afstand tot scherm	30	24	21	18	15	12	9	6	3	1h	Totaal
Proefveldjes	105,8	93,6	94,5	92,6	96,4	91,1	85,0	105,0	87,9	80,2	932,1
Vergelijkingsveldjes	105,4	80,0	93,6	86,6	71,7	107,2	95,6	90,6	82,8	93,4	906,9
Oostkant van het scherm (lijzijde)											
Afstand tot scherm	1	3	6	9	12	15	18	21	24	30h	Totaal
Proefveldjes	88,0	101,4	100,7	107,8	107,3	96,2	97,2	80,3	94,7	94,5	968,1
Vergel.-veldjes	98,6	95,9	89,4	90,6	105,1	105,3	89,8	94,3	91,1	108,9	969,0

aan de loefzijde een lagere opbrengst werd gevonden, namelijk 93,2 kg per 4 rijen van 10 m. Dat de westelijke perceelshelft een lagere opbrengst gaf dan de oostelijke helft, kan veroorzaakt zijn door verschil in bodemvruchtbaarheid, bijvoorbeeld doordat een dergelijk groot perceel (8 ha) in de voorgaande jaren als twee of meer-gewaspercelen is gebruikt, hoewel de schrijvers hierover niets vermelden.

Het vergelijken van opbrengsten die op dezelfde perceelshelft zijn verbouwd geeft waarschijnlijk een meer betrouwbare uitkomst. Aan de oostkant van het scherm kan voor het traject van 1 tot 18 h een verhoging van 3,6% worden berekend, welke echter over het traject van 18 tot 30 h weer volledig te niet wordt gedaan. Volgens de schrijvers zou het vergelijkingsveld hier nog enige beschutting van het windscherm hebben kunnen ondervinden. Dit argument is gezien de ligging van het proefveld weinig overtuigend. Aan de westkant kan over het hele traject een verhoging van 2,8% worden berekend. Deze meeropbrengst is echter volledig toe te schrijven aan het traject 15-30 h. De door de schrijvers getrokken conclusie van circa 7% meeropbrengst tengevolge van windbeschutting moet als veel te optimistisch worden beoordeeld. Een schatting van de opbrengst-

verhogende invloed van 0-3% is beter verantwoord. De invloed van windbeschutting op het suikergehalte bleek niet duidelijk aantoonbaar te zijn.

Op hetzelfde perceel hebben HANKE en KAISER (1957) opbrengstmetingen verricht bij granen. Op de westelijke perceelshelft werd haver verbouwd en op de oostelijke perceelshelft mengteelt haver/gerst. Op de scheiding van de twee teelten werd het kunstmatige windscherm weer in de lengterichting van het perceel en daarmee loodrecht op de overwegend W-ZW windrichting geplaatst. Van beide teelten werden de opbrengsten van proefveldjes van 5 m² die op regelmatig toenemende afstanden van het scherm verwijderd lagen in viervoud gemeten. Als vergelijkingsobject zijn van een gelijkwaardige reeks proefveldjes, die naast het scherm waren gelegen, de opbrengsten bepaald. In tabel 6 zijn de resultaten van deze metingen gegeven.

Tabel 6. De gesommeerde korrelopbrengsten van de vier herhalingen bij granen in kg per 4 veldjes van 5 m² (naar HANKE en KAISER, 1957 tabel 1)

Afstand tot scherm	Gewas haver aan de westkant van het scherm (loefzijde)										Totaal
	30	24	21	18	15	12	9	6	3	1h	
Proefveldjes	9,75	10,40	9,55	10,35	10,85	9,80	10,95	10,60	9,65	10,35	102,25
Vergel.-veldjes	8,10	9,05	10,10	9,80	9,45	9,45	9,60	9,10	9,90	9,05	93,60
Afstand tot scherm	Mengteelt haver/gerst aan de oostkant van het scherm (lijzijde)										Totaal
	1	3	6	9	12	15	18	21	24	30 h	
Proefveldjes	9,80	8,55	8,95	9,10	9,50	9,95	9,10	8,65	9,60	9,45	92,65
Vergel.-veldjes	9,25	9,35	8,95	9,05	9,00	9,15	8,55	10,25	9,80	9,80	93,15

Aan de westkant van het scherm was de korrelopbrengst bij het gewas haver op de proefveldjes circa 9% hoger dan op de vergelijkingsveldjes. Aan de oostkant van het scherm waren de korrelopbrengsten van de proefveldjes en de vergelijkingsveldjes nagenoeg gelijk.

Dat aan de beschutte oostkant geen opbrengstverhoging werd geconstateerd is volgens de schrijvers veroorzaakt door de overwegend oostelijke wind in juli dit wil zeggen tijdens de afrijping. De meeropbrengst aan de westkant van het scherm zou hiermee verklaard kunnen worden.

Bij de beoordeling van deze resultaten moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het gewas zeer onregelmatig was hetgeen toegeschreven wordt aan plaatselijk veel rijden tijdens de bietenoogst in de vorige herfst en aan het plaatselijk blijven liggen van bietenblad.

Eveneens in 1955 hebben HANKE en KAISER (1957) opbrengstmetingen bij suikerbieten uitgevoerd. Het proefperceel van 7,5 ha groot lag bij Düren (tussen Keulen en Aken). De bodem bestond uit een dikke laag löss. Bijna loodrecht op de overheersende windrichting stond aan de WZW-kant van het perceel een windscherm van 8 m hoog en 7 m breed. In een raai loodrecht op het windscherm zijn op regelmatig toenemende afstand tot het scherm steeds 2 rijen van 5 m in viervoud gerooid en gewogen. De resultaten van deze opbrengstmetingen staan vermeld in tabel 7.

Tabel 7. De gesommeerde bietenopbrengsten (s) van de 4 herhalingen bij suikerbieten in kg per 4 x 2 rijen van 5 m (naar HANKE en KAISER, 1957 tabel 3)

Afstand tot het scherm in h (schermhoogte)											
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	
s	124,75	113,48	106,90	115,60	114,20	107,20	103,02	114,58	112,58	106,92	107,04
vervolg afstand tot het scherm											
28	32	36	40	44	48	52	56	60			
105,24	102,94	100,10	104,00	111,40	101,12	108,50	108,00	104,34			

De schrijvers hebben het traject van 32 tot 60 h beschouwd als het nul-object. De opbrengsten van het traject van 2 tot 28 h zijn

vergeleken met de opbrengsten van dit nul-object. Gemiddeld bleek over het traject 2 - 28 h de opbrengst 5,6% hoger te zijn dan van het nul-object. Voor het traject 2 - 18 h bleek de opbrengst 7,1% hoger te zijn dan op het nul-object. Het suikergehalte van de bieten bleek in het beschutte gedeelte eveneens hoger te zijn. De totale suikeropbrengst zou hierdoor in het beschutte gedeelte tot 18 h gemiddeld 10,1% en tot 28 h gemiddeld 8,5% hoger zijn dan op het nul-object. Volgens de schrijvers is deze meeropbrengst toe te schrijven aan de beschuttende werking van het windscherm.

Op de Schwäbische Alb (+ 750 m boven de zeespiegel) heeft MARTIN (1963) in de jaren 1958 t/m 1960 opbrengstmetingen bij blijvend grasland verricht. Het perceel bestond uit een ontkalkte humeuze grond. Het kunstmatige scherm, dat voor 50% doorlatend en 2,20 m hoog was, werd loodrecht op de overheersende windrichting in noordzuidrichting op het perceel opgesteld. De opbrengsten zijn in viervoud bepaald op proefplekken van 3 x 8 m waarvan de eerste proefplek op 3 m van het scherm lag en de volgende proefplekken op onderlinge afstanden van 5 m. Zo werden de opbrengsten van vier proefplekken aan de westkant, 6 proefplekken aan de oostkant en 4 proefplekken op 30 meter naast het scherm - als vergelijkings-object - bepaald. In 1958 en 1960 zijn jaarlijks 2 sneden geoogst en in 1959 3 sneden. De totale jaarlijks gemeten opbrengsten zijn in tabel 8 relatief weergegeven, waarbij het gemiddelde van alle proefplekken op 100% is gesteld.

Bij een overwegend westelijke wind kon men een beschuttingseffect aan de oostkant van het scherm verwachten. Zoals uit tabel 8 blijkt moet echter van een negatief beschuttingseffect van circa 10% gesproken worden. Het is echter de vraag of niet andere factoren de groei en de opbrengst van het gewas zodanig hebben beïnvloed dat deze duidelijk negatieve beschuttings invloed gemeten kon worden.

Tabel 8. Relatieve grasopbrengsten in de jaren 1958, 1959 en 1960
(naar MARTIN 1963, tabel 2, 4 en 5)

Proefveld nummer	Afstand tot scherm (m)	1958	1959	1960
1	27	101,4	114,4	93,5
2	19	98,2	117,0	110,4
3	11	101,7	99,6	90,9
4	3	103,2	108,1	94,7
scherm				
5	3	105,2	107,3	93,3
6	11	89,9	82,1	106,0
7	19	85,5	89,1	98,2
8	27	91,6	86,8	94,9
9	35	91,7	87,3	100,0
10	43	94,4	92,2	105,5
vergelijkingsobject				
11		107,4	110,6	102,1
12		112,8	106,6	106,8
13		106,1	98,9	101,6
14		111,0	100,1	102,3
Gem.dr.st.opbr. kg/ha		7834	5848	6950

In de omgeving van Nordenham aan de monding van de Weser hebben BÄTJER, NESS, FEISE en VON LÜCKEN (1967) metingen verricht met kunstmatige windschermen. Hiertoe hadden zij een intensief gebruikt grasland perceel (half gedraineerd en half ongedraineerd) op het proefbedrijf 'Domäne Infeld', een extensief gebruikt grasland en een bouwland-perceel (beide ongedraineerd) op een nabij gelegen bedrijf en een gedraineerd bouwland-perceel bij Seefeld - op 10 km afstand - uitgekozen.

Van 1958 tot en met 1964 zijn opbrengstmetingen verricht, ofschoon het extensief gebruikt perceel na 1960 afviel en voor het ongedraineerd bouwland-perceel in 1962 een ander gelijkwaardig perceel

gevonden moest worden. De bodem bestond bij alle percelen uit zeeklei met een humeuze, kruimelige bouwvoor van circa 25 cm. Deze bouwvoor lag op een vrij dichte fijnzandige klei ondergrond, waarin de wortels slecht doordrongen. Op een diepte tussen de 50 en 100 cm ging het profiel over in een kalkhoudende ondergrond. Bij het keizen van de proefveldjes hebben BÄTJER c.s. geen rekening gehouden met verschillen in bodemvruchtbaarheid omdat volgens hen bij maritieme afzettingen slechts zelden gelijksoortige bodemverhoudingen te vinden zijn. Deze kleine bodemverschillen kunnen eventueel enige invloed op de meetresultaten gehad hebben, alhoewel dit volgens de schrijvers bij de opbrengstmetingen niet duidelijk geconstateerd kon worden. Voor het windscherm heeft men gebruik gemaakt van cocosmatten met 50% doorlatendheid. Dit 2,65 m hoge windscherm werd zodanig opgesteld dat het gewas zoveel mogelijk beschermd werd tegen de overwegend westelijke winden. Bij de intensief gebruikte grasland percelen stond het scherm op circa 60 m vanaf de westkant van het perceel in de richting NNO-ZZW. Bij het extensief gebruikt grasland perceel was het windscherm eveneens in de richting NNO-ZZW geplaatst maar nu midden op het perceel. De proefveldjes waren in een raai loodrecht op het scherm over de percelen gelegd. De opbrengstmetingen zijn in zesvoud verricht en per jaar gemiddeld. Van de zeven respectievelijk drie gemiddelde jaaropbrengsten is per perceel het verloop van de gemiddelde opbrengst over deze jaren berekend. De resultaten hiervan zijn grafisch weergegeven in fig. 33.

Bij de beide intensief gebruikte grasland-percelen bleek de opbrengst van west naar oost geleidelijk af te nemen met circa 5% per 100 meter. De opbrengst van het meest oostelijke proefveldje, dus op circa 120 m (45 h) ten oosten van het scherm, is beschouwd als de vrije veld opbrengst. Terwijl van alle andere veldjes werd geacht dat ze binnen de invloedssfeer van het scherm lagen. De meeropbrengsten die hier gemeten en berekend zijn, zijn volledig toegeschreven aan de windbeschuttende werking van het windscherm. Worden echter de opbrengsten per jaar grafisch uitgezet dan is het verband tussen de in dat jaar overwegend geheerst hebbende wind-

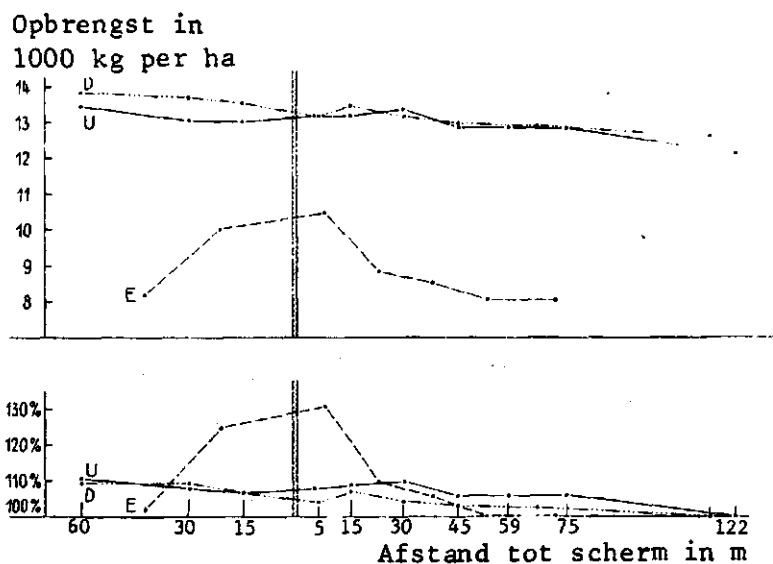


Fig. 33. Gemiddelde grasopbrengsten aan droge stof op de intensief gebruikte percelen D (gedraineerd) en U (ongedraineerd) over de jaren 1958 t/m 1964 en op het extensief gebruikte perceel E over de jaren 1958 t/m 1960. Bij de relatieve opbrengsten zijn de meest oostelijke veldjes als nul-object beschouwd (naar BÄTJER c.s., 1967)

richting en het opbrengstverloop moeilijk te vinden. Nog moeilijker wordt het als de opbrengst van elke snede wordt vergeleken met de overheersende windrichting gedurende de betreffende groeiperiode. De van west naar oost afnemende opbrengst doet vermoeden dat een verloop in de bodemvruchtbaarheid mede van invloed is geweest, terwijl de grote schommelingen in de opbrengsten per snede ook op invloed van andere factoren wijzen.

Over de door BÄTJER c.s. genoemde meeropbrengsten van 6,2% en 10,9% voor 30 m aan elke kant van het scherm voor respectievelijk gedraineerd en ongedraineerd intensief gebruikt grasland kunnen dan ook ernstige twijfels worden uitgesproken. Bij extensief gebruikt grasland is rond het scherm duidelijk een hogere opbrengst gemeten dan op grotere afstand van het scherm. Over een beschutte strook van circa 40 meter voor tot circa 50 meter achter het scherm werd een meeropbrengst van 13,7% berekend. Het is bij dit perceel echter jammer dat een gedeelte van het nulveldje zo dicht bij de

perceelssloot lag. Het is namelijk bekend dat de opbrengsten op perceelskanten kunnen afwijken van de opbrengsten midden op het perceel.

Op het ongedraineerde bouwlandperceel was het scherm opgesteld langs de westkant van het perceel. In de jaren 1958 tot en met 1960 zijn bij respectievelijk wintertarwe, wintergerst en mengteelt (haver/bonen) opbrengstmetingen verricht. De proefveldjes ter grootte van 25 m^2 lagen in een raai loodrecht op het windscherm. Van de in zesvoud gemeten opbrengsten zijn de gemiddelden grafisch weergegeven in fig. 34.

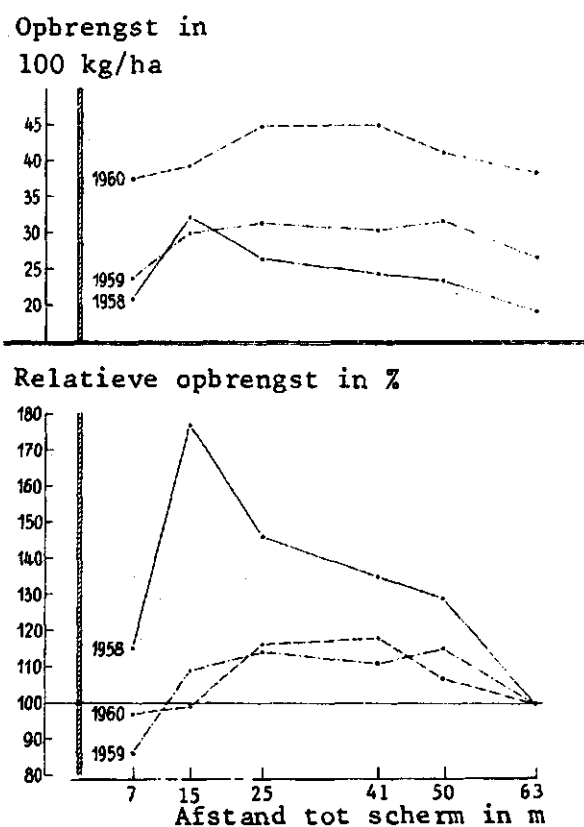


Fig. 34. De gemiddelde korrel (bonen) opbrengsten op het ongedraineerde bouwlandperceel van de gewassen wintertarwe (in 1958), wintergerst (in 1959) en haver/bonen mengteelt (in 1960). Bij de relatieve opbrengsten zijn de meest oostelijke veldjes als nul-objecten beschouwd (naar BÄTJER c.s., 1967)

BÄTJER c.s. berekenden bij wintertarwe een opbrengstverhoging van 4,7% voor de beschutte zone van 15 - 50 m (6-19 h). Bij wintergerst berekenden ze voor dezelfde strook een opbrengstverhoging van 12% en bij mengteelt (haver/bonen) 10%. Bij de berekeningen zijn de gemeten opbrengsten van het proefveldje dat het dichtst bij het scherm lag niet in de berekeningen opgenomen omdat de hier gemeten lage opbrengsten onder andere veroorzaakt zouden kunnen zijn door de nawerking van de nabij gelegen gedempte sloot. Gezien de nulveldjes eveneens gedeeltelijk op een perceelskant naast een sloot lagen kan men zich afvragen in welke mate de geschetste opbrengstverhogingen toegeschreven mogen worden aan de windbeschuttende werking van het windscherm.

Na 1960 was het perceel niet meer beschikbaar en is een ander eveneens niet gedraineerd bouwlandperceel gevonden waarop in 1962 de metingen konden worden voortgezet. Dit betrof een langwerpig perceel waarvan de lengterichting NW-ZO was gericht. Om toch een gedeelte van het gewas tegen de overheersende westelijke winden te kunnen beschermen werd het scherm langs de korte zijde op het noordwesten en langs een derde van de lange zijde op het zuidwesten geplaatst. De proefveldjes, die in twee raaien in de lengterichting van het perceel werden uitgezet, werden gedeeltelijk wel en gedeeltelijk niet door het scherm langs de lengtekant beschut. De niet beschutte veldjes zijn als nulveldjes beschouwd. Van de in 1962 verrichte opbrengstmetingen bij mengteelt (haver/bonen) met een opbrengstniveau van 4390 kg per ha kon voor het beschutte gedeelte een meeropbrengst van 4,3% worden berekend. Van de opbrengsten in 1963 bij wintergerst zijn vanwege de grote spreiding in de gemeten opbrengsten geen beschuttingsinvloeden berekend. Van de in 1964 verrichte opbrengstmetingen bij haver kon bij een opbrengstniveau van 2960 kg per ha voor het beschutte perceelsgedeelte een meeropbrengst worden berekend van 42,6%.

Het laatste bouwlandperceel was gedraineerd. Het windscherm was opgesteld langs de WNW perceelskant. De proefveldjes van 25 m² lagen weer in een raai loodrecht op het windscherm. In 1958 werden storende bodemverschillen vastgesteld waardoor de opbrengstmetingen hebben plaatsgevonden in de jaren 1959 tot en met 1964. De in zesvoud

gemeten opbrengsten zijn weer per jaar gemiddeld, welke in fig. 35 grafisch zijn weergegeven.

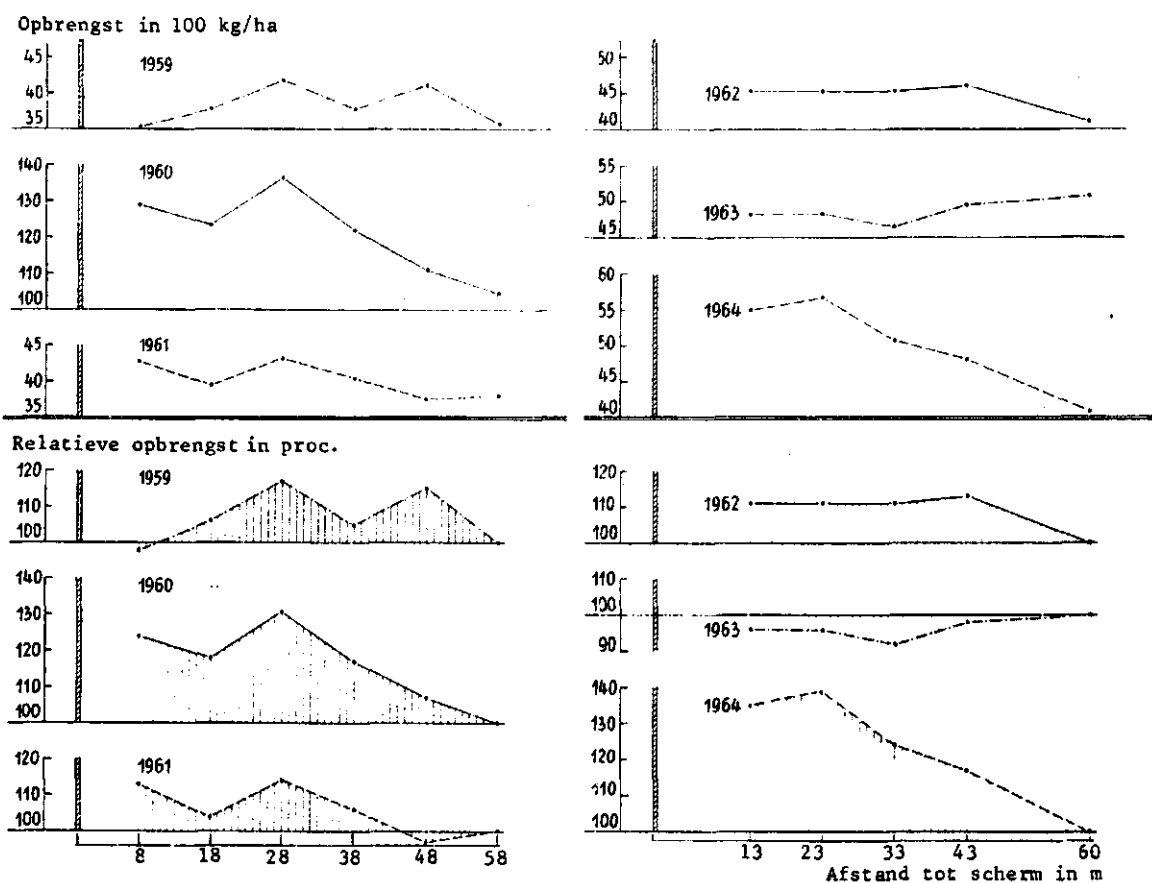


Fig. 35. De gemiddelde opbrengsten op het gedraineerde bouwland-perceel van de gewassen wintergerst (in 1959 en 1962), bieten (in 1960), zomertarwe (in 1962 en 1964) en haver/bonen mengteelt (in 1963). Bij de relatieve opbrengsten zijn de meest oostelijke veldjes als nul-objecten beschouwd (naar BÄTJER c.s., 1967)

Uitgezonderd 1963 werden in alle jaren duidelijke meeropbrengsten gemeten tot circa 45 m (17 h) vanaf het scherm. In 1959 werd bij wintergerst met een opbrengstniveau van 3600 kg per ha voor een beschutte zone van 48 m een gemiddelde meeropbrengst van 8% berekend. In 1960 werd voor dezelfde zone bij bieten (opbrengstniveau 10440 kg per ha) een gemiddelde meeropbrengst van 19% berekend. In 1961 was

de opbrengstverhoging bij zomertarwe (opbrengstniveau 3800 kg per ha) 7%. Voor wintergerst werd in 1962 bij een opbrengstniveau van 4100 kg per ha een gemiddelde meeropbrengst van 11% over een beschutte zone van 43 m berekend. De mengteelt (haver/bonen) vertoonde in 1963 een lagere opbrengst in de beschutte zone. Gemiddeld bleek de opbrengst in de beschutte zone tot 43 m circa 5% lager te liggen dan de opbrengst van 5070 kg per ha op de nulveldjes. In 1964 kon bij zomertarwe een meeropbrengst van 29% over de beschutte zone worden berekend.

KING (1970) heeft metingen verricht op lössgrond in de omgeving van Düren (tussen Keulen en Aken). Het betrof hier een vlak gebied waarin in 1950 windschermen zijn geplant. Deze windschermen bestonden uit 1 à 3 rijen populieren met daaronder struiken. De onderlinge afstand tussen de schermen bedroeg 460 m (27 h). Tussen twee parallel NNW-ZZO richting staande windschermen zijn van het gewas suikerbieten opbrengstmetingen verricht. De proefveldjes (een rij van 5 m) lagen in een raai loodrecht op het windscherm en zijn in vijfvoud geoogst. De proefveldjes zijn per beschuttingszone gegroepeerd, waarna de opbrengsten zijn gemiddeld. De resultaten hiervan zijn gegeven in tabel 9.

Tabel 9. Gemiddelde opbrengsten per beschuttingszone in 1968 in kg per rij van 5 m (naar KING, 1970)

Vak	Afst. tot West-scherm m	Scherm-invloed	Bieten-opbrengst	Suiker-gehalte %	Suiker-opbrengst
A	0- 30	veel schaduw. beschut	12,89	13,65	1,76 +
B	30-200	geen schaduw. matig beschut	14,65	14,69	2,15
C	200-420	geen schaduw. zwak beschut	14,54	14,29	2,08
D	420-460	weinig schaduw. matig beschut	14,32	13,00	1,86

Omdat vak D slechts op 20 m van het oostelijke windscherm lag is vak C als nulobject beschouwd hoewel de opbrengsten van dit vak gelden voor het traject van 12 tot 25 h vanaf het westelijke windscherm. De bietenopbrengst van de beide vakken bleek weinig te verschillen terwijl het suikergehalte in vak B iets hoger was (14,65% tegen 14,29%). Dit geringe verschil is volgens KING veroorzaakt doordat gedurende het groeiseizoen de windrichting overwegend parallel aan de windschermen was gericht. Omdat de lagere opbrengsten direct langs de windschermen slechts betrekking hadden op een kleine oppervlakte meende KING toch een totale meeropbrengst aan suiker van circa 3% tengevolge van windschermen te mogen berekenen.

5.4. N a b e s c h o u w i n g

Doordat de windschermen de windsnelheid afremmen wordt het micro-klimaat achter of tussen de windschermen beïnvloed. Van het veranderde micro-klimaat zou men een gunstige uitwerking op de groei van landbouwgewassen kunnen verwachten. Uit diverse onderzoeken blijkt echter niet dat algemeen gezegd kan worden dat windschermen een opbrengstverhogende invloed hebben. De gevonden resultaten wisselden bij enkele onderzoekers per jaar en per gewas zeer sterk. Op goede vochthoudende gronden vond JONKER (1954) gemiddeld geen duidelijke invloed van windschermen op de opbrengsten van granen. VAN RHEE (1959) dacht uit de toch ook sterk wisselende opbrengstcijfers (tabel 1) te kunnen concluderen dat windschermen op vochthoudende gronden in de kustprovincies voor landbouwgewassen van nut kunnen zijn. De West-Duitse onderzoekers BÄTJER c.s. (1967) hebben uit de opbrengstmetingen van een breed opgezet onderzoeksproject zeer duidelijke meeropbrengsten berekend, welke zij toeschrijven aan de windschermen. De ligging van de vergelijkingsveldjes en de interpretatie van de resultaten roepen wel enige twijfels op omtrent de juistheid van hun conclusie. HANKE en KAISER (1956 en 1957) concludeerden uit hun opbrengstmetingen in de omgeving van Keulen dat windschermen op zandige leemgronden een positieve invloed op de opbrengsten van landbouwgewassen hebben. Echter ook bij hun keuze van de vergelijkingsveldjes in 1954 (tabel 5) kan men vraag-

tekens plaatsen. KING (1970) heeft in dezelfde omgeving opbrengstmetingen verricht waaruit bij suikerbieten een positieve invloed van circa 3% aan suikeropbrengst over de strook van 30-200 m vanaf het scherm is berekend. De door MARTIN (1963) verrichte opbrengstmetingen bij gras op de Schwäbische Alb vertonen in de door windschermen beschutte zone duidelijk een lagere opbrengst dan op de vergelijkingsveldjes (tabel 8). Of dit toegeschreven mag worden aan de geplaatste windschermen is onwaarschijnlijk. De veronderstelling dat andere factoren, zoals bodemvruchtbaarheid, hier hun invloed hebben doen gelden lijkt terecht.

Tenslotte zijn op zeer lichte stuifgevoelige zandgronden (huidige of voormalige asperge velden) zowel in Nederland (VAN RHEE en BAKKER, 1967) en HELLINGS, 1967) als in West-Duitsland (BENDER, 1955) opbrengstmetingen verricht. Ofschoon de resultaten ook op deze gronden per jaar en per gewas sterk varieerden ontstaat toch de indruk dat de gewassen gemiddeld gunstig reageerden op de windbeschutting door windschermen.

Uit de in het voorgaande beschreven onderzoeken is het moeilijk om een algemeen geldende conclusie te trekken. De resultaten wekken sterk de indruk dat naarmate de groeiomstandigheden slechter zijn de positieve invloed van windschermen op de opbrengsten duidelijker is. Op de lichte en stuifgevoelige gronden mag dan ook eerder invloed van windschermen worden verwacht dan op goede vochthoudende gronden. Een algemene conclusie dat in Nederland windschermen een opbrengstverhogende invloed op landbouwgewassen hebben is zeer voorbarig. De bij sommige onderzoekers geconstateerde neiging om de gevonden meeropbrengsten in de beschutte zone zonder meer toe te schrijven aan de werking van de windschermen en de gevonden lagere opbrengsten in de beschutte zone te wijten aan andere factoren, bijvoorbeeld bodemvruchtbaarheid, kan inconsequent worden genoemd.

6. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Omdat bij de herinrichting van het platteland steeds meer aandacht wordt geschonken aan het sparen eventueel uitbreiden van groenelementen

is getracht aan de hand van bestaande literatuur het inzicht omtrent de invloed van houtopstanden op de aangrenzende landbouwgewassen te vergroten. In deze nota is vooral aandacht besteed aan de windremmende werking van windschermen en het effect daarvan op het microklimaat en de opbrengsten van landbouwgewassen.

Uit diverse onderzoeken is gebleken dat bij dichte windschermen turbulente luchtstromingen direct voor en achter de schermen ontstaan. Bij permeabele windschermen blijken deze turbulente stromingen veel minder op te treden. Weliswaar is de intensiteit van de beschutting kleiner maar de breedte van de beschutte zone is groter (fig. 3, 4 en 5). In het algemeen worden windschermen met $\pm 40\%$ geometrische openingen als de meest efficiënte windschermen beschouwd. De openingen moeten dan wel regelmatig over de hele hoogte van de windschermen zijn verdeeld. Onderbrekingen in windschermen fungeren als zogenaamde tochtgaten, waardoor de beschuttende werking van de schermen aanzienlijk wordt verkleind (fig. 7, 8 en 9). Omtrent de meest efficiënte breedte van de windschermen zijn de meningen verdeeld, maar aangezien brede windschermen (zoals boscomplexen) zullen fungeren als dichte schermen ontstaat de indruk dat de windbeschuttende werking minder groot zal zijn (fig. 10). Wanneer de windschermen loodrecht op de windrichting staan is de breedte van de beschutte zone het grootst. Staat de windrichting schuin op het scherm dan kunnen vooral bij dichte schermen direct achter het scherm grotere windsnelheden dan de vrije windsnelheid ontstaan (fig. 12). Ook de breedte van de beschutte zone neemt snel af naarmate de windrichting schuiner op het scherm staat (fig. 13). De verwachte cumulatieve werking van meerdere parallel achter elkaar staande windschermen wordt volgens diverse onderzoekers niet bewaarheid. Er ontstaan turbulente luchtbewegingen waardoor vooral bij dichtopéénstaande schermen de maxima tussen de schermen eerder iets toenemen (fig. 15).

Doordat vele micro-klimatologische factoren mede beïnvloed worden door de luchtbewegingen ondergaat het micro-klimaat veranderingen tengevolge van windschermen. Bij een kleinere windsnelheid is er minder vermenging van luchtlagen waardoor de temperatuur in de onderste luchtlagen in de luwte van de windschermen overdag 1 à 2°C hoger kan zijn, maar 's nachts bij onbewolkte hemel kan de

temperatuur daar lager zijn dan in het open veld. De kans op nachtvorst kan hierdoor enigszins worden vergroot. De bodemtemperatuur kan in de luwte enkele graden hoger zijn dan in het open veld. Dit kan 's nachts nog enigszins merkbaar zijn. Door schaduwwerking bij vooral oost-west lopende schermen kan in de schaduwstrook een lagere lucht- en bodemtemperatuur ontstaan. De verdamping en de transpiratie zal tengevolge van de lagere windsnelheid in de luwte eveneens lager zijn (fig. 16 en 17). De invloed van windschermen op de gemiddelde luchtvochtigheid is gering. Het vochtgehalte van de bodem direct naast levende schermen is tengevolge van wateronttrekking door de wortels aanzienlijk lager (fig. 18). Daarentegen is op grotere afstand van het scherm tengevolge van de kleinere verdamping het vochtgehalte in de bovenste lagen iets hoger. Door de windremmende werking van windschermen kan in de luwte een regenschaduw ontstaan; de totale neerslag in een gebied verandert hierdoor echter niet (fig. 19).

In hoeverre deze kleine veranderingen in het micro-klimaat merkbaar zijn in de opbrengsten van landbouwgewassen is door diverse onderzoekers onderzocht. Omdat voor Nederland alleen de resultaten van met Nederland overeenkomstige gebieden van belang zijn heeft de literatuurstudie voor dit hoofdstuk zich beperkt tot Nederland en de omringende landen. De in de Noord-oostpolder en in Zeeland verrichte onderzoeken gaven zeer wisselende resultaten (fig. 20 t/m 24 en tabel 1). De in de Noord-oostpolder verkregen resultaten zijn volgens de betreffende onderzoeker niet van dien aard dat het aanbrengen van windschermen zinvol werd geacht, terwijl de onderzoeker in Zeeland uit eveneens sterk wisselende gegevens meende te mogen concluderen dat windschermen in dit gebied van nut kunnen zijn voor landbouwgewassen. Op de stuifgevoelige zandgronden in Limburg waren de opbrengstgegevens eveneens zeer verschillend (fig. 25 t/m 29 en tabel 2). Toch lijken de landbouwgewassen op deze gronden gunstig op windbeschutting te reageren. Op een eveneens sterk stuifgevoelige zandgrond in Duitsland (tussen Hannover en Braunschweig) zijn overeenkomstige resultaten verkregen (fig. 30 t/m 32). Uit op een zandige leemgrond nabij Keulen verkregen resultaten hebben de onderzoekers positieve beschuttingseffecten menen

te mogen concluderen (tabel 5 t/m 7). Bij deze conclusie zijn wel enige vraagtekens te plaatsen, omdat hier en daar twijfels rijzen ten aanzien van de keuze van de vergelijkingsobjecten en de daarop gebaseerde interpretatie van de meetresultaten.

De op de Schwäbische Alb ($\pm$ 750 m boven zeespiegel) verkregen resultaten doen een duidelijk negatief beschuttingseffect vermoeden (tabel 8)¹. De lagere opbrengsten in de beschutte zone kunnen echter evengoed door andere factoren (zoals verschil in bodemvruchtbaarheid) zijn veroorzaakt. Bij Nordenham (aan de monding van de Weser) in Duitsland is op drassige kleigronden een uitgebreid windbeschuttingsonderzoek uitgevoerd. De resultaten hiervan gaven volgens de onderzoekers bij de landbouwgewassen duidelijk positieve beschuttings-effecten te zien (fig. 33 t/m 35). Ook bij dit onderzoek doen de interpretatie van de gegevens en de plaats van de vergelijkingsveldjes enkele twijfels rijzen omtrent de juistheid van de conclusies. Tenslotte is op lössgrond nabij Keulen bij suikerbieten in de beschutte zone een totale meeropbrengst aan suiker van circa 3% gevonden.

Worden de resultaten van alle onderzoeken in zijn totaliteit bekeken dan blijkt dat deze resultaten zeer sterk variëren. De gewassen reageren zeer verschillend op beschutting; ook de klimatologische groeiomstandigheden wisselen per jaar zeer sterk en zoals enkele onderzoekers hebben vermeld kunnen verschillen in bodemvruchtbaarheid zelfs op één perceel de resultaten sterk vertroebelen. Verder schijnt de behoefte aan windbeschutting niet op alle gronden gelijk te zijn. Op stuifgevoelige zandgronden (asperge percelen) lijken de gewassen gunstig te reageren op windbeschutting, alhoewel dit van jaar tot jaar en per gewas sterk kan verschillen. Op vochthoudende gronden is de behoefte aan windbeschutting aanzienlijk kleiner tot nihil.

Voor een effectieve windbeschutting moeten de windschermen de juiste dichtheid hebben en goed worden onderhouden. Slecht onderhouden schermen die te dicht worden of waarvan de winddoorlatendheid te groot wordt of schermen waarin gaten zijn gevallen functioneren niet optimaal waardoor de verwachte meeropbrengsten worden te niet

gedaan. Verder kan men niet volstaan met enkele loodrecht op de overheersende windrichting staande schermen. De windrichting varieert zo sterk dat wil men het micro-klimaat verbeteren de windschermen rondom de percelen moeten worden aangebracht, hetgeen aanzienlijk meer grondverlies oplevert.

LITERATUUR

- BATES, C.G. 1944. The windbreak as a farm asset. U.S. Dept. Agric., Farmers' Bull. no. 1405: 1-19.
- BÄTJER, D. und J. FEISE. 1962. Windschutzversuche in der Wesermarsch. Die Holzzucht 16,1/2: 1-4.
- BÄTJER, D., R. NESS, J. FEISE und J. VON LÜCKEN. 1967. Windschutz in der Landwirtschaft. Teil 1: Ergebnisse von Untersuchungen in der Wesermarsch. Aktuelle Fragen des Landbaues 2. Paul Parey, Berlin en Hamburg.
- BENDER, M. 1955. Einfluss des Windschutzes auf den Bodenertrag. Mitt. dtsh. Landwirtsch. Ges. 70.29: 767-770.
- BLENK, H. und H. TRIENES. 1956. Strömungstechnische Beiträge zum Windschutz. In: Grundlagen der Landtechnik 8. V.D.I. Verlag, Düsseldorf.
- CABORN, J.M. 1957. Shelterbelts and microclimate. Forestry comm., bull. 29, Londen.
- CULTUURTECHNISCHE DIENST. 1972. Herinrichting van het platteland, beknopt verslag over 1971. Cultuurtechnische Dienst, Utrecht.
- DIJKSTERHUIS, H.P. 1956. Ervaringen met windschermen in het noorden van ons land. De Fruitteelt 46,42: 979-981.
- EIMERN, J. VAN. 1961. Effects of windbreaks and shelterbelts (concept artikel). World Meteorological Organization, Genève, Zwitserland.
- GEORGE, E.J. 1971. Effect of tree windbreaks and slat barriers on wind velocity and crop yields. U.S. Dept. of Agric., Agric. Res. Serv., Prod. Res. Rep. 121.
- GLOYNE, R.W. 1954. Some effects of shelterbelts upon local and micro climate. Forestry 27,2: 85-95. Londen.
- GUYOT, G. 1963. Les brise-vent. Modification des microclimats et amélioration de la production agricole. Annls. agron. 14,4: 429-488.
- HAGEN, L.J. and E.L. SKIDMORE. 1971. Turbulent velocity fluctuations and vertical flow as affected by windbreak porosity. Transactions of the ASAE 14,4: 634-637.

- HANKE, E. und H. KAISER. 1956. Untersuchungen über den Einfluss eines künstlichen Windschutzstreifens auf den Ertrag von Zuckerrüben im Jahre 1954. Zeitschr. für Acker- und Pflanzenbau 102,1: 81-100.
- HANKE, E. und H. KAISER. 1957. Untersuchungen über die Auswirkungen von Windschutzstreifen auf den Ertrag von Hafer, Hafer-Gerste-Gemisch und Zuckerrüben im Jahre 1955. Zeitschr. für Acker- und Pflanzenbau 103,1: 90-110.
- HELLINGS, A.J. 1967. De invloed van de beschutting en bodemvruchtbaarheid op de opbrengsten van rogge en mengteelt in 1956, 1957 en 1958 en de invloed van de beschutting bij aardappelen en mais in 1956, 1957 en 1958. In: 10 jaren windsingelonderzoek in Grubbenvorst (L) 1950-1960. Comm. Agrar. Belangen in Limburg: 113-138.
- HILLE RIS LAMBERS, D. 1948. Enige bezwaren van windschermen. Maandbl. Landbouwwoorl. dienst 5,11: 536-538.
- JENSEN, M. 1954. Shelter effect. The Danish Techn. Press. Kopenhagen.
- JONKER, J.J. 1954. Resultaten van de proefnemingen met windschermen in de Noord-Oostpolder in de jaren 1947-1950. In: Langs gewonnen velden: 64-74. Wageningen.
- KAISER, H. 1959. Beiträge zum Problem der Luftströmungen in Windschutzsystemen. Meteor. Rundsch. 12,3: 80-87. Berlin.
- KARSCHON, R. 1958. Pennisetum purpureum comme brise-vent (pre-issue). Proc. Congr. Int. Un. For. Res. Organiz. 12th Congress, Oxford, 1956: 36-43.
- KING, E. 1970. Ökologisch-meteorologische Untersuchungen an Windschutzstreifen im nassen Sommer 1968. Agr. Meteorol. 7,3: 235-253.
- KREUTZ, W. und W. WALTER. 1956. Wind- und Strömungsverhältnisse im Bereich von Windschutzanlagen in Abhängigkeit vom Anblaswinkel und praktische Folgerungen - nach Untersuchungen im Windkanal. Zeitschr. für Acker- und Pflanzenbau 101,3: 279-290.
- LEWIS, T. 1968. Windbreaks, shelter and insect distribution. Span 11,3: 186-189.
- LINDE, R.J. VAN DER. 1958. Het probleem van de houtopstanden in het cultuurlandschap. Centr. voor Landbouwdoc. Lit. overz. nr. 21. Wageningen.

- LINDE, R.J. VAN DER. 1962. Trees outside the forest. In: Forest influences. FAO Forestry and Forest Products. Studies no. 15. Rome.
- LINDE, R.J. VAN DER. 1969. Voor en tegen van houtaanplanting in het landschap. Waterschapsbelangen 54,15: 257-265.
- LINDE, R.J. VAN DER en J.P.M. WOUTENBERG. 1946. Een methode ter bepaling van de breedte van een schaduw in verband met de tijd van het jaar en de oriëntatie van het beschaduwende object. Med. en Verhand. no. 52 KNMI.
- LINDE, R.J. VAN DER en J.P.M. WOUTENBERG. 1950. On the microclimatic properties of sheltered areas, the oak-coppice sheltered area. Med. en Verhand. no. 56 KNMI.
- MARTIN, K.H. 1963. Untersuchungen über die Wirkung des Windschutzes auf Dauergrünland. Zeitschr. für Acker- und Pflanzenbau 117,2: 196-207.
- NÄGELI, W. 1943. Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 23,1: 223-276.
- NÄGELI, W. 1946. Weitere Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 24,2: 659-737.
- NÄGELI, W. 1953a. Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 29,2: 213-266.
- NÄGELI, W. 1953b. Die Windbremsung durch einen grösseren Waldcomplex, ein Beitrag zum Problem der Schutzstreifenbreite bei Windschutzanlagen. Proc. Congr. int. Union For. Res. Organiz. Rome.
- NÄGELI, W. 1965. Über die Windverhältnisse im Bereich gestaffelter Windschutzstreifen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 41,5: 219-300.
- N.N. 1968. Shelter Belts for Farmland. Fix. equipm. of the farm. Leaflet 15, Min. Agr., Fish. and Food, London.
- NØKKENTVED, CHR. en C.E. FLENSBORG. 1938. Laevirkningsundersøgelser og Typebestemmelser af Laehegn. Hedeselsk. Tidsskr. 59,4: 80-136. Viborg.

- NØKKENTVED, CHR. en C.E. FLENSBORG. 1940. Fortsatte Laevirkningsundersøgelser. Hedeselsk. Tidsskr. 61,13: 362-422. Viborg.
- PEERLKAMP, P.K. en R.J. VAN DER LINDE. 1967. Bodemkundig onderzoek. In: 10 jaren windsingelonderzoek in Grubbenvorst (L) 1950-1960. Comm. Agr. Belangen in Limburg: 51-72.
- RHEE, J.A. VAN. 1959. Windbeschutting van cultuurgewassen, vooral onderzocht voor fruit. Meded. 43 ITBON, Arnhem.
- RHEE, J.A. VAN en A. BAKKER. 1967. De invloed van de beschutting op de opbrengsten van enige landbouwgewassen in 1955 en 1956. In: 10 jaren windsingelonderzoek in Grubbenvorst (L) 1950-1960. Comm. Agr. Belangen in Limburg: 108-112.
- SHAH, S.R.H. 1962. Studies on windprotection. Meded. 60 ITBON, Arnhem.
- SKIDMORE, E.L. and L.J. HAGEN. 1970. Evaporation in sheltered areas as influenced by windbreak porosity. Agr. Meteorol. 7,5: 363-374.
- STEUBING, L. 1956. Untersuchungen über die Konkurrenzwirkung von Gehölzwurzeln auf Ackerkulturen - der Einfluss von Eichen als Standbäume in Hecken. Plant and Soil 7,1: 1-25.
- STEUBING, L. 1960. Wurzeluntersuchungen an Feldschutzhecken. Zeitschr. für Acker- und Pflanzenbau 110,3: 332-341.
- STOECKELER, J.H. 1963. Shelterbelts and their effects on crop yields in the Great Plains. Journ. Soil Water Conserv. 18,4: 139-144.
- WALLACE, E.A. 1963. Reclamation of the Danish Heath. Journ. Soil Water Conserv. 18,3: 97-102.
- WOUDENBERG, J.P.M. 1967. De invloed van de beschutting op het microklimaat. In: 10 jaren windsingelonderzoek in Grubbenvorst (L) 1950-1960. Comm. Agrar. Belangen in Limburg: 26-50.
- WIJK, W.R. VAN en A.P. HIDDING. 1955. Onderzoek over de verandering van het klimaat achter windschermen. Landbouwk. Tijdschr. 67,10: 707-712.

