

A. J. Hellings

*Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding,
Wageningen*

Effect van beregening en stikstof bij zomertarwe op zandgrond

with a summary

The effect of sprinkler irrigation and nitrogen on the yield of
spring wheat on a sandy soil



1967 *Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie*
Wageningen

Deze publikatie verschijnt tevens als Mededeling nr. 106 van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen

© Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen 1967

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced and/or published in any form, by print, photoprint, microfilm or by any other means without written permission from the publisher.

Inhoud

1 INLEIDING	1
2 UITVOERING VAN DE PROEVEN	3
3 RESULTATEN VAN DE PROEVEN	7
Samenvatting	25
Summary	26
Literatuur	27

1 Inleiding

Van de oppervlakte granen in Nederland werd in 1961 25% door tarwe ingenomen, daarvan was 17% winter- en 8% zomertarwe. Op de zandgronden is nadien de oppervlakte zomertarwe verder gestegen ten koste van de oppervlakte rogge en haver. De oorzaken hiervan zijn: de ontwikkeling van rassen die voor de zandgronden geschikt zijn, de grotere opbrengst en de hogere prijs. Tarwe stelt echter hogere eisen aan de bodemvruchtbaarheid, aan de pH en aan de waterhuishouding, dan de andere op de zandgronden gebruikelijke granen. Dit was aanleiding om een beregeningsproef met zomertarwe op zandgrond uit te voeren.

Wat de methodiek van de beregening betreft kunnen twee richtingen onderscheiden worden: die van BROUWER (1958), welke uitgaat van gevoelige perioden waarin, afhankelijk van gewas en weersomstandigheden, één of enkele vaste watergiftten toegediend worden en één waarbij uitgegaan wordt van het percentage van het opneembaar water in de grond dat door het gewas verbruikt is. Droogtegevoelige gewassen zouden na een verbruik van 30 à 50%, en meer resistente gewassen na een verbruik van 60 à 70% beregend moeten worden. Beide richtingen zijn in de loop van de tijd naar elkaar toegegroeid. Zo schreef MARTIN in 1965 dat bij verschillende gewassen, buiten de gevoelige perioden, de methode die uitgaat van de nog aanwezige vochtvoorraad in de grond toegepast zou kunnen worden. Dat het zoeken naar de beste wijze van werken in Duitsland nog niet tot een definitief resultaat gevoerd heeft, blijkt wel uit het volgende citaat (KLATT, 1963): "Die Wege über die laufende Kontrolle der Bodenfeuchtigkeit oder über die Bestimmung des osmotischen Wertes führten nicht zu brauchbaren Ergebnisse, so dass der Einsatz wie vor auf den kritischen Perioden des Pflanzenwachstums beruhen muss". Of aan deze uitspraak veel waarde toegekend moet worden valt echter te betwijfelen. Zowel in de USA als in Canada, Engeland en ook in Nederland wordt overwegend gewerkt met de methode van beregening aan de hand van metingen van het vochtgehalte in de grond. Om deze methode te vereenvoudigen is enerzijds gewerkt aan vervanging van de metingen door taxaties (BAARS, HELLINGS en WARTENA, 1956) anderzijds aan het vaststellen van correlaties tussen waterverbruik van gewassen en meteorologische grootheden of wel met de verdamping van vrij water (PENMAN, 1956 en o.a. CZERATSKI, 1965).

Bij toepassing van beregening op lichte gronden dient het bemestingsniveau aangepast te worden aan de betere watervoorziening, die dan in de meeste gevallen kan leiden tot een hogere produktie. Daar stikstof een belangrijke rol speelt bij de eiwit-synthese en de optimale stikstofgift bovendien gecorreleerd is met de toegediende waterhoeveelheid, werden in de beregeningsproeven verschillende stikstoftrappen ge-

legd. Van belang is, dat berekening het mogelijk maakt om op ieder gewenst tijdstip deze meststof voor het gewas opneembaar te maken, waardoor er een grotere zekerheid verkregen wordt om een uitgestelde bemesting op het juiste moment door het gewas te doen opnemen.

Het is bekend dat grote stikstofgiften bij granen kunnen leiden tot een opbrengstdepressie. MITSCHERLICH (druk 1956) meende dat dit in hoofdzaak een gevolg is van legering. Weinig veredelde gewassen, zoals rogge, die eerder tot legering neigen dan de meer veredelde tarwe kunnen minder stikstof verdragen dan de laatstgenoemde. De stikstofgift waarmee de hoogste korrelopbrengst bereikt werd zou voor tarwe 170 kg, voor haver 87 kg en voor rogge 71 kg/ha bedragen. Bij proeven met winter-tarwe is echter gebleken, dat ook na een bespuiting met groeiremstoffen (CCC) waardoor de mogelijkheid van legering werd uitgesloten, een opbrengstdepressie optreedt bij een stikstofgift van meer dan 100 kg/ha (TOUSSAINT, 1965). Het is niet uitgesloten dat ionen-evenwichten hierbij een rol spelen. Volgens onderzoek van TROMP (1962) zou bijvoorbeeld bij zomertarwe de K-opname door verhoogde toediening van NH_4 gehalveerd kunnen worden. Ook volgens VON BOGUSLAWSKI e.a. (1954) zou bij een zeer hoog stikstofniveau in de grond relatief weinig K en PO_4 opgenomen worden. Een opbrengstdepressie door een te grote bemesting zou dan ook in hoofdzaak veroorzaakt worden door een te grote stikstofopname.

Voor een wintertarwe-opbrengst van 5000 kg is volgens NIESCHLAG (1963) ca. 125 kg N, voor 6000 kg 150 kg N nodig. Ondiepe gronden kunnen 10 tot 40 kg N/ha leveren, zodat voor een maximale tarwe-opbrengst ca. 110 kg N/ha gegeven zou moeten worden bij optimale vochtomstandigheden.

2 Uitvoering van de proeven

De proeven werden uitgevoerd op het proefterrein 'Sinderhoeve' te Renkum. De grond van dit terrein is een 'haarpodsol', dat wil zeggen, een hoge grofzandige ontginningsgrond met een humusgehalte van 6 à 7%, een dikte van het humeuze dek van ca. 30 cm en een maximale hoeveelheid opneembaar hangwater van ca. 90 mm. Het grondwater bevindt zich op een diepte van ca. 11 m onder het maaiveld.

In 1961 werd begonnen met zomertarwe van het ras Peko. De proefopzet was eenvoudig, er waren twee objecten: niet beregenen en beregenen na een verbruik van 50% van het opneembare water in de laag van 0-40 cm diepte. Van 1962 af is met het ras Jufy 1 gewerkt. Sindsdien zijn vier vochttrappen gebruikt, de uitdrogingsgrenzen op de beregende objecten varieerden van 25 tot 80% verbruik, overeenkomend met pF 2,3 en 3,4. Met het variëren van de stikstofgiften is in 1962 begonnen. In dat jaar werd bij twee vochttrappen naast de normale vroege gift een late stikstof-overbemesting gegeven. In 1963 en 1964 werden naast vier vochttrappen vier stikstoftrappen toegepast. De stikstofgiften varieerden van 30 tot 160 kg/ha. Deze bemesting werd in gedeelten toegediend, namelijk kort na het zaaien en in het begin van het schietstadium en in 1964, behalve op de genoemde tijdstippen, een derde gift aan het einde van het schietstadium. In de voorafgaande winter werden de proefpercelen in hun geheel bemest met 40 ton overjarige stalmest per ha. De beregening werd uitgevoerd met enkele sproeiwagens waarin een heen- en weergaande sproeiboom een veldje van 6×8 m beregende (fig. 1). Van deze oppervlakte werd 20 m² gebruikt voor de eind-opbrengstbepaling. In de randstroken werden periodieke oogsten uitgevoerd. In 1963 en 1964 werd in verband met de invoering van de vier stikstoftrappen met een 'split-plot' systeem gewerkt, waarbij de veldjes in vieren werden gedeeld. Voor de eind-opbrengstbepaling bleef toen slechts 6,8 m² per veldje over. Voor het periodieke oogsten werd één herhaling opgeofferd. Het tijdstip waarop de gestelde uitdrogingsgrenzen werden bereikt, werd vastgesteld door 14-daagse gravimetrische vochtbepalingen in de lagen 0 tot 20, 0 tot 40 of 0 tot 60 cm.

Het aantal herhalingen bedroeg in het algemeen vier, alleen in het eerste jaar werd met zes herhalingen gewerkt, terwijl in 1964 vijf herhalingen werden gebruikt.

Fig. 1a. Sproeiwagen met een afmeting van 6×8 m. Tijdens het beregenen worden de jute gordijnen gesloten om te voorkomen dat de verdeling van het sproeiwater door de wind verstoord zou worden

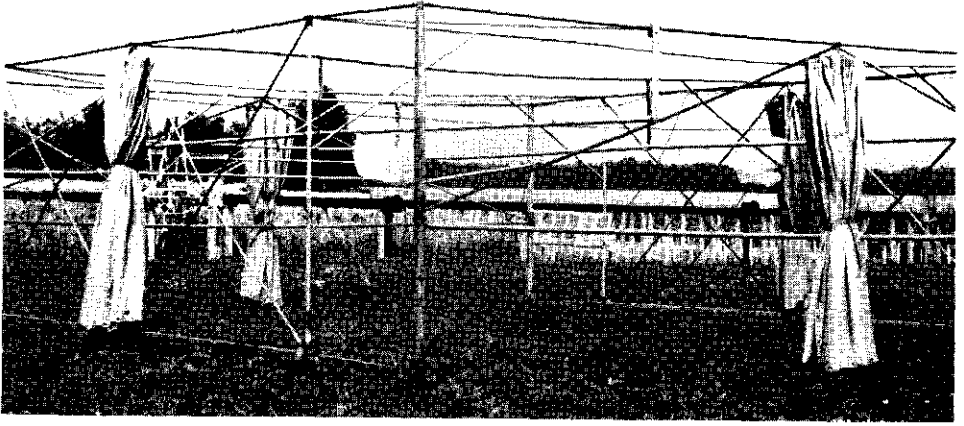


Fig. 1a. Spray cart with inner dimensions 6×8 m. The jute curtains are closed during irrigation

Fig. 1b. Detail van de sproeiwagen. De sproeiboom met omlaaggerichte doppen wordt door een electro-motor voortbewogen

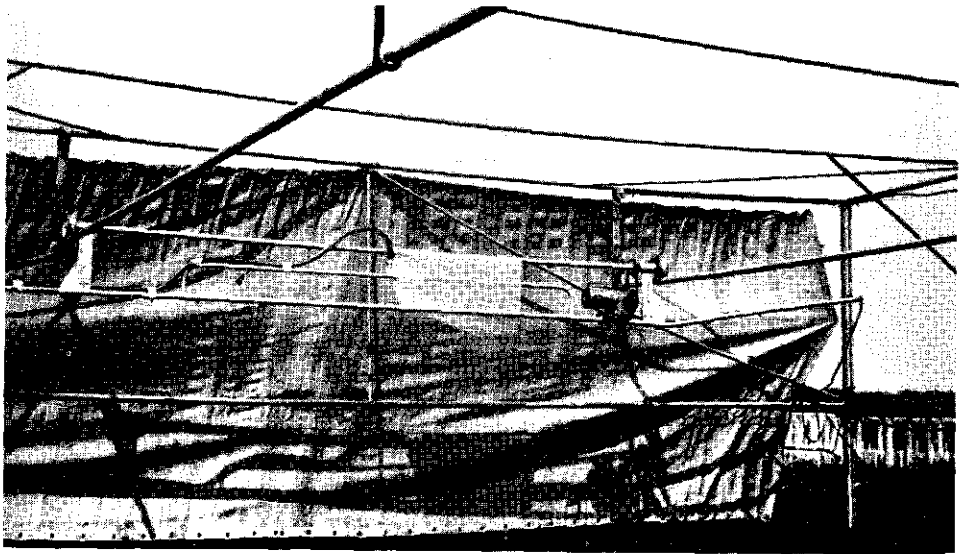


Fig. 1b. Detail of spray cart. The sprayline with downward directed nozzles is moved by an electric motor

3 Resultaten van de proeven

- a. Het opbrengstniveau van beregende zomertarwe in vergelijking met dat op onberegende zand- en kleigronden in Nederland

De weersomstandigheden liepen in de onderzoeksjaren sterk uiteen. In tabel 1 zijn van enkele belangrijke factoren de maandgemiddelden weergegeven.

Tabel 1. Het neerslagtekort, de relatieve vochtigheid en de temperatuur in het groeiseizoen in de jaren 1961 tot en met 1964

	April			Mei			Juni			Juli			Augustus			
	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	ΣN_t
1961	-33	86	9,9	49	81	10,2	76	70	14,7	13	81	14,7	-25	83	15,6	138
1962	-15	86	8,3	16	86	10,3	72	87	14,2	29	87	15,3	10	93	16,4	117
1963	13	86	10,6	24	86	12,7	27	87	17,9	70	87	17,3	-67	92	14,5	121
1964	14	84*	7,7*	80	77	14,7	72	81	15,3	81	81	16,9	62	81	16,0	233
	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	N_t	R_v	T	ΣN_t
	April			May			June			July			August			

N_t = Neerslagtekort, berekend als verschil tussen natuurlijke neerslag en de open waterverdamming volgens Penman; *Precipitation deficit, calculated by subtracting the E_0 Penman from the natural rainfall*

ΣN_t = Totaal neerslagtekort in de hoofdgroeiperiode 1.V-1.VIII; *Total precipitation deficit in the main growing period 1.V-1.VIII*

R_v = Relatieve luchtvochtigheid in procenten; *Relative air humidity in per cent*

T = Gemiddelde etmaal-luchttemperatuur; *Mean 24 hours air temperature*

* = Gemiddeld over de eerste twee decaden; *mean value of the first two decades*

Table 1. The precipitation deficit, the relative humidity and the temperature in the growing season of the years 1961 through 1964

In 1961 was er sprake van een duidelijk neerslagtekort in de maanden mei en juni. De laatstgenoemde maand had een bijzonder lage luchtvochtigheid. In 1962 was er alleen een neerslagtekort van betekenis in de maand juni, de luchtvochtigheid was in

alle maanden hoog. In 1963 was er in mei en juni een klein neerslagtekort in juli een groot, de luchtvochtigheid was in alle maanden hoog. In 1964 was er, met uitzondering van april, in alle maanden een duidelijk neerslagtekort bij een vrij lage luchtvochtigheid.

In tabel 2 is een samenvatting gegeven van de belangrijkste opbrengstgegevens uit de beregeningsproeven in de jaren 1961 tot en met 1964, van de opbrengsten van dezelfde rassen op goede kleigronden waar van oudsher tarwe verbouwd wordt en van die op zand- en dalgronden die in kwaliteit vergeleken kunnen worden met de grond van de Sinderhoeve.

Tabel 2. Het opbrengstniveau op het proefterrein 'Sinderhoeve' in vergelijking met dat op zand- en kleigronden in Nederland in kg per ha (Gemiddelde van Noordelijke, Zuidelijke en Centrale Zeeklei naar gegevens van het IVRO te Wageningen). Ras: Jufy 1 (1961: Peko)

	1961	1962	1963	1964	1961/64
Onberegend <i>Non-irrigated</i>	3020	5070	4090	3460	3910
Beregend, gemiddeld <i>Irrigated, mean</i>	4510	5250	5350	5240	5090
Beregend, maximaal <i>Irrigated-maximum</i>	4510	5430	5560	5350	5210
Kleigrond <i>Clay soils</i>	4430	4990	5190	5230	4960
Zand- en dalgrond <i>Sandy soils and reclaimed peat subsoils</i>	3740	5020	4260	4720	4440
	<i>1961</i>	<i>1962</i>	<i>1963</i>	<i>1964</i>	<i>1961/64</i>

Table 2. The yield level in kg/ha of spring wheat on the experimental field 'Sinderhoeve' in comparison with that on non-irrigated sandy- and clay soils in the Netherlands (Mean values of the Northern, Southern and Central Marine clay region according to data of the IVRO at Wageningen)

De onberegende tarwe van de Sinderhoeve gaf in het natte jaar 1962 een opbrengst die ongeveer gelijk was aan de praktijkopbrengsten op de zand- en dalgronden, in de vrij droge jaren 1961 en 1964 daarentegen een duidelijk lagere opbrengst. Hieruit volgt dat de grond op het proefterrein aanmerkelijk droogtegevoeliger is dan de zand- en dalgrond waarop de meeste tarwe verbouwd wordt. De beregende tarwe gaf alle jaren belangrijk hogere opbrengsten dan die op de zand- en dalgronden, zelfs hoger dan op de zeekleigronden hoewel ten opzichte van de laatstgenoemde gronden die verschillen in de jaren 1963 en 1964 klein waren.

Het opbrengstniveau bij voldoende vochtvoorziening, hetzij door beregening hetzij uit de grond, vertoonde van jaar tot jaar een stijging. Op de Sinderhoeve was dit vooral

van 1961 op 1962 het geval ten gevolge van een verhoging van de zaaizaadhoeveelheid van 160 op 240 kg/ha. Bij de beregende objecten steeg het aantal halmen daardoor van 480 naar 550 per m².

Duidelijk blijkt tenslotte dat door beregening op zandgrond grote opbrengstschommelingen van jaar tot jaar, geëlimineerd kunnen worden.

b. Het beregeningseffect bij optimale stikstofvoorziening

In tabel 3 zijn de belangrijkste opbrengst- en oogstanalytische gegevens opgenomen. Van de stikstoftrappen in 1963 en 1964 werd diegene (N₃ in kolom 2) gebruikt, welke de hoogste opbrengst leverde. De netto beregeningsgift werd berekend door een aftrek van 15% voor directe verliezen voor verdamping en interceptie en daarnaast een bedrag voor wegzijgingsverliezen afhankelijk van het tijdstip en de grootte van de natuurlijke neerslag volgend op de beregening (kolom 3 en 4).

In 1961, 1963 en 1964 werden grote meeropbrengsten aan korrels van 26,8 tot 70,5% behaald (kolom 7 en 8). In 1962 was het effect gering en op het natste object zelfs negatief. Het grootste beregeningseffect werd niet altijd bij dezelfde uitdrogingsgrens bereikt. In 1962 was deze optimale uitdrogingsgrens 75%, dat wil zeggen de vochtvoorraad in de grond werd aangevuld na een verbruik van 75% van het opneembare water, in 1963 40% en in 1964 60%. In 1962 had intensieve beregening een sterke legering tot gevolg (50% van de oppervlakte), waarmee een duidelijke afname (12,6%) van het korrelgewicht gepaard ging (kolom 11). In 1963 trad in ernstige mate (80% van de oppervlakte) legering op bij alle beregende objecten, die 100 kg stikstof of meer per ha gekregen hadden. De depressie, die hierdoor veroorzaakt werd, was niet groot omdat de legering in een laat stadium optrad. In 1964 kwam alleen op de intensief beregende objecten bij een bemestingsniveau van 160 kg stikstof per ha in ernstige mate (50 - 75% van de oppervlakte) legering voor.

Door het analyseren van de opbrengstcomponenten is het mogelijk nader in te gaan op de vraag, welke factoren tot de meeropbrengst hebben bijgedragen. Jaarlijks werden hiervoor opbrengstanalyses uitgevoerd, waarbij aan gewasmonsters van kleine omvang het aantal korrels per aar en het 1000-korrelgewicht bepaald werden. In 1961 en 1962 werd tevens het aantal aren per oppervlakte-eenheid geteld. In 1963 en 1964 werd dit aantal berekend uit het aantal korrels per aar, het korrelgewicht en de korrel-opbrengst. Uiteraard geeft dit een ruwe benadering omdat voor de monstername oppervlakten van slechts ca. 0,6 m² geoogst werden.

Het aantal aren nam door beregening sterk toe in de jaren 1961 en 1963, in de andere jaren slechts matig (kolom 9). Dit verschil in effect van jaar tot jaar kan ten dele verklaard worden uit de gebruikte hoeveelheid zaaizaad per oppervlakte-eenheid.

Deze hoeveelheden waren 240 en 220 kg/ha in 1962 en 1964 tegenover 160 en 185 kg/ha in 1961 en 1963. De verhoging van de zaaidichtheid op zich leidde al tot een toename van het aantal aren met bijna 15%.

Beregening na een verbruik van ca. 40% van het opneembare water had in 1963 een veel groter effect op het aantal aren dan matige beregening. De oorzaak hiervan

Tabel 3. Het beregenings-effect op de korrelopbrengst en de belangrijkste oogstcomponenten van zomertarwe van het ras Peko (1961) en July 1 (1962 t/m 1964)

Jaar	Object	Beregening mm		Opbrengst kg/ha		Meer-opbrengst %	Toename aren %	Toename korrels/aar %	Toename korrel-gewicht %	Meeropbrengst per mm in kg/ha	Korrelstroverhouding		Netto-overschot in gid/ha	
		Bruto	Netto	Onber.	Bereg.						Bereg.	Onber.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1961	V 50%	120	102	3020	4510	1490	49,4	31,2	16,5	5,9	14,6	0,58	0,53	206
1962	A 25%	79	67	5070	5040	-30	-0,6	9,0	0,2	-12,6	-0,4	0,70	0,83	-176
1962	B 50%	73	62	5070	5290	220	4,3	9,4	-11,7	-5,9	3,6	0,75	0,83	-87
1962	C 75%	55	47	5070	5430	360	7,1	7,0	-4,0	4,0	7,7	0,86	0,83	-30
1963	V ₃ N ₃ 40%	207	146	4090	5560	1470	36,0	ca. 28	6,1	0,4	10,1	0,85	0,88	177
1963	V ₂ N ₃ 60%	135	115	4090	5300	1210	28,6	ca. 12	9,1	5,7	10,5	0,95	0,88	159
1963	V ₁ N ₃ 80%	105	89	4090	5180	1090	26,8	ca. 7	9,1	8,3	12,5	0,99	0,88	147
1964	V ₃ N ₃ 40%	206	175	3140	5240	2100	66,9	ca. 11	21,1	23,8	12,0	0,65	0,54	368
1964	V ₂ N ₃ 60%	140	119	3140	5350	2210	70,5	ca. 5	24,4	31,4	18,6	0,68	0,54	455
1964	V ₁ N ₃ 80%	96	82	3140	5130	1990	63,4	ca. 15	17,8	20,9	24,3	0,73	0,54	425
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Year	Treatment	Irrigation mm	Gross Net	Yield kg/ha	Non-irrigated	Yield increase kg/ha	%	Increase head	Increase grains per head	Increase grain weight	Yield increase per mm in kg per ha	Grain-straw ratio	Non-irrigated	Net surplus in guilders per ha

V50% = Beregend na een verbruik van 50% van het opneembare water / Irrigated after use of 50% of the available water
 A25%, B50%, C75% = Beregend na een verbruik van 25 respectievelijk 50 en 75% van het opneembare water / Irrigated after use of 25 respectively 50 and 75% of the available water

1963 V₃N₃ 40%, V₂N₃ 60%, V₁N₃ 80% = Beregend na een verbruik van 40, respectievelijk 60 en 80% van het opneembare water, bij een stikstofbemesting van 100 kg/ha / Irrigated after use of 40 respectively 60 and 80% of the available water, at a nitrogen rate of 100 kg/ha
 1964 V₃N₃ 40%, V₂N₃ 60%, V₁N₃ 80% = Beregend na een verbruik van 40, respectievelijk 60 en 80% van het opneembare water, bij een stikstofbemesting van 115 kg/ha / Irrigated after use of 40 respectively 60 and 80% of the available water, at a nitrogen rate of 115 kg/ha

Tabel 3. The irrigation effect on the grain production and the most important yield components of spring wheat of the variety 'Peko' (1961) and 'July 1' (1962-'64)

is waarschijnlijk dat water op de intensief beregende objecten in een vroeg stadium gegeven, vooral de aarvorming stimuleert. In 1962 was er een zwakke tendens in dezelfde richting, terwijl de verschillen tussen de objecten in 1964 moeilijk te verklaren zijn, althans ten aanzien van het V₁ object.

Behalve in het natte jaar 1962 is het aantal korrels per aar duidelijk toegenomen, in de droge zomer van 1964 zelfs met bijna 25%. De intensiteit waarmee beregening in een bepaald jaar werd toegepast had weinig invloed op het effect (kolom 10). De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het niet afsterven van de vruchtbeginsels in de toppen van de aren bij alle beregende objecten, daar tijdens en direct na de bloei geen ernstig vochtgebrek kon optreden.

De invloed op het 1000-korrelgewicht was van jaar tot jaar sterk uiteenlopend (kolom 11). In de natte zomer van 1962 was het effect van intensieve beregening zelfs negatief door de sterke mate van legering die daar het gevolg van was. In 1964 was het effect bijzonder groot. Een matig intensief uitgevoerde beregening had in vrijwel alle jaren de grootste toename van het korrelgewicht ten gevolge. Het V₁-object van 1964 vormde in dit opzicht een uitzondering.

De meeropbrengst per mm beregeningswater varieerde sterk van jaar tot jaar (kolom 12). In jaren, zoals 1961 en 1964, met een droge mei- en junimaand werd een groter effect per mm bereikt dan in jaren, zoals 1963, waarin de neerslagtekorten in juli of augustus optraden. Verhoging van de beregeningsintensiteit deed het effect in het algemeen dalen, in 1964 zelfs van 24 tot 12 kg/mm.

De korrel-stro verhouding was in jaren zoals 1962 en 1963, met ongunstige groei-omstandigheden opvallend hoog, doordat vooral de vegetatieve ontwikkeling geremd werd (kolom 13 en 14). Een matige beregening verhoogt blijkbaar de korrel-stro verhouding, intensieve beregening kan deze verlagen.

De opbrengstverschillen tussen de beregende objecten waren opvallend klein, vergeleken met die tussen beregende en niet beregende. Dit betekent dat het netto-overschot in guldens per ha betrekkelijk weinig toeneemt, of in sommige jaren zelfs afneemt bij een verhoging van de beregeningsintensiteit (kolom 15).

Tabel 4. Het netto overschot in guldens per ha bij de beregening van zomertarwe op drie verschillende vochniveaus gemiddeld over de jaren 1962 tot en met 1964

Uitdrogingsgrens	Netto-overschot
25 - 40%	126
50 - 60%	176
75 - 80%	181
<i>Limit of moisture extraction</i>	<i>Net surplus</i>

Table 4. The mean net surplus in guilders per ha gained by irrigation of spring wheat at three different moisture regimes in the years 1962 through 1964

De beregeningskosten in guldens per ha zijn berekend volgens BAARS (1962). De vaste kosten zijn gesteld op f 93 per ha, de variabele kosten inclusief arbeid (à f 3/uur) op f 0,825 per mm.

Door de meeropbrengsten aan korrel te verminderen met de beregeningskosten werd het netto-overschot per ha berekend. De tarweprijs werd gesteld op f 0,30 per kg.

Economisch gezien geeft een uitdrogingsgrens van 75 tot 80% de beste kans op een rendabele aanwending van beregening hoewel bij een grens van 40 tot 60% vaak hogere opbrengsten worden behaald. Dit laatste werd ook door andere onderzoekers gevonden (CZERATSKI, 1965; HOBBS, KROGMAN en SONMOR, 1963).

c. Aanpassing van de standdichtheid aan gunstiger groeivoorwaarden

Aanvankelijk gelukte het bij de gebruikelijke zaaizaadhoeveelheid van 160 kg/ha niet om een voldoende dichte stand van het gewas te verkrijgen. Een van de belangrijkste oorzaken daarvan is de geringe uitstoeling van de tarwe op zandgrond. Per plant worden wel voldoende halmen gevormd, in 1961 bijvoorbeeld 3 stuks, maar van deze halmen vormt slechts de helft of minder een aar. Bedroeg de uitstoelingscoëfficiënt in 1961 1,58 bij de onberegende en 1,93 bij de beregende tarwe, in 1962 was deze na verhoging van de zaaizaadhoeveelheid tot 240 kg/ha teruggelopen tot 0,96 bij de beregende en 0,89 bij de onberegende objecten. Ondanks deze teruggang nam het aantal aren per oppervlakte-eenheid echter wel belangrijk toe.

Een andere mogelijkheid om een grotere standdichtheid te bereiken is verkleining van de rijafstanden. Langjarige proeven op lichtlemige gronden in Norfolk (Engeland) hebben uitgewezen, dat gunstige effecten op de groei en opbrengst van verschillende soorten granen te verkrijgen zijn (BALDWIN, 1963). Naar aanleiding daarvan werden in 1964 en 1965 op de Sinderhoeve proeven uitgevoerd, waarin de afstanden werden gevarieerd van 10 tot 30 cm bij een zaaizaadhoeveelheid van 220 kg/ha.

De opbrengsten werden door verkleining van de rijafstanden inderdaad verhoogd, in hoofdzaak als gevolg van een snellere en meer volledige grondbedekking en een toename van het aantal halmen (HETTINGA en TOUSSAINT, 1966). In de hier besproken beregeningsproeven werd echter nog gewerkt met afstanden van 22 cm in de jaren 1961 tot en met 1963 en 20 cm in 1964.

d. Waterverbruik, evaporatie, vochtspanning in de grond en drogestof productie

Het waterverbruik van tarwe werd bepaald door regelmatige gravimetrische vochtbepalingen van de grond tot een diepte van 40 à 60 cm. Voor het jaar 1964 kon alleen beschikt worden over vochtbemonsteringsgegevens in de laag 0 tot 20 cm, die terwille van de bepaling van het beregeningstijdstip éénmaal per 14 dagen werden uitgevoerd. Op de beregeningsgiften werd een correctie toegepast zoals onder 3b reeds werd vermeld. Het aldus over perioden van één maand berekende waterverbruik van het frequent beregende gewas werd uitgezet tegen de panverdamping, respectievelijk de vrij-

Fig. 2. Het verband tussen het waterverbruik van zomertarwe en de vrij-water verdamping volgens Penman (a), respectievelijk volgens metingen in een ondiepe ingegraven verdampingspan (b). Ieder punt is het gemiddelde van een maandelijkse periode. Voor de betekenis van de symbolen zie tekst en tabel 3

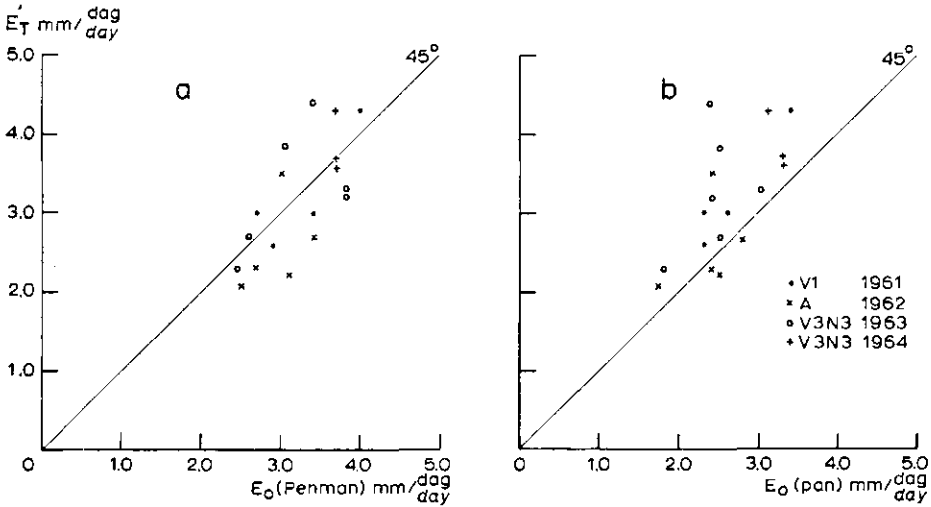


Fig. 2. The relation between the consumptive use of water by spring wheat and the free water evaporation according to Penman (a), respectively according data derived from a shallow sunken pan (b). Every point indicates the mean of a monthly period. For the meaning of the symbols see table 3

watervedamping volgens Penman (fig. 2). Hieruit blijkt dat er, bij een vrij grote spreiding van de punten, een redelijke overeenkomst bestaat tussen de potentiële gewasverdamping E_T en de E_0 volgens Penman. Vergeleken met de E_0 gemeten in een ondiepe ingegraven verdampingspan van 50 cm doorsnede met blanke metalen bodem is de overeenkomst slechter, de panverdamping is duidelijk lager dan de gewasverdamping bij verdampingswaarden van meer dan 2,5 mm per etmaal. De hoogste gemiddelde waarden over 14-daagse perioden liggen op een niveau van bijna 4,5 mm per etmaal. Dit is in overeenstemming met de ervaring dat in perioden van sterke groei in twee weken 65 mm, overeenkomend met ca. 80% van het opneembare water, verbruikt kan zijn. Het waterverbruik van de frequent beregende zomertarwe is hoger geweest dan in andere onderzoeken werd gevonden. Meestal worden voor de potentiële evapotranspiratie van granen in Nederland waarden vermeld van 80 à 90% van de E_0 Penman (BAARS, 1964).

Wordt de berekende verdamping volgens Penman uitgezet tegen de panverdamping, over dezelfde perioden gemeten, dan blijkt dat de eerstgenoemde ongeveer 17,5% hoger ligt dan de laatstgenoemde (fig. 3). Dit is in overeenstemming met de waarnemingen van RIJTEMA (1965) op het lysimeterstation in het 'Binnenveld' in Wageningen.

De groei van gewassen verloopt aanvankelijk exponentieel en daarna, wanneer een volledige grondbedekking is bereikt, lineair. Dit wordt o.a. veroorzaakt door af-

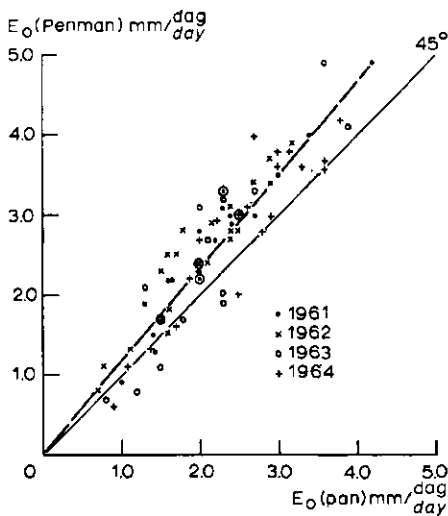


Fig. 3. Het verband tussen de vrij-water verdamping volgens Penman en die gemeten in een ondiepe ingegraven verdampingspan

Fig. 3. The relation between the free water evaporation according to Penman and that of a shallow sunken pan

scherming van een deel van het licht door de hogere blad- en stengeldelen waardoor de fotosynthese in de lagere delen geremd wordt. Volgens MOORE (1961) verloopt de potentiële groei van tarwe in de hoofdgroeiperiode lineair. De gehele groeicurve wordt door hem beschreven als een sigmoïde, d.w.z. een S-vormige curve. Vooral in 1961 was er bij de beregende tarwe sprake van een rechtlijnige groei over een groot deel van de groeiperiode (fig. 4). In 1962 werd de groei na 20 juni geremd door ongunstige weersomstandigheden. De invloed van de berekening op de groei komt in de regel aan het einde van de schietperiode tot uiting. Na de bloei neemt het gewicht van de aren toe, dat van de halmen enigszins af. De drogestof productie kan tijdens de periode van het schieten en de bloei waarden bereiken van ca. 200 kg per ha per dag. Dit was op de Sinderhoeve in 1964 het geval bij optimale water en stikstofvoorziening. In jaren met minder gunstige groei-omstandigheden, zoals 1962 en 1963, werden waarden van 140 tot 180 kg bereikt.

Het verband tussen drogestof productie en waterverbruik is enerzijds bepaald uit periodieke opbrengsten, anderzijds uit eind oogsten (fig. 5). Ten aanzien van de periodieke opbrengsten blijkt een vrij goed rechtlijnig verband tussen beide grootheden te bestaan tot een opbrengstniveau van ca. 110 kg/are. Daarboven treedt een duidelijke afbuiging op, die veroorzaakt kan zijn door een groei-limiterende factor. Dat de lijn niet door het nulpunt gaat is te verklaren uit de evaporatie, die tot aan de eerste periodieke oogst een niet te verwaarlozen deel van het waterverbruik voor zijn rekening neemt, zonder dat dit aan de plantenproductie bijdraagt. Tot het niveau van 110 kg/are bedraagt de opbrengst per mm per ha 38 kg. Bij een korrel-stroverhouding van 0,7 komt dit neer op 15,7 kg droge korrel per mm.

Het verband tussen drogestof productie en waterverbruik, afgeleid uit de eind-oogst van de verschillende vochttrappen bij optimale stikstofvoorziening, blijkt minder duidelijk te zijn. Opvallend is dat de helling van de lijn minder stijl is, dat wil

Fig. 4. De groeicurve van beregende en niet beregende zomertarwe in 1961 en 1962

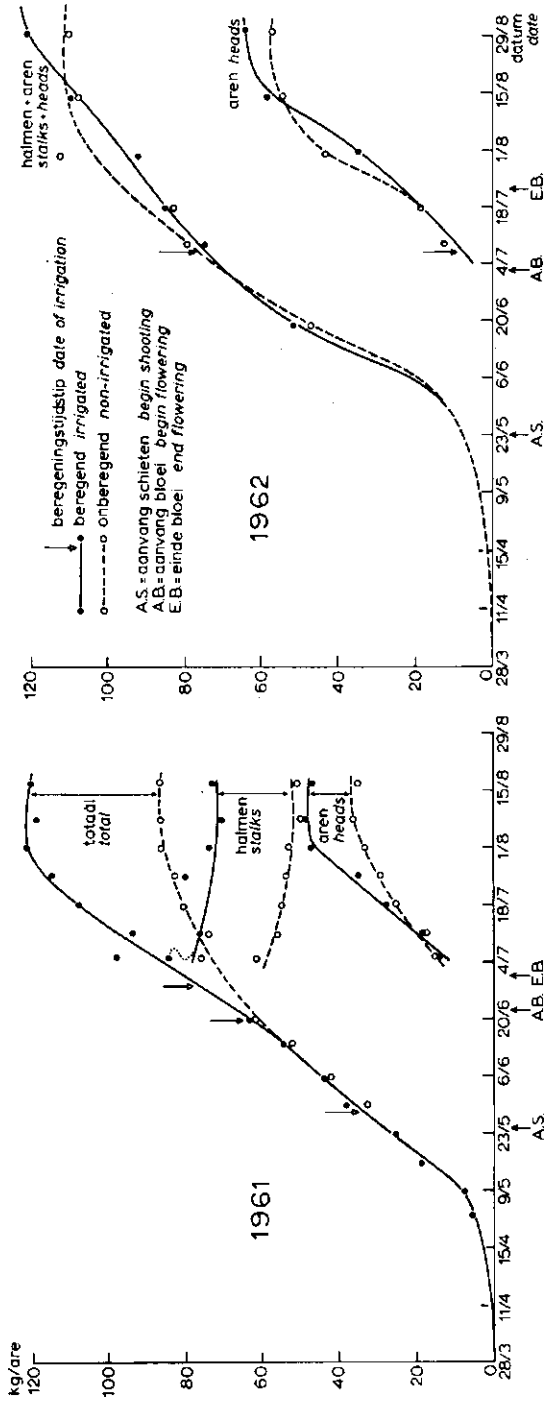


Fig. 4. The growing pattern of irrigated and non-irrigated spring wheat in 1961 and 1962

Fig. 5. Het verband tussen het waterverbruik (E_T) en de drogestof productie (P) gemeten in periodieke oogsten (getrokken lijn) en eindoogsten (onderbroken lijn). Periodieke oogst gecorrigeerd met behulp van de eindoogstwaarden. n_1 is het aantal periodieke oogsten, n_2 en n het aantal herhalingen

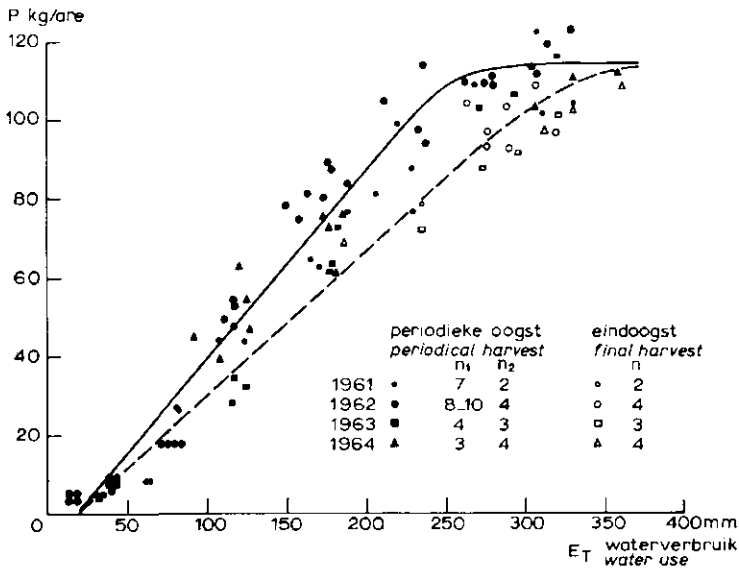


Fig. 5. The relation between the consumptive use of water (E_T) and the dry matter production (P) according to periodical harvests (full line) and final harvests (broken line). The yield level of the periodical harvests has been brought into agreement with that of the final harvests. n_1 is the number of periodical harvests, n_2 and n the number of replications

zeggen dat de produktie per mm geringer is dan in het eerste geval. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat in de eindoogsten meer verliezen aan droge stof optreden door het voortijdig afvallen van bladeren en het achterblijven van stoppels. Voorzover de laatste periodieke oogst ongeveer samenviel met de eindoogst werden de eerste op het niveau van de laatste omgerekend. Dit was in 1961 het geval, het opbrengstniveau van de laatste periodieke oogst lag toen ca. 30% hoger dan dat van de eindoogst. Uit de lijn voor de eindoogsten in figuur 5 volgt dat per mm water 33,3 kg droge stof of wel 13,7 kg droge korrel per ha gevonden wordt bij een korrel-stroverhouding van 0,7. BOONSTRA (1934) vond bij potproeven met tarwe transpiratiecoëfficiënten van 300 tot 600, overeenkomend met 16,6 tot 33,3 kg ha⁻¹ mm⁻¹. DE WIT (1958) berekende uit Amerikaanse gegevens een drogestof produktie van 25,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ bij een gemiddelde E_0 van 4,5 mm/etmaal over de hoofdgroeiperiode. KLAPP (1962) vond op goed bemeste grond een waarde van 28,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, op onbemeste 10,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Het verband tussen de gemiddelde pF in de laag van 0–20 cm en de drogestof opbrengst is in figuur 6 aangegeven. Bij een stijging van deze pF van 2,2 tot 3,0 treedt een produktie-deriving op van ca. 25%. De punten van 1963 liggen in hoofdzaak links

Fig. 6. Het verband tussen de gemiddelde pF in de laag 0 – 20 cm en de totale drogestof productie, respectievelijk de korrelproductie

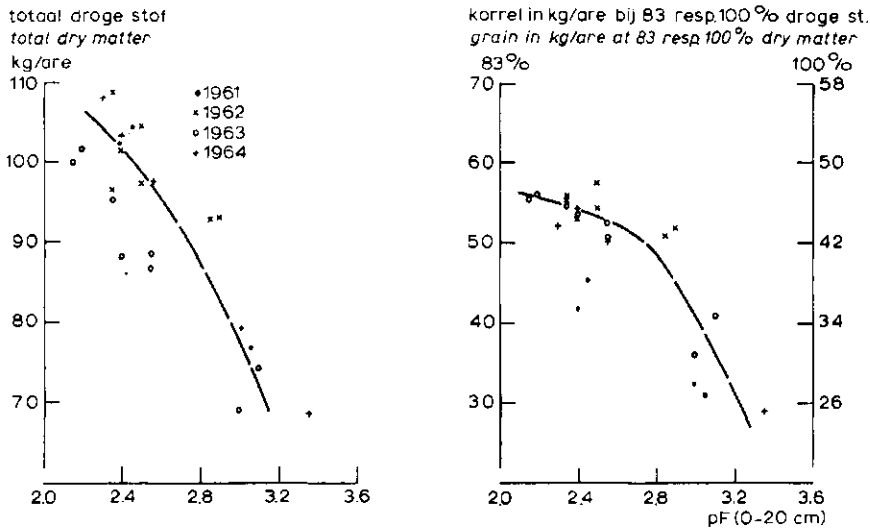


Fig. 6. The relation between the mean pF in the layer of 0 – 20 cm and the total dry matter production, respectively the grain production

van de lijn waarschijnlijk als gevolg van de ongunstige groeivoorwaarden in dat jaar.

Bij de korrelopbrengst treedt pas bij waarden boven pF 2,8 een sterke opbrengstdaling op. De gemiddelde pF op de weinig beregende objecten (uitdrogingsgrens 75 – 80%) was ca. 2,6, waaruit volgt dat opvoering van de beregeningsfrequentie weinig meer had kunnen bijdragen tot een verdere verhoging van de korrelopbrengst. Dat de punten van 1961 te laag liggen is het gevolg van de te geringe standdichtheid in dat jaar en waarschijnlijk ook doordat een ander minder produktief tarweras gebruikt werd. Blijkbaar loopt bij vochtgebrek de stro-opbrengst eerder terug dan de korrelopbrengst. Het optreden van hangen of legeren kan het dalen van de korrelopbrengst per mm beregeningswater bij ruime vochtvoorziening ten dele verklaren.

e. Het stikstofeffect in 1963 en 1964

In 1963 traden op alle beregende objecten grote stikstofeffecten op (fig. 7). De grootste meeropbrengst van 28% korrel werd bereikt met een gift van 140 kg N/ha bij het V₂-object. De lijn door de punten van het V₃-object vertoont een duidelijk optimum bij 100 kg N/ha. Bij toeneming van de stikstofgift boven de 100 kg/ha stijgt de korrelopbrengst op het V₂-object, terwijl die van het V₁-object ongeveer gelijk blijft. Blijkbaar kunnen de minder intensief beregende objecten meer stikstof verdragen, zonder dat een depressie in de opbrengst optreedt. Ten dele is dit uit de legering verklaarbaar die op het V₃-object in sterkere mate is opgetreden dan op de andere ob-

jecten. Uiteindelijk waren alle beregende N_3 -veldjes voor 80% 'hangend' gelegerd, alle beregende N_4 -veldjes voor 80% 'plat' gelegerd.

Het beregeningseffect blijkt op de verschillende vochttrappen niet veel uiteen te lopen ondanks regengiften van 105 mm op V_1 tot 207 mm op V_3 . Bij een zeer lage stikstofgift van 30 kg/ha was het beregeningseffect gering.

De stroproduktie werd eveneens sterk gestimuleerd door een verhoging van de stikstofgift. De stikstofwerking was groter naarmate meer beregend werd. Op geen van de objecten is een optimum bereikt. Duidelijk blijkt, dat intensieve beregening de stroproduktie meer bevordert heeft dan de korrelproduktie. Het niveau van de stroproduktie was betrekkelijk laag door de ongunstige weersomstandigheden.

De effecten in 1964 vertonen in grote lijnen hetzelfde beeld als die in 1963 (fig. 8 en 9), met dien verstande, dat de stroproduktie op een aanmerkelijk hoger niveau lag en de korrelproduktie iets lager was. Door de grotere gewaslengte is in een vroeger stadium hangen en legeren van het gewas opgetreden, in het bijzonder bij stikstofgiften van 115 en 160 kg/ha. Intensieve beregening heeft ten opzichte van matige beregening in hoofdzaak de stroproduktie bevordert, wat de korrelproduktie betreft werd reeds bij 80 kg N/ha een optimum bereikt, in tegenstelling tot het minder intensief beregende object (V_1) dat daar 120 kg N/ha voor nodig had. Binnen zekere grenzen kunnen water en stikstof elkaar blijikbaar vervangen. Ten aanzien van de korrelproduktie wordt de bovengrens bepaald door het optreden van legering. In figuur 8 werden bij de punten die de korrelopbrengst weergeven de legeringspercentages aangegeven. Daaruit blijkt er in de meeste gevallen een samenhang te zijn tussen de mate van legering en de grootte van de opbrengstdepressie. Van een kwantitatieve relatie is nauwelijks sprake doordat legering moeilijk volgens een exacte maatstaf te bepalen is en het tijdstip waarop het verschijnsel zich voordoet een belangrijke rol speelt.

In 1964 werden ook op de onberegende veldjes vier stikstoftrappen gelegd. Het

Fig. 7. De korrel- respectievelijk de stro-opbrengst (83% droge stof) van zomertarwe bij opklimmende stikstofgiften en verschillende vochniveaus in de grond in 1963. De giften bij de stikstoftrappen N_1 , N_2 , N_3 en N_4 waren resp. 30, 60, 100 en 140 kg N/ha

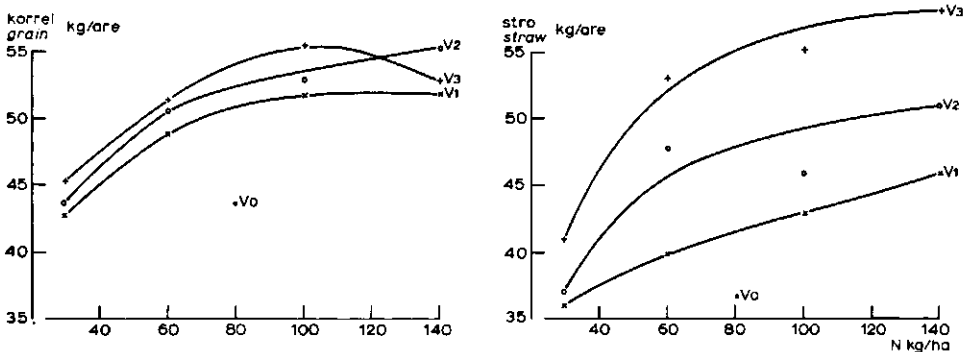


Fig. 7. The relation between grain- respectively straw-production (83% dry matter) and the nitrogen dressing at four different moisture regimes (V_0 through V_3) in 1963. The nitrogen gifts at the four regimes N_1 , N_2 , N_3 and N_4 were resp. 30, 60, 100 and 140 kg N/ha

Fig. 8. De korrel- respectievelijk de stro-opbrengst (83% droge stof) van zomertarwe bij opklimmende stikstofstijfen en verschillende vochtiniveaus in de grond in 1964. De giften bij de stikstofstrappen N_1 , N_2 , N_3 en N_4 waren resp. 35, 70, 115 en 160 kg N/ha

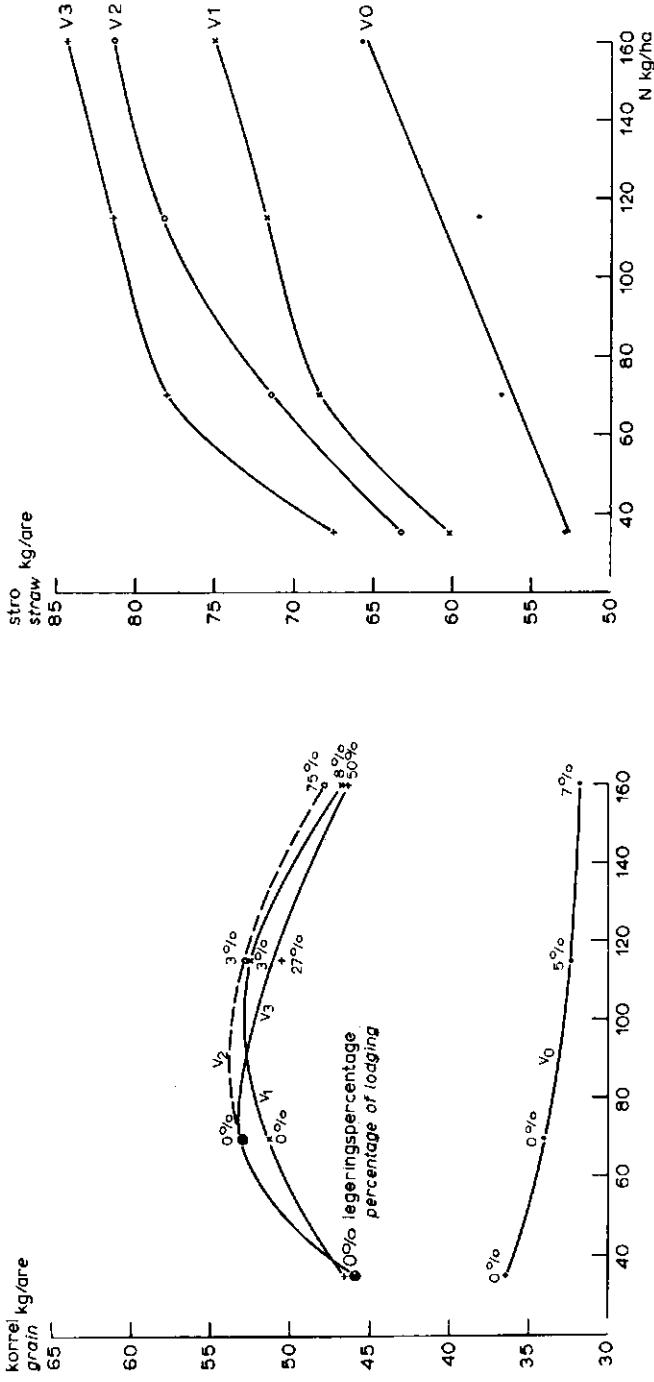


Fig. 8. The relation between grain- respectively straw-production (83% dry matter) and the nitrogen dressing at four different moisture regimes (V_0 through V_3) in 1964. The nitrogen gifts at the four regimes N_1 , N_2 , N_3 and N_4 were resp. 35, 70, 115 and 160 kg N/ha

Fig. 9. Zomertarwe bij vier verschillende stikstofniveaus (N_1 t/m N_4) en twee vochniveaus (V_0 en V_3) in 1964. a. In het begin van de schietperiode op 29 mei kort na het toedienen van de eerste beregeningsgift op het V_3 -object. b. Tijdens de bloeiperiode, op 26 juni

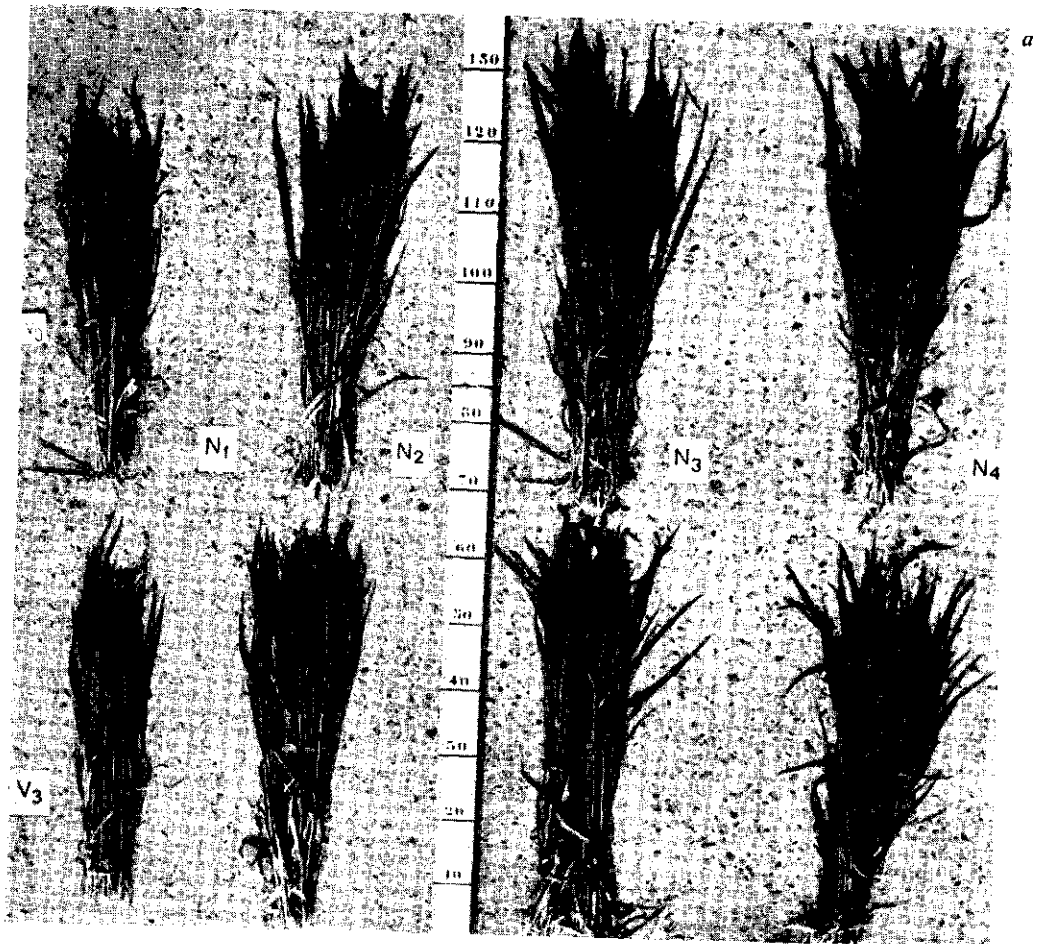


Fig. 9. Spring wheat at four nitrogen rates (N_1 through N_4) and two moisture regimes (V_0 and V_3) in 1964. a. At the beginning of the stem elongation on May 29, shortly after the application of the first irrigation. b. During the flowering period, on June 26

b



V_0N_1 V_0N_2 V_0N_3 V_0N_4 V_3N_4 V_3N_3 V_3N_2 V_3N_1

resultaat van verhoging van de stikstofgift van 35 tot 160 kg/ha was een toename van de stroproduktie met 25% en een afname van de korrelproduktie met 15%. Deze afname kan zeker niet geheel aan de opgetreden zwakke mate van legering toegeschreven worden. Waarschijnlijk is er door een sterkere vegetatieve ontwikkeling bij een ruime stikstofvoorziening, in de generatieve fase een groter vochtgebrek opgetreden. Op 25 juni was de bodembedekking op het N₄-object 78% en op het N₁-object 63%. De lengte van de stengels was ongeveer gelijk. Of de opbrengstdepressie mede veroorzaakt is door een verstoring van ionen-evenwichten, zoals in de inleiding genoemd werd, valt niet met zekerheid te zeggen.

Omdat de stikstofeffecten op de beregende objecten, dat wil zeggen op de vochttrappen V₁, V₂ en V₃, betrekkelijk weinig uiteenliepen, zijn de opbrengsten van deze objecten over de jaren 1963 en 1964 gemiddeld en in figuur 10 uitgezet tegen de bijbehorende stikstofgift. Hieruit blijkt dat de effecten in beide jaren vrij goed overeenkomen. Het optimum ligt gemiddeld bij 108 kg stikstof per ha. Dit komt ongeveer overeen met de hoeveelheid die VAN BURG (1965) bij proeven met Jufy-tarwe in de Veenkoloniën vond.

Om het stikstofniveau in de grond gedurende het groeiseizoen na te gaan zijn in 1963, gelijktijdig met de periodieke oogsten, grondmonsters gestoken uit de laag 0 – 20 cm, waarin de totale hoeveelheid in water oplosbare stikstof is bepaald. De resultaten van deze analyses zijn in figuur 11 opgenomen. Daaruit blijkt, dat in de laag 0 – 20 cm de oplosbare stikstofvoorraad reeds in het begin van de maand juni vrijwel is uitgeput. De dan nog aanwezige hoeveelheid schommelt om een waarde van 0,5 mgr

Fig. 10. Het verband tussen de gemiddelde korrelopbrengst (83% droge stof) en de stikstofgift bij beregende en onberegende zomertarwe gemiddeld over 1963 en 1964

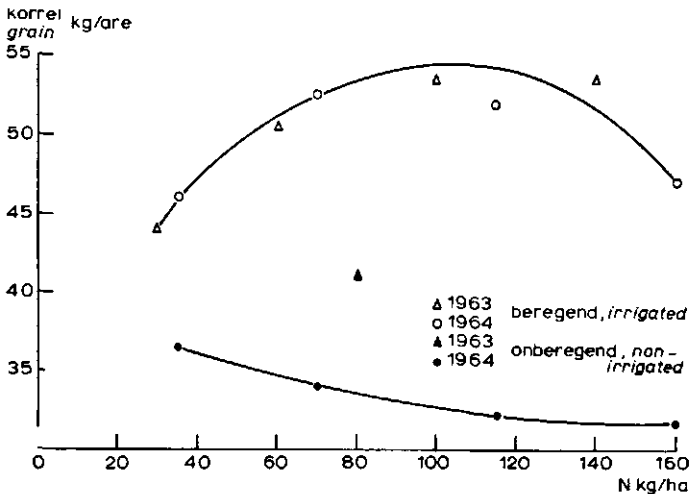


Fig. 10. The relation between the main grain production (83% dry matter) and the nitrogen dressing of irrigated and non-irrigated spring wheat in 1963 and 1964

per 100 gr droge grond overeenkomend met ca. 16 kg per ha. Het resultaat van de overbesteding op 12 juni komt alleen op de weinig intensief beregende veldjes van object V_1 tot uiting. Door de intensieve beregening op vochttrap V_3 heeft blijkbaar een snelle opname en mogelijk enige uitspoeling plaatsgevonden.

Daar op deze manier slechts een klein deel van de voor de plant opneembare stikstof geanalyseerd wordt, is in 1964 overgegaan tot bepaling van het stikstofgehalte in het gewas. Dit werd uitgevoerd aan de gewasmonsters, die verkregen werden bij de periodieke oogsten. De totale stikstofopname door het gewas werd berekend voor de totale droge stofopbrengst van de eindoogst.

Tabel 5 geeft een overzicht van enkele resultaten.

Op het intensief beregende object loopt de stikstoflevering door de grond minder snel terug bij stijgende stikstofbemesting dan bij het onberegende object. Zonder beregening kon het gewas in de vrij droge zomer van 1964 niet veel meer dan ca. 35 kg

Fig. 11. De totale hoeveelheid in water oplosbare stikstof in de laag 0 – 20 cm op vier stikstoftrappen (N_1 t/m N_4) en twee vochttrappen (V_1 en V_3). De monsters werden op vier tijdstippen in het groeiseizoen van het jaar 1964 genomen

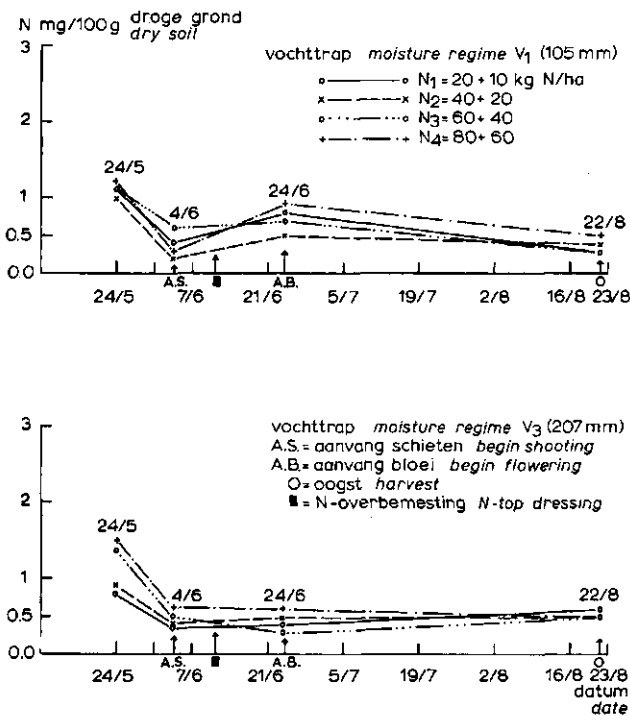


Fig. 11. The total quantity of in water soluble nitrogen in the layer 0 – 20 cm at four nitrogen rates (N_1 through N_4) and two moisture regimes (V_1 and V_3). Soil samples were collected at four different dates during the growing season in 1964

stikstof uit de gegeven kunstmesthoeveelheid verwerken, terwijl het intensief beregende gewas een hoeveelheid van ca. 110 kg kon opnemen. De stikstoflevering door de grond was zonder berekening ca. 50 en met berekening ca. 60 kg/ha. Naar schatting was ongeveer de helft hiervan afkomstig van de in de voorafgaande winter gegeven stalmest. Voor een optimale produktie van beregende zomertarwe was gemiddeld in de jaren 1963 en 1964 een totale hoeveelheid stikstof van ca. 150 kg/ha nodig, waarvan ca. 100 kg in de vorm van kunstmest gegeven moest worden.

Tabel 5. De stikstofopname door beregende en onberegende zomertarwe in 1964

stikstoftrap	Onberegend V_0				Intensief beregend V_3			
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_1	N_2	N_3	N_4
Totale dr. st. opbrengst uit periodieke oogst in kg/are; <i>total dry matter yield obtained by periodical harvest</i>	82,0	79,8	74,7	78,0	91,8	118,2	125,2	145,7
Totale dr. st. opbrengst uit eindoogst in kg/are; <i>total dry matter yield obtained by final harvest</i>	74,0	75,5	75,3	80,8	94,3	108,5	109,8	109,5
Totale hoeveelheid stikstof in gewas kg/ha; <i>total nitrogen in crop in kg/ha</i>	84,4	91,2	107,8	126,0	94,8	124,4	146,0	173,0
Totale stikstofgift in kg/ha; <i>total nitrogen dressing in kg/ha</i>	35,0	70,0	115,0	160,0	35,0	70,0	115,0	160,0
Stikstoflevering door de grond kg/ha; <i>nitrogen supplied by the soil kg/ha</i>	49,4	21,2	-7,2	-34,0	59,8	54,4	31,0	13,0
<i>nitrogen rate</i>	N_1	N_2	N_3	N_4	N_1	N_2	N_3	N_4
	<i>Non-irrigated V_0</i>				<i>Intensively irrigated V_3</i>			

Table 5. The uptake of nitrogen by irrigated and non-irrigated spring wheat in 1964

Samenvatting

In de periode 1961 tot en met 1964 werden op het proefterrein 'Sinderhoeve' te Renkum beregeningsproeven uitgevoerd met zomertarwe. In deze proeven werd ook de stikstofgift gevarieerd.

Op de zeer lichte, hoge zandgrond kon met toediening van voldoende water en meststoffen een opbrengstniveau worden behaald dat gelijk was aan dat op de zee-kleigronden en aanmerkelijk hoger dan dat op de zand- en dalgronden. Om dit niveau te bereiken was het nodig de standdichtheid van het gewas te vergroten door verhoging van de zaaizaadhoeveelheid.

Per mm beregeningswater bedroeg de meeropbrengst aan droge stof gemiddeld 33 en aan korrel 11,9 kg/ha. Het economisch gunstigste resultaat werd gevonden bij een beregening nadat 75 – 80% van het opneembare water in de grond verbruikt was. Intensivere beregening resulteerde vooral in een opvoeren van de stroproduktie.

Het waterverbruik van het intensief beregende gewas kwam ongeveer overeen met de E_0 volgens Penman en was hoger dan de ter plaatse gemeten panverdamping. Tussen drogestof produktie en waterverbruik werd bij de periodieke oogsten een rechtlijnig verband gevonden over een groot deel van de groeiperiode.

Er bleek een nauw verband te bestaan tussen het effect van de stikstofbemesting en de watervoorziening van het gewas.

Bij beregening kon het gewas veel meer stikstof opnemen en mede daardoor een hogere opbrengst leveren. Bij verdere intensivering van de beregening werd het optimum bij een lagere stikstofgift gevonden in verband met het eerder optreden van legering.

Summary

The effect of sprinkler irrigation and nitrogen on the yield of spring wheat on a sandy soil

Spring wheat is becoming a more and more important crop on irrigation farms situated on high sandy soils in the Netherlands. Sprinkler irrigation gave the possibility to avoid drought damage and wheat prices tended to rise in the developing European Common Market.

This was the reason to start in 1961 a sprinkler irrigation experiment with spring wheat on the experimental field 'Sinderhoeve' of the Institute for Land and Water Management Research (Netherlands). The experiment was continued during 4 years (see table 1 for some climatological data).

The soil of the field is a reclaimed heath soil with 6.5% organic matter in the top soil. The maximum root zone depth is about 70 cm, the total amount of available water is 90 mm. The groundwater table is situated at about 10 m below soil surface.

In 1961 the variety 'Peko' was used, in 1962 through 1964 'Jufy 1'. The number of moisture regimes was two in 1961 and four in the other years. In 1962 two nitrogen regimes were introduced, in the following years four. The experimental design was a spit plot with 4 to 6 replications. The main plots were moisture regimes that were subdivided into small plots to receive the two to four nitrogen rates. One moisture regime received natural rainfall only and the other received rainfall plus irrigation by the sprinkler method (see fig. 1) when gravimetric analysis indicated that a certain percentage of the available water in the main root zone had been used (table 3).

The production level of the non-irrigated spring wheat was in the wet summer of 1962 almost equal to that of the sandy soils and reclaimed peat subsoils (table 2). In the rather dry growing seasons of 1961 and 1964 it was much lower. The production level of irrigated spring wheat was slightly higher than that of the clay soils and as a mean considerably higher than that of the sandy soils and reclaimed peat subsoils in the Netherlands.

The increase in yield by irrigation is caused by increase of the number of heads as well as the number of grains per head and the grain weight (table 3).

In the years 1961 and 1963, when a low quantity of 160 kg seed per ha was used, irrigation increased the number of heads by approx. 30%, in the years 1962 and 1964, with 220 kg seed per ha, only approx. 10%. The number of grains per head was in particular raised in the dry growing seasons of 1961 and 1964. In a wet growing season irrigation caused even a slight decrease of the number of grains per head. The grain weight increased in particular in a dry growing season with rather high temperatures, as it happened to be in 1964. In a wet season irrigation decreased the grain weight, probably as a consequence of lodging. Raising of the irrigation frequency re-

sulted in most years in a greater increase of the number of heads and a smaller increase of the grain weight; there was no significant effect with regard to the number of grains per head (table 3, 1962, 1963 and 1964).

The mean yield increase per mm irrigation water was 11.9 kg per ha. Raising the irrigation frequency decreased the effect per mm. The grain-straw ratio increased at moderate irrigation, that is to say after use of at least 50% of available water. More intensive irrigation resulted particularly in a larger straw production.

In all years except 1962 the yield increase in grains, expressed in guilders, surpassed the cost of irrigation including labour. The economically best results were obtained with moderate irrigation, that is to say, after use of 75 to 80% of the available water (table 4).

The low density of the crop caused by the complete absence of tillering of the used varieties on the poor sandy soil could be compensated by raising the seed quantity from 160 to 220 kg per ha. The growing pattern of the crop is shown in fig. 4.

The water use of the frequently irrigated crop was in the period of tillering to ripening almost equal to the free water evaporation (E_0) calculated with the Penman formula and was something higher than the evaporation of a shallow sunken pan (fig. 2 and 3). There was a good relation between dry matter production and water use in particular when data were used coming from periodical harvests (fig. 5). The dry matter production per mm reached a value of about 33 kg per ha which is a higher value than is mentioned in American and German literature. The dry matter production was also related to the mean pF in the main root zone (fig. 6). Total dry matter production decreased sharply when the pF surpassed values of 2.2. The grain production was less sensitive to higher pF-values, a diminishing started at a value of 2.6. Frequent irrigation stimulated obviously the straw production in particular.

The different nitrogen rates applied in 1963 and 1964 (see fig. 9) had a great response on the irrigated plots (fig. 7 and 8). Increasing the nitrogen gift above 60 kg/ha diminished in the dry summer of 1964 the grain production on the control plots, owing to the stronger vegetative development and the corresponding greater consumptive use of water. The highest grain production with irrigation was obtained in 1963 en 1964 with an average quantity of 108 kg pure nitrogen per ha (fig. 10).

Analysing the total in water soluble nitrogen in soil samples gave no useful data (fig. 11), analysing the nitrogen in the crop itself proved that the consumption of the irrigated crop was about 40% higher than that of the non-irrigated one (table 5).

From the experiment the following general conclusions could be drawn:

1. The production level of spring wheat on a poor sandy soil can, with irrigation and a corresponding nitrogen supply, almost be raised to the level obtained on the best clay soils in the Netherlands.
2. To get a sufficient number of heads per unit area it is, at least with the variety July 1, necessary to increase the usual quantity of seed.
3. The economically best results can be obtained with a moderate irrigation regime. That is to say, supplying water each time that 75 to 80% of the available water in

the main root zone has been used.

4. The highest grain production with a moderate irrigation regime can be obtained with a nitrogen rate of 110 kg/ha if the soil itself delivers about 50 kg of for the plant available nitrogen. A more intensive irrigation requires, to avoid lodging, a lower nitrogen rate of about 70 kg/ha.

Literatuur

- BAARS, C. 1964 Rentabiliteit van de beregening van landbouwgewassen op zandgronden. *Stikstof* 43: 245-255.
- BAARS, C., A. J. HELTINGS en 1956 Beregening in de landbouw. Ceres, Meppel.
L. WARTENA
- BOGUSLAWSKI, E. VON, 1954 Nährstoffverhältnis in der Düngung und Ertragsbildung.
A. VÖMEL und Z. Acker- und Pfl. Bau 97: 267-298.
G. REICHELT
- BOONSTRA, A. E. H. R. 1934 Physiologisch onderzoek ten dienste van de plantenveredeling. Diss, Utrecht.
- BROUWER, W. 1958 Die Feldberegung. DLG-Verlag, Frankfurt Main.
- BURG, P. F. J. VAN 1965 De stikstofbemesting bij granen. *Stikstof* 45-46: 354-362.
- CZERATZKI, W. 1965 Die Grundlagen für den gelenkten Einsatz der Beregung. *Landtechnik* 20. 10: 374-378.
- HETTINGA, D. en 1966 Effect van rijenafstand en beregening bij zomertarwe op
C. G. TOUSSAINT zandgrond. *Landbouwk. Tijdschr.* 78. 1: 38-43.
- HOBBS, E. H. , 1963 Effects of levels of minimum available soil moisture on crop
K. K. KROGMAN and yields. *Canad. J. Plant Sci.* 43: 441-446.
L. C. SONMOR
- KLAPP, E. 1962 Ertragssteigerung und Wasserverbrauch landwirtschaftlicher
Kulturen. *Z. Kulturtechn.* 3. 1: 1-5.
- KLATT, F. 1963 Die Beregung der Getreidearten an Hand 10-jähriger
Beregnungsversuche. *Z. Landeskult.* 4. 1: 3-34.
- MARTIN, K. H. 1965 Pflanzenbau und Beregung. *Landtechnik* 20. 10: 370-373
- MITSCHERLICH, E. A. 1956 Ertragsgesetze. Akademie Verlag, Berlin, Auflage 1956.
- MOORE, CH. V. 1961 A general analytical framework for estimating the pro-
duction function for crops using irrigation water. *J. Farm
Economics* 43. 4. 1: 876-888.
- NIESCHLAG, F. 1963 Die Düngung in der Praxis. Paul Parey. Berlin.
- PENMAN, H. L. 1956 Estimating evaporation. *Trans. Am. Geoph. Union* 37: 43-50.
- RIJTEMA, P. E. 1965 An analysis of actual evapotranspiration. Diss. Wageningen.
- TOUSSAINT, C. G. 1965 Het effect van water en stikstof op al dan niet met C.C.C.
(Chloor Cholin Chloride) bespoten winter tarwe. *Stikstof*
45-46: 391-395.
- TROMP, J. 1962 Interactions in the absorption of ammonium potassium and
sodium ions by wheat roots. Leiden.
- WIT, C. T. DE 1958 Transpiration and crop yields. Meded. 59 Inst. Biol. Scheik.
Onderz. Landb. gewassen, Wageningen.