

CODEN: IBBRAH (1-77) 1-31 (1977)

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

RAPPORT 1-77

DE INVLOED VAN STIKSTOFBEMESTING OP DE WORTEL- EN SPRUITGROEI  
VAN ROGGE

door  
J.J. SCHUURMAN

1977  
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Haren (gr.)

---

*Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 1-77 (1977) 31 pp.*

## INHOUD

Inleiding	3
Uitvoering van de proef	6
Verzamelde gegevens	8
A. Wortelontwikkeling	8
B. Bovengronds gewas	10
C. Spruit-wortel verhoudingen	13
D. Stikstofhuishouding in het gewas	14
E. Stikstofhuishouding in de grond	14
F. Waterhuishouding in de grond	18
G. De temperaturen	21
Bespreking der resultaten	23
Samenvatting	26
Literatuur	28

## INLEIDING

Over de invloed van stikstof op de wortelgroei van landbouwgewassen is een vrij groot aantal onderzoekingen verricht. De vergelijkbaarheid van de resultaten laat echter te wensen over. Dit kan een gevolg zijn van het werken onder verschillende omstandigheden en met diverse gewassen. Ook is het mogelijk, dat alle stikstofmeststoffen niet dezelfde werking hebben. Een ander belangrijk punt kan zijn, dat men verschillende eigenschappen van het wortelstelsel heeft bepaald of eigenschappen van de wortelstelsels op ongelijke tijdstippen gedurende de groeiperiode van de planten. Vele onderzoekers bepaalden het totale wortelgewicht. Men moet er evenwel op bedacht zijn, dat dit niet altijd een betrouwbare maatstaf is voor kwalitatieve verschillen tussen wortelstelsels. Worden er verschillen in wortelgewicht gevonden bij planten van dezelfde soort, dan is dat inderdaad een aanwijzing, dat de ene plant meer wortels heeft gevormd dan de andere. Dit hoeft evenwel niet te betekenen dat de wortels ook morfologisch aan elkaar gelijk zijn. Bij gelijke wortelgewichten is de hoeveelheid materiaal weliswaar gelijk, maar ook dan hoeft dit niet te betekenen, dat de wortelstelsels morfologisch aan elkaar gelijk zijn. Dunne lange wortels kunnen uiteindelijk evenveel wegen als korte dikke. Daarom moet men dus zeer voorzichtig zijn met vergelijkingen van wortelgewichten. Voor een goed begrip is het niet mogelijk alleen hiermee te volstaan. Het is nodig, dat er gelijktijdig hiermee andere gegevens, zoals de totale worteldiepte, verdeling van de wortels in het profiel, aantal hoofdwortels en, zo mogelijk detailgegevens van afzonderlijke wortels in beschouwing worden genomen. Daarbij dient men echter wel rekening te houden met de omstandigheid, dat de wortels van een plant niet alle even oud zijn. Voor detailonderzoek moeten wortels worden uitgezocht, die voldoende oud zijn om op de uitwendige omstandigheden gereageerd te hebben.

De positieve invloed van stikstof op de vorming van bovengrondse plantenmassa is algemeen bekend. Uit de literatuur blijkt, dat stikstof ook een invloed uitoefent op de wortelontwikkeling van landbouwgewassen. Vele onderzoekers vonden een toename van de totale wortelgewichten bij hogere stikstofgiften tot een bepaald maximum, waarna in sommige gevallen bij nog hogere stikstofgiften de hoeveelheid wortels afnam of gelijk bleef. (Nobbe, 1862; van Thiel, 1876; Höveler, 1892; Frank, 1893; Müller-Thurgau 1894; von Seelhorst, 1902; Livingston, 1906 en Brenchley en Jackson, 1921, allen geciteerd naar Crist en Weaver, 1924; Meyer, 1927/28, geciteerd naar Köhnlein en Vetter, 1953; Crist en Stout, 1929; Tollenaar, 1930, geciteerd naar Goedewaagen, 1942; Goedewaagen, 1932; Sprague, 1934, geciteerd naar Troughton, 1957; Van Dordt, 1934; Demandt, 1934, geciteerd naar Goedewaagen, 1942; Watkins, 1940, geciteerd naar Troughton, 1957; Burkholder en Mc Veigh, 1940; Benedict en Brown, 1944, geciteerd naar Troughton, 1957; Berkner, 1944; Pinck en Allison, 1947; Gericke, 1948, geciteerd naar Köhnlein en Vetter, 1953; Goedewaagen en Schuurman, 1950; Gliemeroth, 1955; El Hinnawy, 1956; Knoch et al., 1957; Troughton, 1956; Ehrendorfer, 1958; Haas, 1958; Lippert, 1959; Wright, 1962; Lebedev et al., 1965; Hylton et al., 1965; Jimeno en Lozano, 1966; Knoch, 1967; Klemm, 1967; Steineck, 1967; Grass, 1970; Cerny en Belzova, 1971; Troughton, 1971; Welbank et al., 1974.

Toch is het de vraag of dit een algemene regel is. Verschillende auteurs spreken namelijk ook van een vermindering van de hoeveelheid wortels bij toenemende stikstofgiften, zoals Reid (1933); Sprague (1934); Watkins (1940); Goedewaagen (1952); Richardson (1953); Duncan en Ohlrogge (1958); Lippert (1959); Mitchell (1961); Goedewaagen (1955) en Oswald Bertrand en Teel (1959). Taby en Ouelette (1966); Powell et al., (1967); Cerný en Belzová (1971).

*Periodieke bepalingen* van de wortelgewichten werden slechts weinig uitgevoerd (Pinck en Allison, 1947; Gliemeroth, 1955; Goedewaagen, 1955; Oswald, Bertrand en Teel, 1959; Holt en Fisher, 1960; Jimeno en Lozano, 1966; Welbank c.s., 1976). Uit de verkregen gegevens blijkt echter, dat men *zeer voorzichtig moet zijn met eenmalige bepalingen* aan jonge planten, omdat het voorkomt, dat een gewas in een jong stadium nog niet reageert, maar later wel (Pinck en Allison, 1947) of zelfs, dat de wortelgroei in een jong stadium wordt bevorderd en later achterblijft (Watkins, 1940, geciteerd naar Troughton, 1957) of aan het eind van de groei weer gelijk is (Linscott et al., 1962) of zelfs groter (Welbank et al., 1974). Bijzonder voorzichtig moet men zijn met gegevens uit late groeistadia, omdat de afgestorven wortels, volgens Goedewaagen (pers.meded.) bij veel stikstof sneller verteren.

Een aantal onderzoekers ging na of de wortelgroei in *verschillende lagen* van de grond werd beïnvloed door normaal toegediende stikstof giften. In verschillende gevallen nam de hoeveelheid wortels bij stikstofbemesting in alle lagen toe (Tollenaar, 1930; Van Dort, 1934; Demandt, 1934; Knoch et al., 1957; Haas, 1958) maar er werd ook waargenomen, dat de wortelontwikkeling alleen in de ondergrond toenam (Goedewaagen, 1942) of zelfs dat stikstofbemesting een ongunstige invloed had op een bepaalde laag (Goedewaagen, 1952, 1955; Williams et al., 1963).

De *worteldiepte* werd in bepaalde gevallen niet beïnvloed door stikstofbemesting (Goedewaagen, 1932), in een ander geval nam deze toe bij zaailingen van esdoorn en af bij Engels raaigras (Richardson, 1953).

Stikstofgiften *in bepaalde lagen* van de grond deden de hoeveelheid wortels in deze lagen toenemen (Crist en Weaver, 1924; Goedewaagen, 1932; Sokolov, 1939; Gliemeroth, 1955). Onder een bemeste laag was de worteldiepte geringer (Crist en Weaver, 1924).

Het ligt voor de hand om bij een toeneming van wortels onder invloed van stikstof te denken aan *zijwortelvorming* en *lengtegroei* hiervan. De gegevens hierover zijn niet eensluidend en slechts enkele auteurs verstreken gegevens over beide eigenschappen. Sommige auteurs vonden een sterke toename van de zijwortelvorming onder invloed van stikstof (Brenchley en Jackson, 1921; Crist en Weaver, 1924; Gliemeroth, 1955; Wiersum, 1958). De lengte van de zijwortels nam hierbij ook toe (Brenchley en Jackson, 1921). Sléskin (1908) en Reid (1933) vonden echter bij veel stikstof, dat de wortels niet sterk vertakt waren. Stikstofbemesting gaf in sommige gevallen korte, dikke wortels (Reid, 1933; Bosemark, 1954; Bergmann, 1954; Knoblauch et al., 1955; Oswald et al., 1959). Volgens Mulder (1954) werden de wortels van graanplanten bij veel stikstof minder stevig en minder verhout.

De *groeisnelheid* van de wortels van esdoornzaailingen nam bij stikstofgebrek af (Richardson, 1953). Brouwer et al., (1961) vonden dat de lengtegroei per dag zonder stikstof bij kiemplanten van enkele graansoorten groter was dan met stikstof.

Door verschillende onderzoekers werd waargenomen, dat de *spruitwortel verhouding* werd beïnvloed door stikstof. Toeneming van de spruitgroei t.o.v. de wortelgroei bij hogere stikstofbemesting werd o.a. gevonden door Meyer (1927/28); Crist en Stout (1929); Sprague (1934) (geciteerd naar Troughton) 1957; Burkholder en McVeigh (1940); Goede-waagen (1952); Richardson (1953); El Hinnawy (1956); Troughton (1956); Kmoch et al. (1957); Ehrendorfer (1958); Grunes en Krantz (1958); Lippert (1959); Brouwer et al. (1961); Vose (1962); Lebedev (1963); Hylton et al. (1965); Lambert (1965); Klemm (1967); Steineck (1967).

In enkele onderzoeken is de werking van *ammoniak en nitraat* vergeleken. Troughton (1957) geeft hiervan een kort overzicht. Hieruit blijkt, dat Darrow (1939) bij *Poa pratensis* een hoger wortelgewicht vond bij de met nitraat dan bij de met ammoniak bemeste planten. Harrison (1934) kreeg grotere platen met nitraat dan met ammoniak. Sprague (1934) zag, dat bij extra ammoniak in de winter het gewicht van wortels en spruiten geringer was, terwijl nitraat een toename t.o.v. de controle te zien gaf. Weinmann (1943) vond in veldproeven, dat het wortelgewicht bij nitraatbemesting iets hoger was dan dat verkregen met ammoniumsulfaat, maar de meeste verschillen waren niet statistisch betrouwbaar. Steineck (1967) vond in water cultures, dat er door haver bij gelijke hoeveelheden  $\text{NO}_3$  en  $\text{NH}_4$  ionen bij de eerste als regel meer wortels werden gevormd dan bij de laatste. Klemm (1967) vond daarentegen in een proef met tomaten op een voortdurend ververste voedingsoplossing overwegend hogere wortelgewichten bij ammoniak dan bij nitraat.

Een bijzonder interessant punt is nog, dat *zaden met een hoog stikstofgehalte* en een laag koolstofgehalte zaailingen produceerden met een grote spruit en een klein wortelstelsel. Zaden met weinig stikstof en veel koolstof daarentegen produceerden planten met kleine spruiten en grote wortelstelsels (Reid, 1929, geciteerd naar Troughton, 1962).

Ten slotte kan nog worden vermeld, dat *langzaam beschikbaar komende stikstof* een sterkere wortelgroei gaf dan oplosbare meststoffen (Sprague, 1933, geciteerd naar Troughton, 1957).

Uit dit literatuuroverzicht blijkt, dat de gegevens over de invloed van stikstof op de wortelontwikkeling en de hiermee samengaande verschijnselen op verschillende punten onvolledig zijn en elkaar hier en daar tegenspreken. Bovendien werden er geen proeven genomen, waarin alle aspecten te zamen werden onderzocht. Het is vanzelfsprekend niet mogelijk de aspecten in één onderzoek onder te brengen. Daarom werd een proef genomen met winterrogge bij verschillende stikstoftrappen, waarin de samenhang tussen verschillende factoren, (de groei van wortels en spruit met de bemesting), werd onderzocht door gelijktijdige bepalingen.

## UITVOERING VAN DE PROEF

Voor de proef werd gebruik gemaakt van betonnen buizen met een inwendige doorsnee van 30 cm en een hoogte van 100 cm, die in een grote betonnen bak waren geplaatst. Deze verticaal staande buizen werden met grond gevuld, zodat het volgende profiel ontstond:

0-10 humeuze bouwvoor  
 10-30 bouwvoor, gemengd met ondergrondzand  
 30-70 ondergrondzand (mengsel van lood- + bruin + geel zand)  
 70-100 geel zand.

We hebben hier dus te maken met een zandprofiel met afnemend humuspercentage tot 70 cm. De volumegewichten waren resp. 1,30, 1,45, 1,50 en 1,53.

De eigenschappen van de grond uit de bouwvoor waren als volgt:

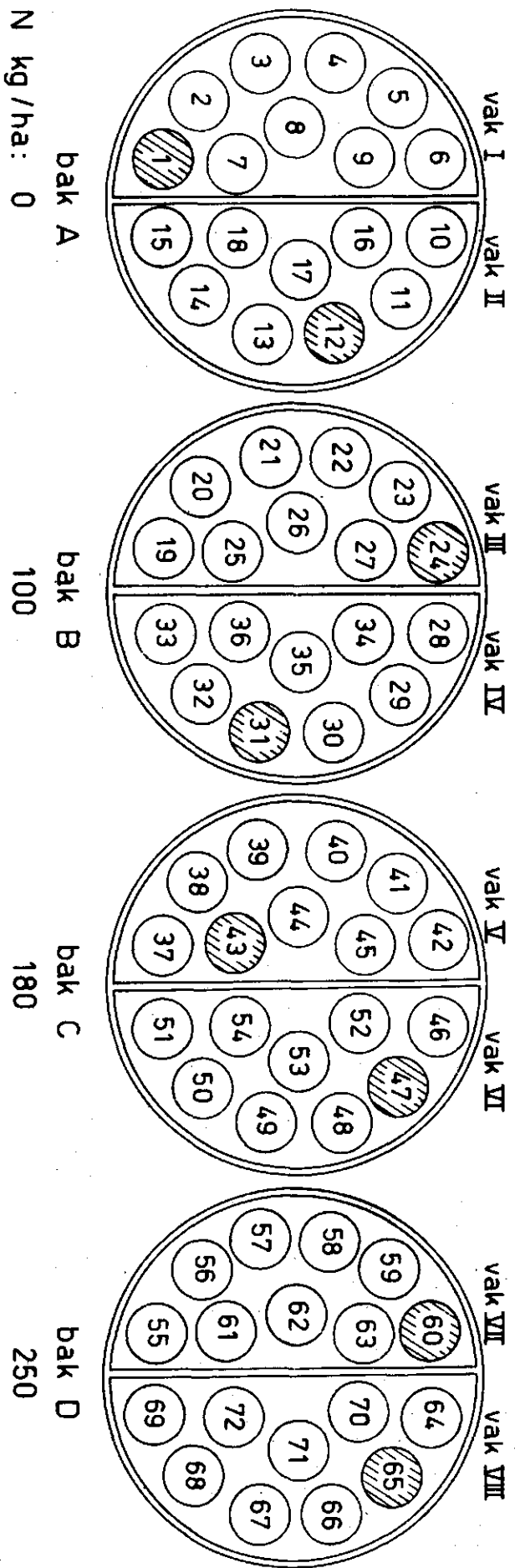
pH-H <sub>2</sub> O	Humus	P-get.	P.citr.	K-get.
5,20	5,7%	3	48	18

De grondwaterstand werd bepaald op 90 cm beneden maaiveld, met de bedoeling deze los te laten na een bepaalde datum. Deze maatregel werd genomen om de toestand in het veld na te bootsen waar de grondwaterstand in de zomer ook zakt. Op de datums, waarop tengevolge van regenval de grondwaterstand boven 90 cm kwam, werd het overtollige water weggepompt.

Van oorsprong was de grond stikstofarm. Er werden drie hoeveelheden stikstof gegeven, zodat er vier stikstoftrappen ontstonden, namelijk: 0 N, 100 N, 180 N en 250 N in kg per ha.

Het proefgewas was rogge, ras Petkuser. De proef werd in 16-voud opgezet. Hierdoor was het mogelijk om de groei van de wortels en het gewas onder invloed van de stikstof regelmatig met korte tussenperiodes te vergelijken. Bij elke bemonstering werd dan een profiel met het gewas opgeofferd. De plattegrond van de proef is weergegeven in figuur 1; het bemonsteringsschema is hieraan toegevoegd.

De buizen werden tussen 12 en 27 oktober gevuld. Op 28 oktober werd de grondwaterstand op 90 cm beneden maaiveld gebracht. De rogge werd 29 oktober gezaaid. Op 17 november werden fosfaat en kali gegeven in de vorm van respectievelijk d-sup en Zk. De hoeveelheden waren berekend op 310 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en 205 kg K<sub>2</sub>O per ha. De stikstofbemesting werd 3 maart gegeven in de vorm van ammoniumnitraat.



grondwaterstand:

 onbegroeide buis

Bemonsteringsplan

bemonst.	1e	2e	3e	4e	5e	6e	7e	8e	9e	10e	11e	12e	13e	14e	15e	16e
bak A	2	4	6	8	10	11	13	15	17	3	5	7	9	14	16	18
B	19	21	23	25	27	28	30	32	34	36	20	22	26	29	33	35
C	38	40	42	44	46	48	50	52	54	37	39	41	45	49	51	53
D	55	57	59	61	63	66	68	70	72	56	58	62	64	67	69	71

Fig. 1. Plattegrond Vp 379, winterrogge, 1959. Zandprofiel met een afnemend humuspercentage tot 70 cm; dieper: geel zand.

## VERZAMELDE GEGEVENS

### A. Wortelontwikkeling

Om de wortelgewichten te bepalen werden bij iedere bemonstering in een profiel 6 boringen verricht, telkens in lagen van 10 cm. Van deze monsters werden ook de vochtgehalten bepaald. De grond, die tussen deze boringen bleef staan werd, ook in lagen van 10 cm, als restmonster verzameld. Alle grondmonsters werden gespoeld, waarna de wortels kwantitatief werden verzameld.

In figuur 2A zijn de totale gevonden hoeveelheden weergegeven. Hieruit blijkt, dat de wortelgroei tot eind maart zeer gering is geweest. Tot midden april was de hoeveelheid wortels bij 0 N zelfs iets groter dan bij de bemeste objecten. Begin april begon de groei van de wortels pas goed en wel het eerst bij het onbemeste object en daarna in de volgorde 100, 180 en 250 N. *Dit betekent dus, dat men, als in een vroeg stadium wordt bemonsterd, een afname in de hoeveelheden wortels kan vinden bij stijgende stikstofbemesting.* Eind april was dit echter afgelopen, doordat de groei van de wortels bij 0 N toen sterk achter bleef. Op 21 mei was de volgorde der objecten volledig omgedraaid: de hoeveelheid wortels nam vanaf dit moment toe met stijgende stikstofbemesting. Uiteindelijk werden de meeste wortels gevormd in het object 250 N en vervolgens afnemend, naarmate er minder stikstof was gegeven. Dit is dus in overeenstemming met een groot aantal auteurs. Het is niet helemaal duidelijk of de maximale hoeveelheid wortels in alle objecten te zelfdertijd werd bereikt.

Dilz (1964) vond tijdens de bloei een stagnatie in de stijging van de wortelgewichten. Bij ons is hier niets van gebleken, maar dit kan een gevolg zijn van te grote intervallen. Nadat de hoeveelheden wortels een maximum hadden bereikt namen ze snel weer af: het sterkst, naarmate er meer stikstof was gegeven, zoals ook door Goedewaagen werd gevonden (pers.meded.) (Cerný en Belzová, 1971).

De wortelgewichten zijn ook afzonderlijk bepaald voor de lagen van 0-10, 10-20, 20-30, 30-70 en 70-100 cm. Uit figuur 2B volgt, dat de hoeveelheden wortels in de laag van 0-10 cm tot ongeveer 17 april gelijk waren. Daarna begonnen ze in alle objecten toe te nemen. Op 24 april bleef eerst het 0-object achter en vervolgens ook 100 en 180 N. De hoeveelheden wortels namen dus toe, naarmate meer stikstof was gegeven. Het maximum werd omstreeks midden juni bereikt of mogelijk iets eerder. Na 16 juni namen de hoeveelheden wortels in de bemeste objecten sterk af, bij het onbemeste object was dit in slechts geringe mate het geval. Aan het eind van het groeiseizoen waren de hoeveelheden wortels in alle objecten vrijwel gelijk.

In grote trekken ging de wortelontwikkeling in de diepere lagen parallel met die in de laag van 0-10 cm (figuren 2C t/m 2F). Steeds was er een toename van de hoeveelheden wortels tot een maximum, gevolgd door een afname. In alle lagen was het maximum ook hoger, naarmate meer mest was gegeven (Tollenaar, 1930; Van Dort en Demandt, 1934; Knoch et al., 1957; Haas, 1958). Alleen in de laag van 70-100 cm kwam de wortelontwikkeling later op gang en werd het maximum ook later bereikt dan in de bovenliggende lagen, vooral in het object 250 N.



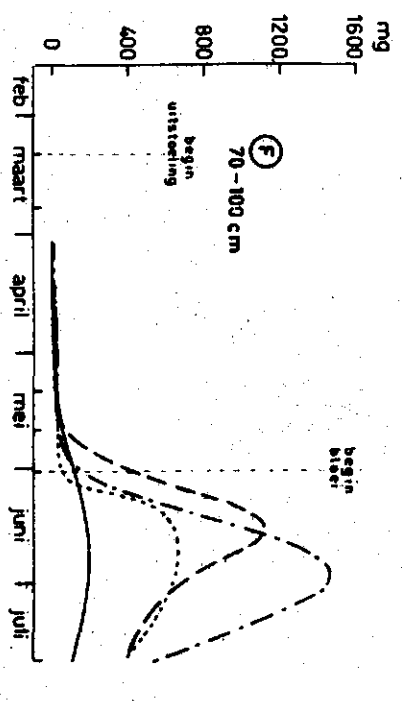
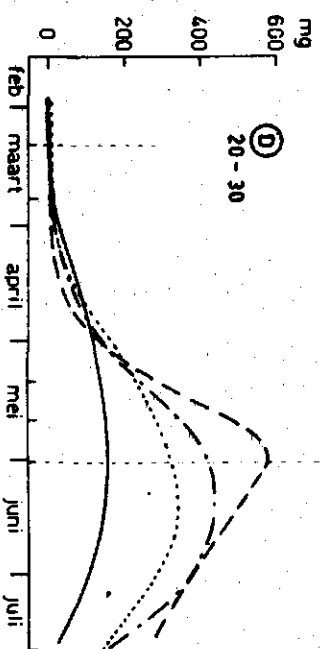
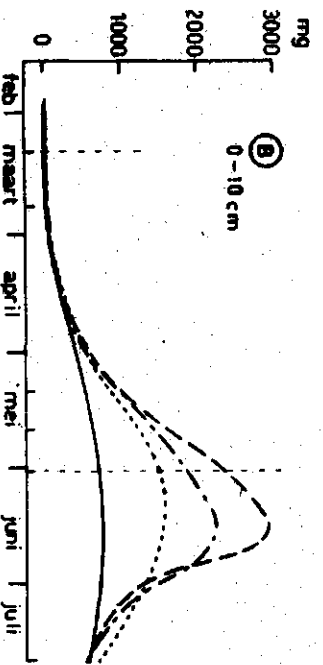
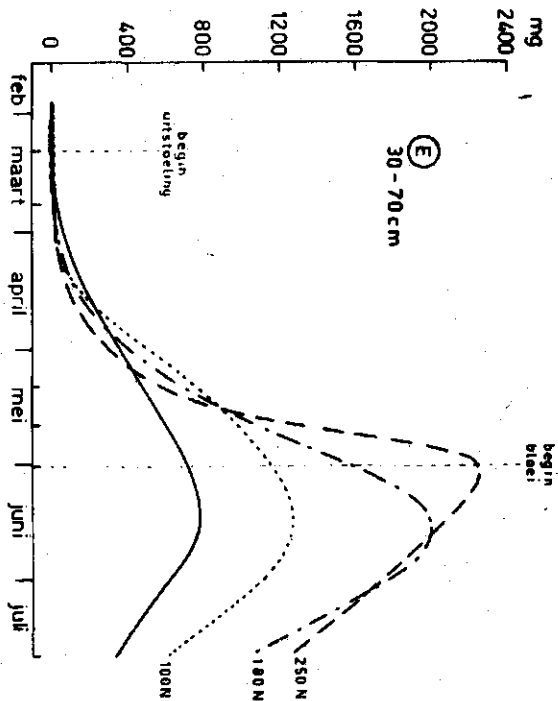
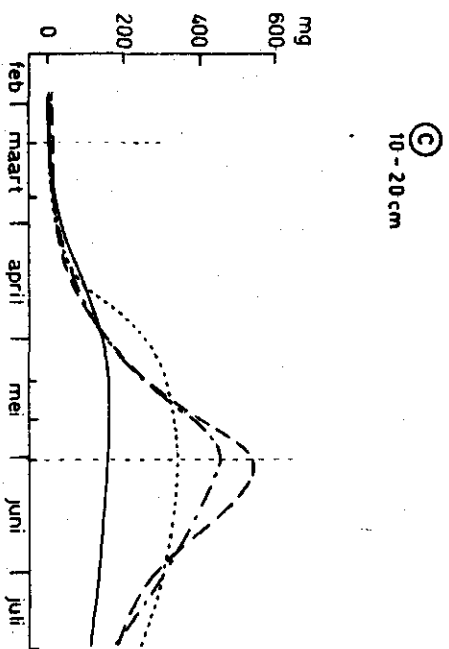
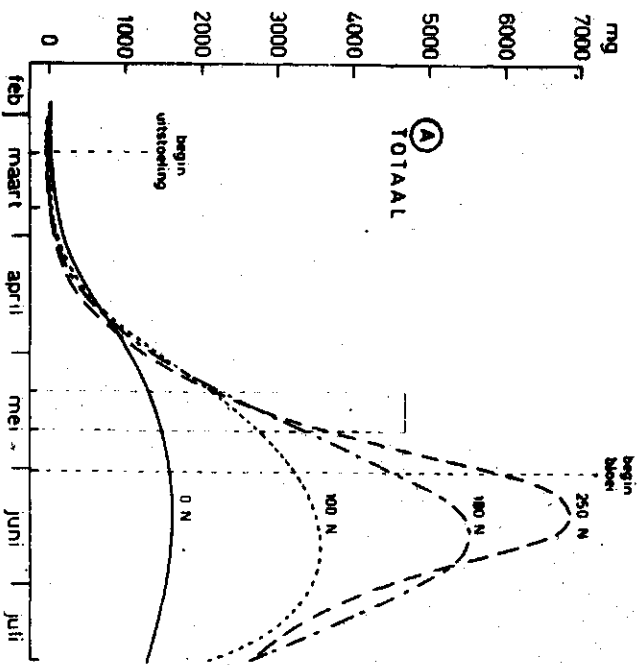
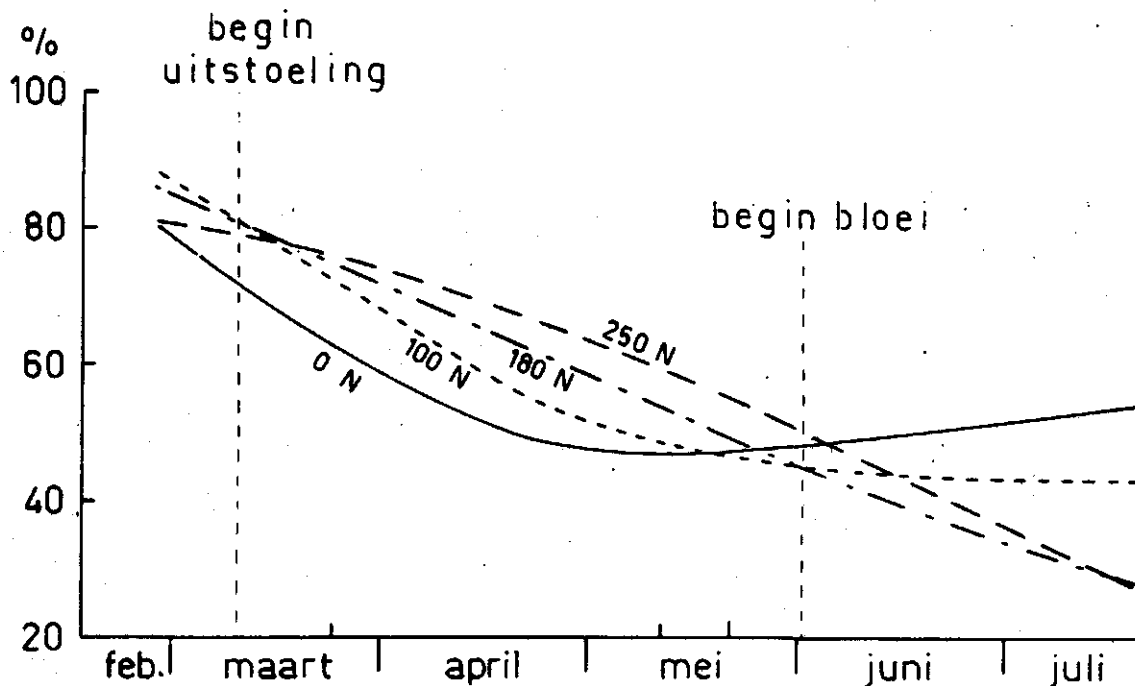


Fig. 2. A: Totale wortelgewichten. B: Wortelgewichten in de laag van 0-10 cm. C: Idem 10-20 cm. D: Idem 20-30 cm. E: Idem 30-70 cm. F: Idem 70-100 cm.



Figuur 3. Percentages wortels in de laag 0 - 20 cm.

De maximale worteldiepte vertoonde weinig verschillen in verband met de stikstofbemesting. Goedewaagen (1932) vond ook geen verschillen, maar dit kan veroorzaakt zijn door het feit, dat de bakken waarin de planten groeiden, allemaal ook 100 cm diep waren.

Mogelijk waren de wortels van de objecten 250 en 180 N in onze proef op 25 februari ongeveer 10 cm dieper doorgedrongen dan die van de andere objecten. Dit zou dan wijzen op een *snellere* dieptegroei bij meer stikstof. Eind maart waren deze verschillen echter verdwenen. De maximale worteldiepte bedroeg bij alle objecten 100 cm, d.i. de hoogte van de profielen.

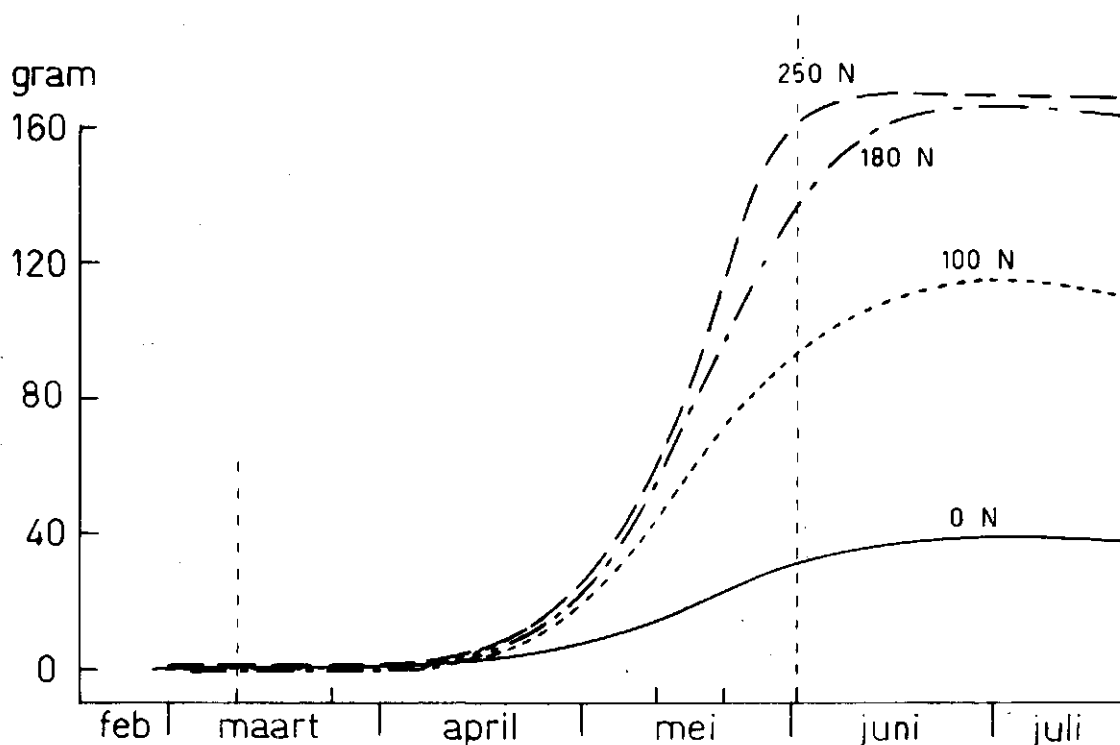
Het percentage wortels in de laag van 0-20 cm is weergegeven in figuur 3. Uit deze figuur blijkt, dat dit percentage bij alle objecten afnam, naarmate de planten ouder werden met uitzondering van het 0-object. Het is niet duidelijk, hoeveel gewicht er aan deze afwijking moet worden toegekend, omdat de spreiding der gegevens nogal groot was.

#### B. Bovengronds gewas

De rogge werd 29 oktober gezaaid. Per buis werden 21 pootgaten gemaakt, waarin telkens 2 zaden werden gelegd. Op 2 december hadden de jonge plantjes een lengte van 6 à 7 cm. Op 10 december werd het aantal plantjes teruggebracht tot 5 per buis. Hiervoor werden de in het centrum van

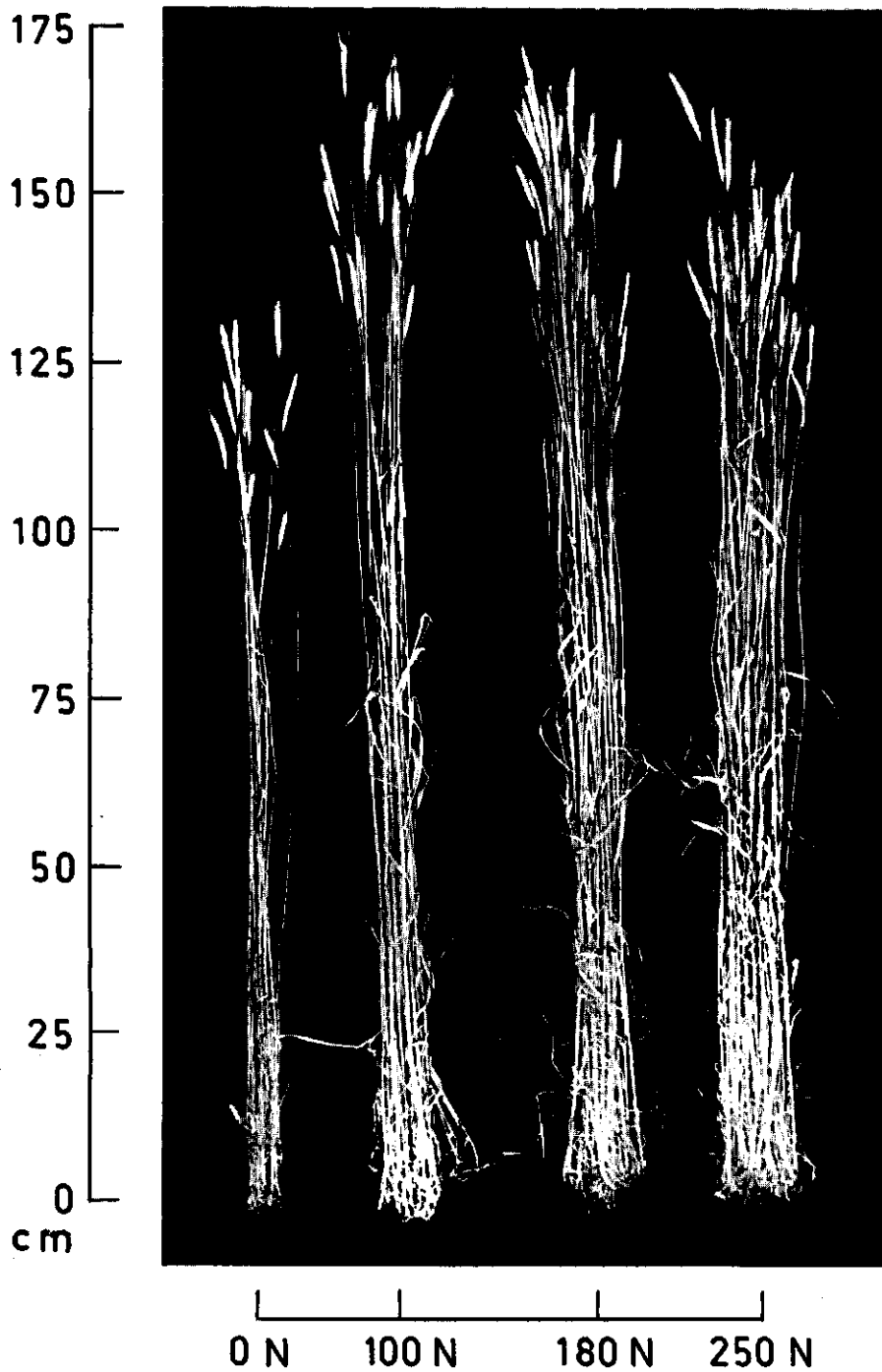
de buis staande polletjes gespaard. Begin maart begonnen de plantjes uit te stoelen. Begin april begon de *lengte*groei door te zetten. Tot die datum was er nog geen sprake van lengteverschillen als gevolg van de stikstofbemesting. Na 2 april bleven de planten op het 0-object echter achter en dat was in geringere mate ook het geval met die van het object 100 N.

Het *drooggewicht* der planten bleef ongeveer constant tot midden april (figuur 4). Dit zou impliceren, dat de lengtegroei tussen 24 maart en begin april nauwelijks gepaard is gegaan met opname en vorming van droge stof. Gezien de geringe gewichten per plant lijkt deze conclusie echter niet vaststaand. Het drooggewicht nam zeer snel toe in de periode van 13 april tot 1 juni en nam in de rijpingsperiode weer iets af.



Figuur 4. Drooggewichten van de bovengrondse delen.

Op 20 april hadden de planten op het 0-object reeds een duidelijke achterstand, op 27 april begonnen die op het object 100 N achter te blijven en daarna bleven ook die van 180 N achter. Op 21 mei was de toestand duidelijk zo, dat de gewichten met de hoeveelheid gegeven stikstof toenamen. Het verschil tussen 180 en 250 N bleef echter betrekkelijk gering en nam aan het eind van de vegetatieperiode zelfs nog af (figuur 5).



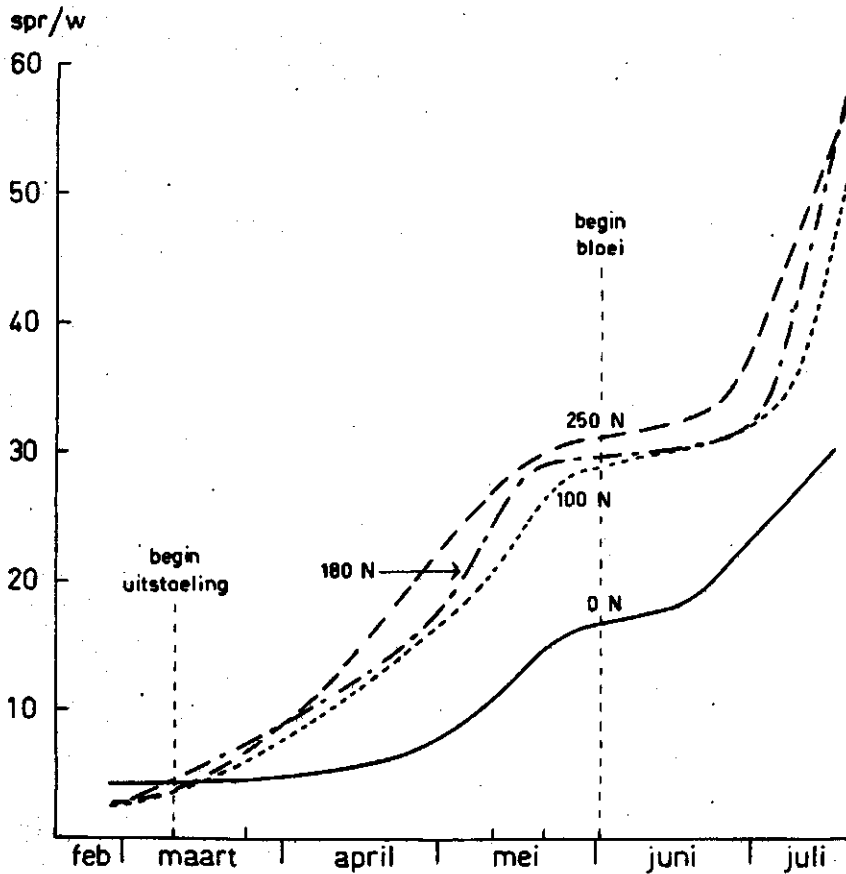
Figuur 5. Het gewas op 16 juni.

De korrelgewichten zijn weergegeven in onderstaand tabelletje. Ze namen toe, naarmate er meer stikstof was gegeven. Ze waren bij 0 N bijzonder laag, wat, gezien de gegevens van figuur 4 en 5 ook wel te verwachten was.

	0	100	180	250
29 juni	3,4	11,5	16,1	26,6
20 juli	7,6	25,1	32,7	40,5

### C. Spruit-wortel verhoudingen

Deze zijn weergegeven in figuur 6. Hierbij moet bedacht worden, dat de gegevens van de wortels betrekking hebben op de restmonsters. Spruiten en wortels zijn droog gewogen.



Figuur 6. Spruit-wortel verhoudingen.

Uit figuur 6 kan worden afgeleid dat de *spruit-wortel verhouding* duidelijk het laagst was bij 0 N en de neiging heeft te stijgen met toenemende hoeveelheden stikstof. Verder blijkt, dat de spruit-wortel verhouding bij alle vier objecten ongeveer vanaf het uitstoelen tot het begin van de bloei regelmatig toenam, vervolgens tot het begin van het afrijpen slechts weinig veranderde, maar daarna, vooral bij de objecten met stikstof weer sterk toenam.

#### D. Stikstofhuishouding in het gewas

Het stikstofgehalte is periodiek bepaald in de wortels van de lagen 0-10, 10-20, 20-30, 30-70 en 70-100 cm. Hieruit is de totale hoeveelheid stikstof in de wortels berekend. Deze gegevens worden weergegeven in figuur 7 A-F. Uit figuur 7B-F blijkt, dat de laag 0-10 een geheel ander beeld geeft dan de andere lagen. In deze laag was het stikstofgehalte in het onbemeste object vrijwel constant 0,4%. Bij de 3 bemeste objecten steeg het stikstofgehalte van 0,4 tot ongeveer 0,9% in de tweede helft van april. Daarna daalde het weer: bij 250 N tot ongeveer 0,65%, bij 180 en 100 N tot 0,4%. Dit laatste duidt in ieder geval op *verminderde stikstofopname per eenheid wortels* in deze periode.

In de lagen van 10-20, 20-30, 30-70 en 70-100 cm was het stikstofgehalte eerst hoog, maar daalde in april snel en bleef vervolgens min of meer constant. Het stikstofgehalte was tot een diepte van 70 cm duidelijk afhankelijk van de bemesting. In de laag van 70-100 cm gingen de verschillen niet samen met de bemestingen.

De totale hoeveelheden stikstof in de wortels van de vier objecten vertoonden tot begin april geen verschillen, hoewel de bemesting al op 3 maart was gegeven (figuur 7A). Daarna was er een duidelijk verband met de bemestingen. De maximale hoeveelheid stikstof in de wortels werd gevonden omstreeks midden juni, d.w.z. na de bloei. Daarna namen de hoeveelheden af als gevolg van de vermindering van de hoeveelheden wortels. Deze afname was het sterkst bij de hoge stikstofgift en verminderde, naarmate er minder stikstof was gegeven.

Het stikstofgehalte van het stro is bij iedere bemonstering bepaald (figuur 8). Uit deze figuur blijkt, dat het gehalte tot ongeveer 13 april hoog was, daarna zeer snel daalde tot eind april bij het 0-object, begin mei bij 100 N en tot ongeveer 21 mei bij 180 en 250 N en vervolgens vrijwel constant bleef. Het stikstofgehalte was tot circa 21 mei hoger, naarmate er meer stikstof was gegeven, daarna waren de verschillen tussen de objecten van geen betekenis. Het *hoogste stikstofgehalte per object werd eerder bereikt, naarmate de stikstofbemesting lager was.*

De totale hoeveelheid stikstof in het bovengrondse gewas is weergegeven in figuur 9. Tot eind maart waren er geen verschillen. Na deze datum bleef 0 N sterk achter. Tussen midden en eind april ontstonden ook duidelijke verschillen tussen de andere objecten. Uiteindelijk namen de hoeveelheden stikstof toe in het gewas, naarmate er meer stikstof was gegeven. Omstreeks half mei was de hoeveelheid stikstof in het gewas het hoogst, daarna nam hij op de met stikstof bemeste objecten af. Deze afname was groter, naarmate er meer stikstof was gegeven. De totale hoeveelheid stikstof was in het gewas veel hoger dan in de wortels (figuur 7A, 9). *De totale hoeveelheden stikstof per plant werden dus vrijwel geheel beheerst door de hoeveelheden in het bovengrondse gewas.*

#### E. Stikstofhuishouding in de grond

De hoeveelheden mineraal stikstof zijn bij iedere bemonstering bepaald in de lagen 0-10, 10-20, 20-30, 30-70 en 70-100 cm (figuur 10). De stikstof werd gegeven op 3 maart. Dit weerspiegelde zich direkt in de hoeveelheden stikstof, die in de laag van 0-10 cm op 10 maart werden gevonden (figuur 10 A). Er was duidelijk verband tussen de hoeveelheden

Fig. 7

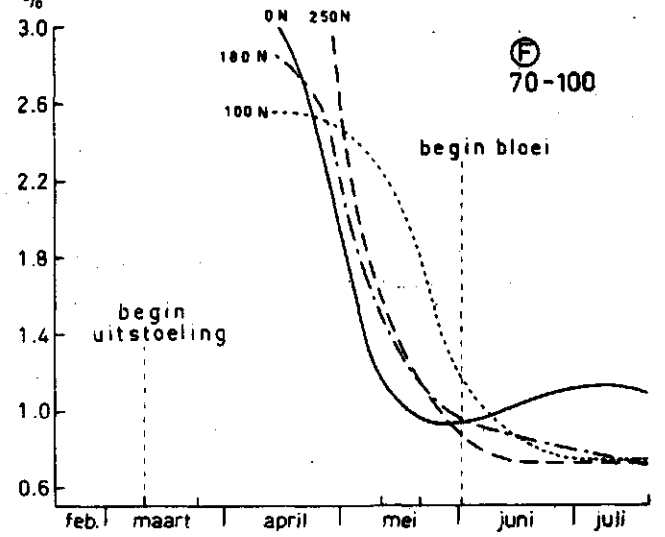
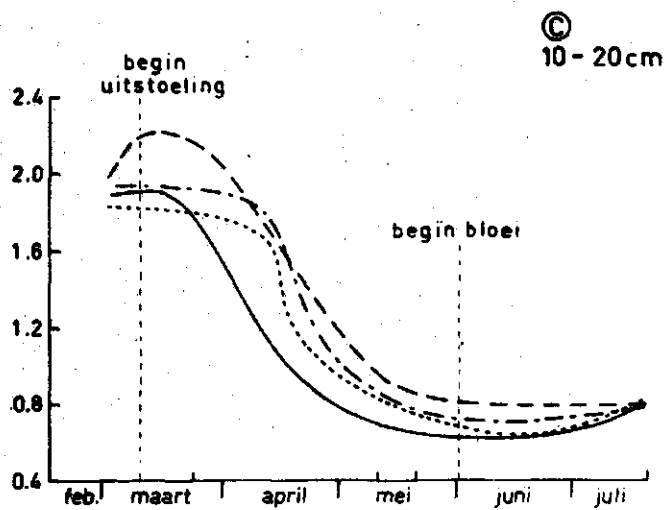
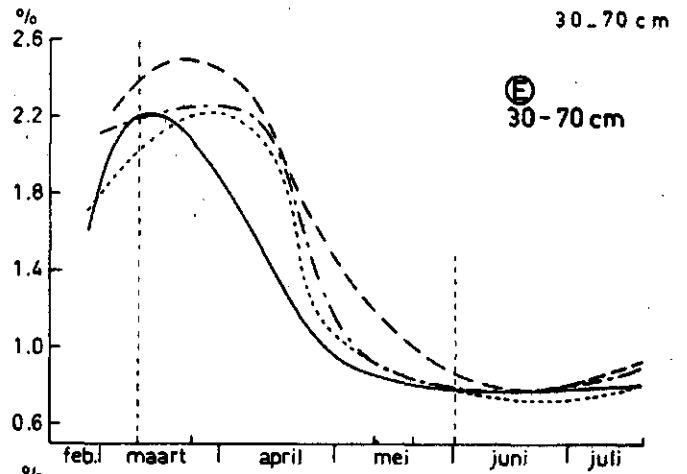
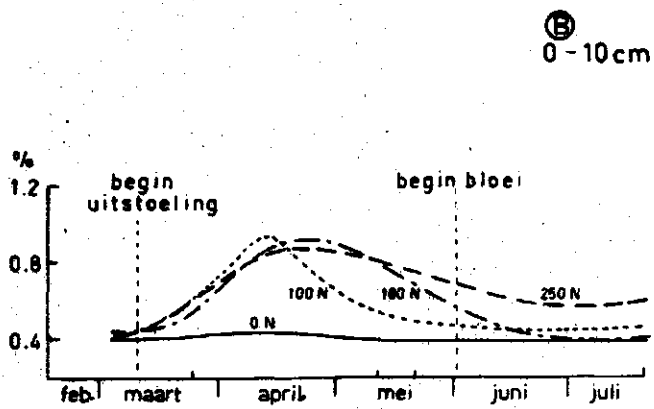
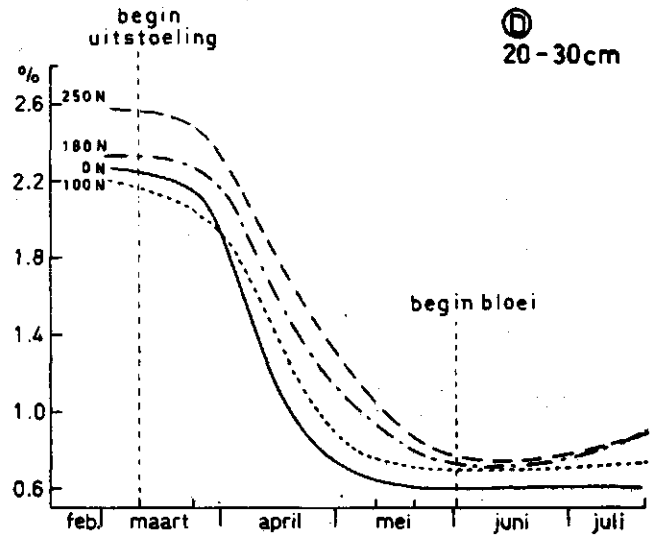
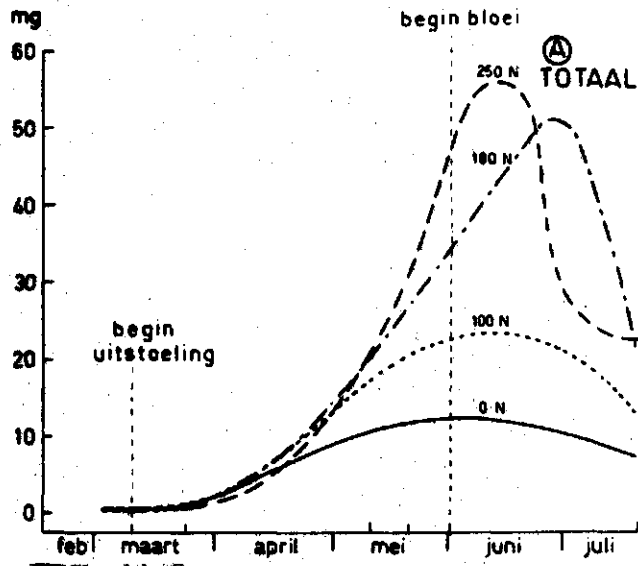


Fig. 7. A: Totale hoeveelheden stikstof in de wortels. B: Stikstofgehalte in de wortels van de laag van 0-10 cm. C: Idem 10-20 cm. D: Idem 20-30 cm. E: Idem 30-70 cm. F: Idem 70-100 cm.

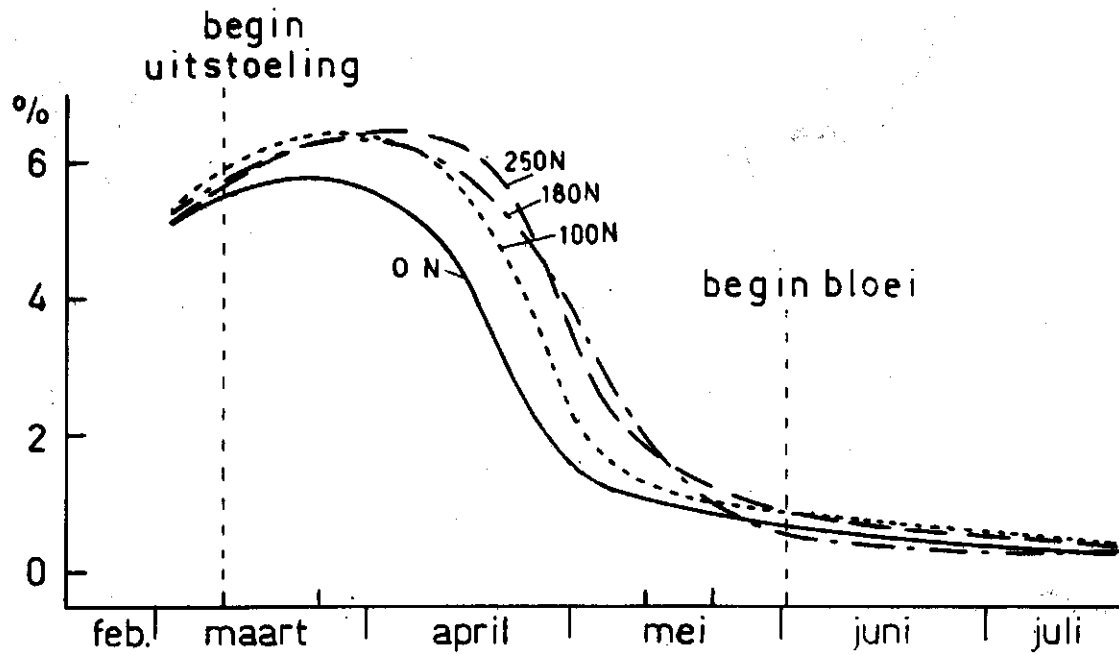


Fig. 8. Stikstofgehalte in het stro, bovengrondse gewas.

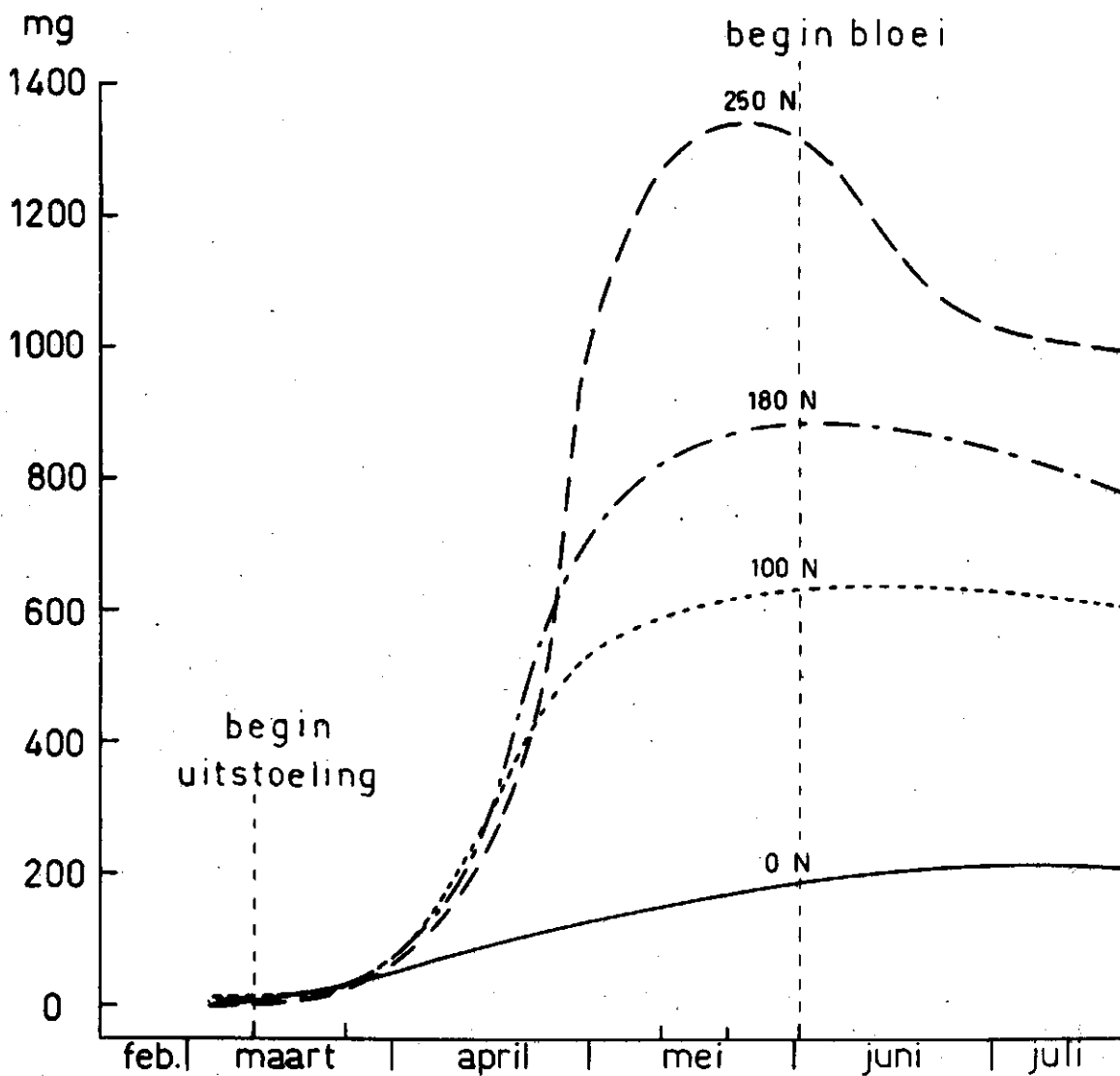


Fig. 9. Totale hoeveelheden stikstof in het bovengrondse gewas.



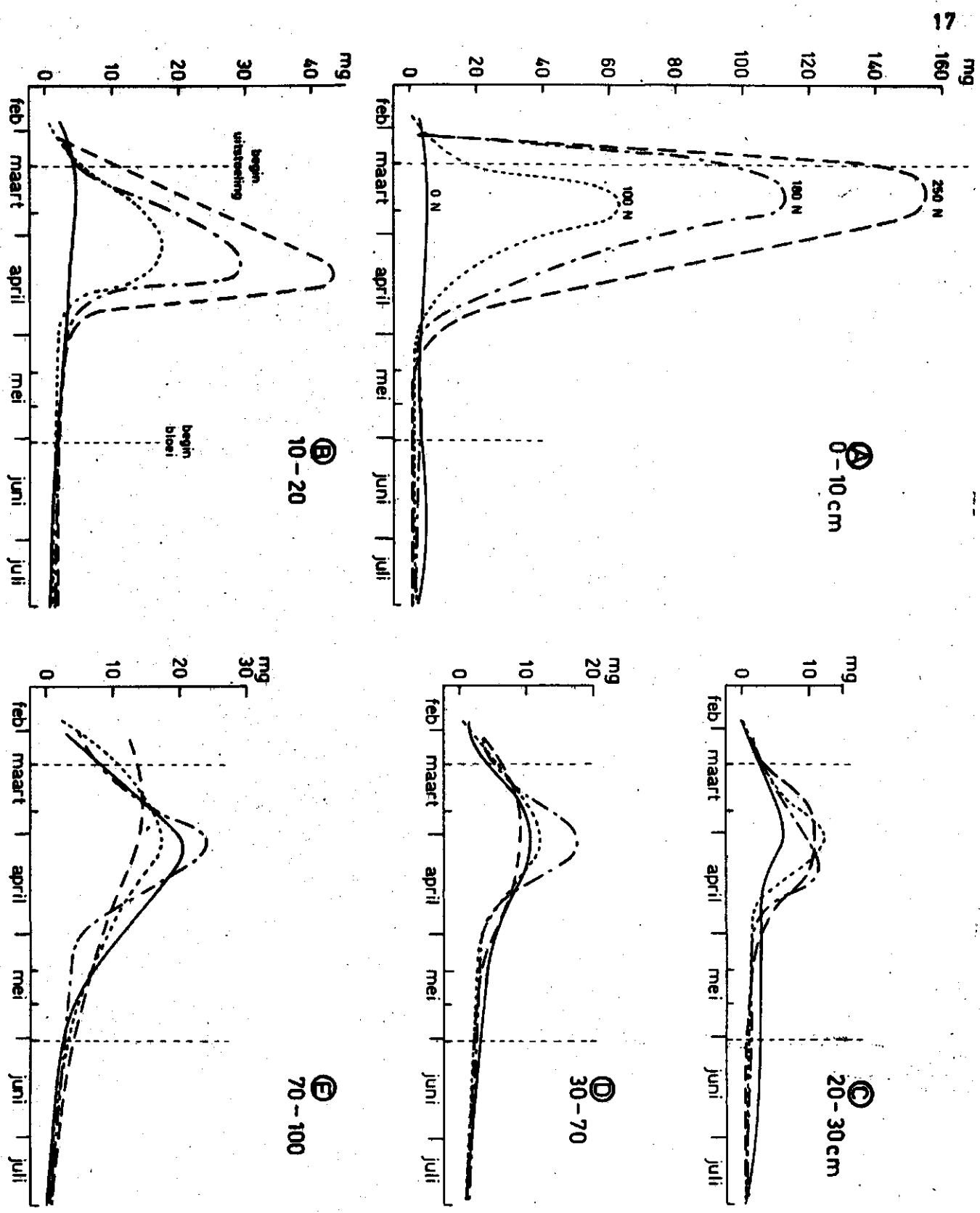


Fig. 10. Hoeveelheden stikstof in de grond in de laag van: (A) 0-10 cm, (B) 10-20 cm, (C) 20-30 cm, (D) 30-70 cm, (E) 70-100 cm.

gevonden stikstof en de grootte van de giften. Tussen eind maart en eind april daalden de hoeveelheden stikstof in de laag van 0-10 cm echter zeer snel, zodat *de hoeveelheid mineraal stikstof vanaf begin mei in alle objecten weer gelijk* was en lag op het niveau van voor de mestgift.

In de laag van 10-20 cm werden dezelfde verschijnselen gevonden (figuur 10B). De hoeveelheden stikstof waren per object veel geringer, maar de verschillen tussen de objecten waren overeenkomstig die in de laag 0-10 cm. Doordat de stikstof enige tijd nodig had om in de ondergrond te dringen waren de data van de grootste hoeveelheid stikstof een paar weken later dan bij de laag 0-10 cm. Het oorspronkelijke niveau was evenwel ook begin mei reeds weer bereikt, gelijk met de laag 0-10 cm.

Ook in de laag van 20-30 cm was de invloed van de stikstofbemesting nog te merken (figuur 10C). De hoeveelheden stikstof waren in de periode van 24 maart tot 13 april in de bemeste objecten hoger dan in het onbemeste. De onderlinge verschillen tussen de bemeste objecten hadden evenwel niets te betekenen. Op 20 april waren de hoeveelheden stikstof van alle objecten weer gelijk aan elkaar en teruggevallen tot het niveau van voor de mestgift.

Beneden een diepte van 30 cm werd geen invloed meer gevonden van de stikstofbemesting (figuren 10D en 10E). Wel namen ook in deze lagen de gevonden hoeveelheden stikstof in de periode van 17 maart tot 20 april toe, maar dat gebeurde in de bemeste objecten en in de onbemeste in even sterke mate. Dit kan dus worden toegeschreven aan door mineralisatie vrijkomende stikstof.

#### *F. De waterhuishouding in de grond*

De grondwaterstand werd tot eind april gefixeerd op 90 cm beneden maai-veld. Daarna werd niet meer aangevuld en was de vochtvoorziening van de planten dus afhankelijk van de regen. Hiermee werd de toestand in het open veld zo goed mogelijk nagebootst. Begin mei werd nog een maal water uitgepompt, omdat de stand door regenval te hoog was geworden. De regenval werd ter plaatse gemeten (figuur 11). Vanaf 8 mei daalde het water in de bakken als gevolg van opname door de planten en het ontbreken van regenval. Daardoor stonden de bakken bij 180 en 250 N droog van 21 mei tot 30 juni, die bij 100 N van 23 mei tot 30 juni en die bij 0 N van 3 tot 23 juni. Dit was dus afhankelijk van het waterverbruik van de planten. Als gevolg van regen stond op 30 juni weer enige centimeters water in alle bakken en dit bleef zo tot het eind van de proef, doordat er toen min of meer regelmatig regen viel.

Bij iedere bemonstering werd het watergehalte van iedere laag van 10 cm van de begroeide profielen bepaald. Later werden de pF-gegevens samengevat voor de lagen van 0-10, 10-20, 20-30, 30-70 en 70-100 cm (figuur 12).

Uit figuur 12A volgt, dat de pF in de laag van 0-10 cm bij alle objecten een overeenkomstig verloop heeft gehad. Tussen eind februari en midden april waren er enkele onregelmatige stijgingen en dalingen, die min of meer samengingen met het weer. Gemiddeld was er een lichte stijging van de pF ondanks de regen, die toen gevallen is. Deze werd gevolgd door een daling in de periode van eind april tot begin mei als gevolg van sterke regenval. Daarna trad er evenwel een sterke stijging op van de pF, die tot de tweede helft van juni duurde. Deze viel samen met een regenloze periode. Eind juni begon de regenval weer en daalde de pF, maar steeg opnieuw gedurende de regenloze periode tot aan de oogst op 20 juli.

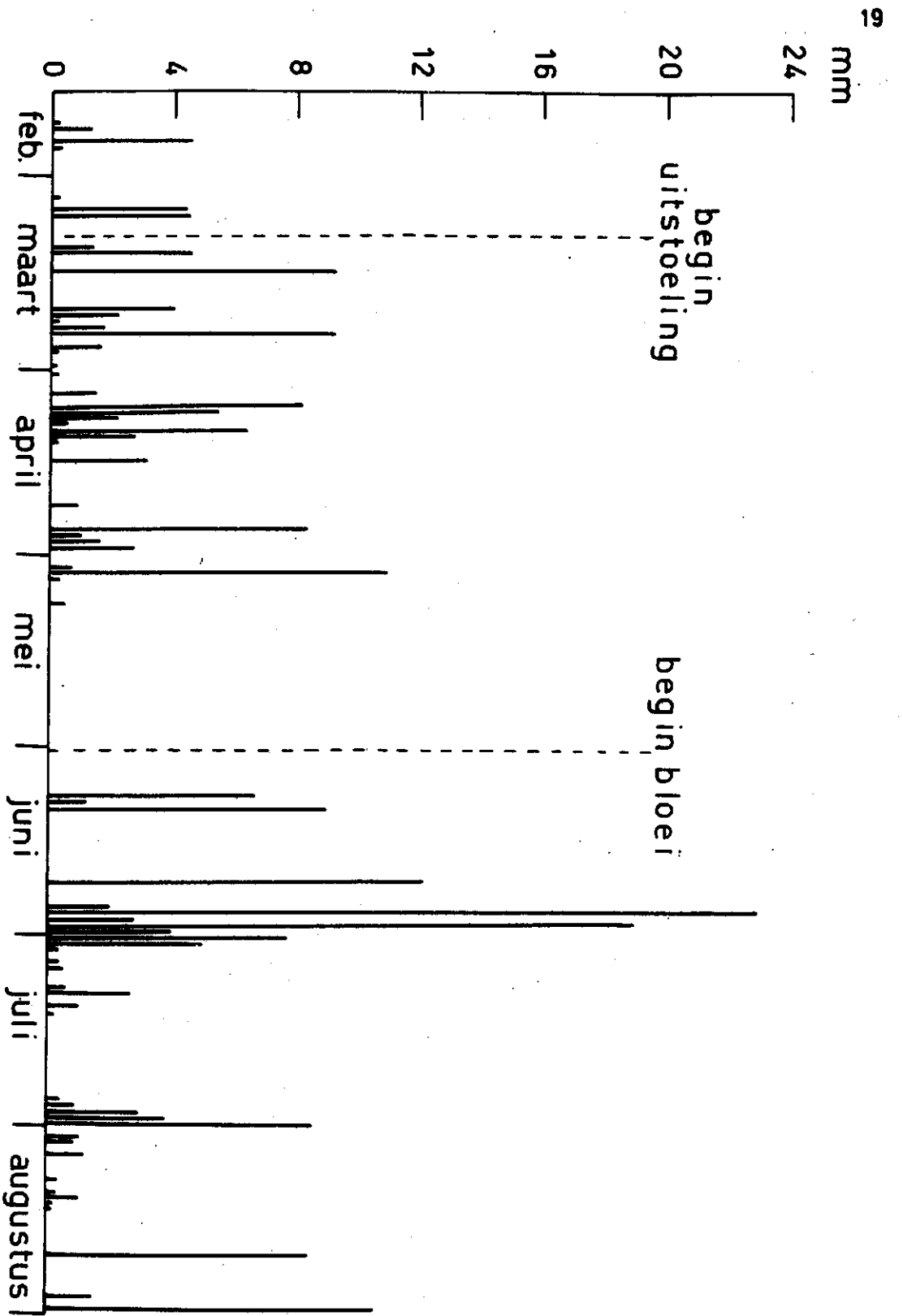


Fig. 11. Regenval.

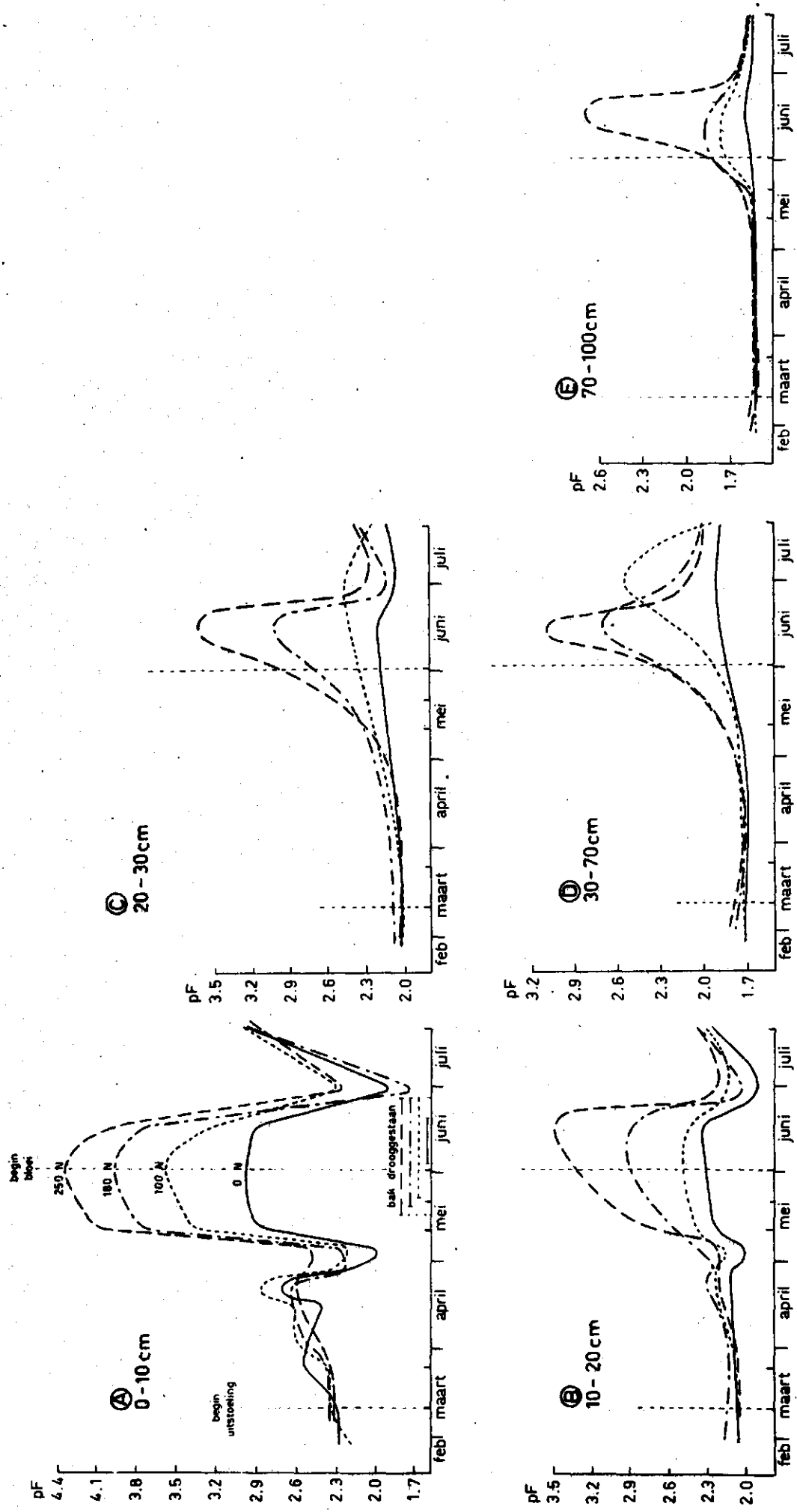


Fig. 12. pF-waarden in de laag van: (A) 0-10 cm, (B) 10-20 cm, (C) 20-30 cm, (D) 30-70 cm, (E) 70-100 cm.

Tot eind maart was het vochtgehalte in de laag van 0-10 cm bij alle objecten ongeveer gelijk, daarna was het vochtgehalte van het 0-object steeds hoger dan van de andere objecten. Vanaf begin mei was het vochtgehalte lager naarmate meer stikstof gegeven was. Maximaal werd tussen begin mei en midden juni bij 250 N een pF bereikt van ongeveer 4,4, bij 180 N van 4,0, bij 100 N van 3,6 en bij 0 N van 3,0. De laag van 0-10 cm droogde dus sterker uit, naarmate meer stikstof was gegeven. Dit betekent, dat de bovengrond gedurende een periode van ruim een maand na het in de aar komen van het gewas bij de hogere stikstofgiften niet of nauwelijks heeft bijgedragen tot de vochtvoorziening van het gewas. Dit moet ook van invloed zijn geweest op de voedselopname uit deze laag. Toch waren de planten groter naarmate meer stikstof was gegeven (figuur 4).

Het verloop van de vochtgehalten in de laag van 10-20 cm (figuur 12B) was in principe gelijk aan dat van de laag 0-10 cm met dit verschil, dat de pF in de droge periode van 10 mei tot 19 juni slechts steeg tot 3,5 bij 250 N, 3,0 bij 180 N, 2,5 bij 100 N en 2,3 bij 0 N. Uit deze gegevens volgt, dat er in deze laag alleen een duidelijk vochtverlies is geweest bij de objecten 250 en 180 N. Dit moet een gevolg zijn van geringere vochtopname en niet van aanvulling uit onderliggende lagen.

Ook in de laag van 20-30 cm was het vochtverloop in principe gelijk aan dat van 0-10 cm. Precies als in de laag van 10-20 cm was er alleen een duidelijke vermindering van vocht tussen 10 mei en 9 juni bij de objecten 250 en 180 N. Een verschil met de laag van 10-20 cm was, dat de hoogste pF later werd bereikt en de periode, waarin een hoge pF aanwezig was, veel korter was (figuur 12C). Dit alles gold ook voor de laag van 30-70 cm (figuur 12D). Het enige verschil met de voorgaande laag was, dat de periode van hoge pF nog korter duurde, terwijl bovendien de maximale pF lager lag dan in de laag van 20-30 cm.

In de laag van 70-100 cm ten slotte was er alleen nog een duidelijk vochtverlies bij het object 250 N met een zeer korte periode van hoge pF. De hoogste pF lag weer lager dan in de laag 30-70 cm. Bij de andere objecten was de pF tijdens de droge periode in geringe mate gestegen, terwijl de onderlinge verschillen niet van betekenis waren (figuur 12F).

#### *G. De temperaturen*

De gemiddelde dagtemperaturen van Eelde zijn weergegeven in figuur 13.

Uit deze figuur blijkt, dat er ondanks de dagelijkse schommelingen min of meer drie perioden kunnen worden onderscheiden. De eerste periode duurde tot 12 april. De gemiddelde dagtemperatuur was in deze periode ongeveer 7°C. De tweede periode liep van 12 april tot 7 mei. Hierin was de gemiddelde dagtemperatuur ongeveer 11°C. In de derde periode, na 7 mei, liep de temperatuur geleidelijk op van gemiddeld 14°C tot ongeveer 18°C.

22

°C

25

20

15

10

5

0

maart

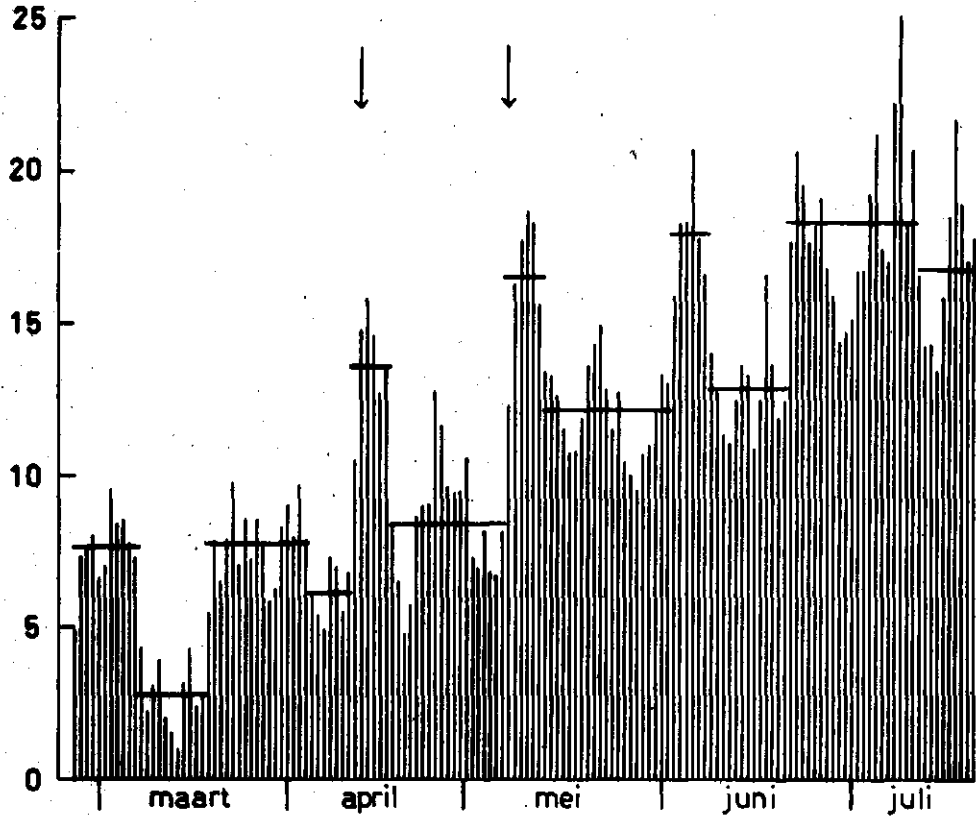
april

mei

juni

juli

Figuur 13. Gemiddelde dagtemperaturen Eelde 0 - 24 uur.



## BESPREKING DER RESULTATEN

Uit de groeigegevens van de planten blijkt, dat er alleen kwantitatieve verschillen zijn opgetreden tussen de planten als gevolg van de stikstofbemestingen. Daarnaast zijn er enkele kleine verschuivingen in groeiritme gevonden. Er is dus een algemene lijn, die uit de gegevens naar voren komt. De bespreking van de resultaten kan hierdoor vrij eenvoudig worden gehouden.

De vegetatieperiode kan op grond van de groeiverschijnselen van de wortels in drie delen worden verdeeld:

- (1) tot begin april,
- (2) van begin april tot begin juni,
- (3) na begin juni.

Deze perioden zullen afzonderlijk worden besproken. De rogge was op 29 oktober gezaaid. De kieming vond normaal voor de winter plaats. In verband met het feit, dat er een beperkt aantal profielen beschikbaar was, werden er in het eerste deel van de eerste periode geen gegevens verzameld.

Op 3 maart werden de mestgiften gegeven. Deze gaven aanleiding tot een aanzienlijke verhoging van het stikstofgehalte in de bovenste 10 cm van de grond (figuur 10 A), enige tijd later een geringere in de lagen 10-20 en 20-30 cm (figuren 10 B en 10 C), maar in de lagen daar beneden niet meer (figuren 10 D en 10 E). Ondanks de aanwezigheid van de stikstof begon het wortelgewicht pas in de tweede helft van maart zwak toe te nemen (figuur 2). De groei van het bovengrondse gewas begon nog later (figuur 4). Het is waarschijnlijk, dat dit een gevolg is van de temperatuur, die gedurende een groot deel van maart gemiddeld ongeveer 3° C was. Het is bekend, dat de wortels van bepaalde planten hun groei bij een lagere temperatuur hervatten dan de spruiten (Wassink, 1955). Het stikstofgehalte, zowel van de wortels, met uitzondering van de laag van 0-10 cm (figuur 7) als in de spruiten (figuur 8) was in maart zeer hoog, de totale hoeveelheden waren echter door het geringe gewicht der planten nog zeer gering (figuren 7 A en 9). De oorzaak van het afwijkende gedrag van de wortels in de laag van 0-10 cm is niet duidelijk.

De plantjes hebben vanzelfsprekend tijdens deze periode vocht uit de grond opgenomen. Dit waren echter geringe hoeveelheden, die door regen werden gecompenseerd, zodat ze alleen korte tijd invloed hadden op de pF van de verschillende grondlagen (figuur 12). Toch was er in de laag van 0-10 cm een zwakke tendens tot stijging van de pF.

In de tweede periode ging de groei eerst nog langzaam, maar omstreeks midden april begonnen de wortels sneller te groeien (figuur 2). Eind april kwam de spruitgroei op gang (figuur 4). Achtereenvolgens bleven de wortelgewichten van 0, 100 en 180 N achter bij die van 250 N. De maximale hoeveelheden wortels waren dus groter, naarmate er meer stikstof was gegeven. Dit gold voor alle lagen (figuur 2) (Tollenaar, 1930; Van Dort en Demandt, 1934; Knoch et al., 1957; Haas, 1958). De maxima werden bij 250 N mogelijk iets eerder bereikt dan bij de lagere stikstoftrappen. Opmerkelijk is, dat het maximum in de laag van 70-100 cm later werd bereikt dan in de bovenliggende lagen. Nadat de wortelgewichten begin juni het maximum hadden bereikt, namen ze weer snel af. Dit moet een gevolg zijn van afsterven van wortels. Deze vermindering was sterker, naarmate meer stikstof was gegeven. Dit komt overeen met

gegevens van Goedewaagen (pers.meded.). In deze proef is niet nagegaan welke wortels het eerst afsterven.

Het bovengrondse gewas ontwikkelde zich zeer snel tussen eind april en begin juni (figuur 4). Het maximale gewicht werd mogelijk iets eerder bereikt, naarmate de stikstofgift hoger was. Van Burg (1964) vond echter bij aardappelen dat te hoge stikstofgiften de afrijping vertragen. De spuitgewichten bleven bij 0, 100 en 180 N achtereenvolgens achter bij 250 N, die van het object 180 N haalden dit later in en bereikten hetzelfde maximum als 250 N. Uit deze gegevens blijkt dus, dat zowel de wortels als het bovengrondse gewas in hun gewicht pas ongeveer 1½ maand na de bemestingen merkbaar reageerden op de verschillende hoeveelheden stikstof.

Het stikstofgehalte van wortels en gewas was bij het begin van deze periode nog hoog. Het gehalte ging vrijwel steeds samen met de hoeveelheid mest. In de periode van sterke groei daalde het stikstofgehalte bij alle objecten sterk. Dit geldt zowel voor de wortels als de spruiten (figuren 7 en 8). De verschillen tussen de objecten bleven bij de wortels duidelijk, bij het gewas minder duidelijk bestaan. De totale hoeveelheden stikstof namen echter belangrijk toe en wel des te meer, naarmate er meer stikstof was gegeven. Dit geldt zowel voor de wortels (figuur 7 A) als de spruiten (figuur 9), (Vose, 1962).

Opmerkelijk is, dat de totale hoeveelheid stikstof in de wortels nog toenam, nadat de grond weer op zijn oorspronkelijke stikstoftoestand was teruggevallen (figuren 7 A en 10). Deze hoeveelheden waren echter niet groot en men kan zich afvragen of deze misschien uit het bovengrondse gewas afkomstig waren (figuur 9).

Gelijktijdig met de sterke stikstofopname door de planten daalde het stikstofgehalte in de grond. Dit ging zelfs zo snel, dat midden mei de stikstofgehalten bij alle objecten al weer gelijk waren aan elkaar en aan de toestand vóór de bemesting (figuur 10).

De mate van vocht opneming kan alleen worden beoordeeld aan de hand van de pF-gegevens van de grond in de verschillende lagen, de hoeveelheid water in de bakken en de regenval.

Gedurende de laatste dagen van april en de eerste van mei was de opname kennelijk geringer dan de regenval, getuige een vrij sterke daling van de pF in de lagen van 0-10 en 10-20 cm (figuren 6 en 12 A). Daarna viel er de gehele maand mei geen regen meer (figuur 11), terwijl de planten sterk groeiden en dus veel water opnamen. Het gevolg was een langdurige sterke uitdroging van de bovengrond van 0-10 cm en dit des te sterker naarmate er meer stikstof was gegeven en de planten dus sterker groeiden. Er kan worden aangenomen, dat de planten bij 250 N zeker gedurende 1½ maand geen water hebben kunnen opnemen uit de bovenlaag van 0-10 cm en dus waren aangewezen op de ondergrond. Ook bij 180 N zullen de planten in deze periode slechts weinig vocht uit de bovengrond hebben kunnen opnemen. Het einde van de droogteperiode kwam ongeveer midden juni, als gevolg van de toen volgende regenperiode. In de laag van 0-10 cm was de maximale uitdroging reeds verkregen, voordat het maximum in de wortelgroei was bereikt. Ook de diepere lagen verloren vocht (Gliemerth, 1952), waarbij eveneens verschillen optraden in verband met de groei ten gevolge van de stikstofhoeveelheden (figuur 12). Er was dus een duidelijk verband tussen de hoeveelheden wortels in een bepaalde laag en de pF (Weaver et al., 1922). De uitdroging ging echter steeds minder ver, naarmate een diepere laag werd bereikt (Schuurman, 1959).



Bovendien duurde de periode van maximale uitdroging korter, doordat hij later begon. Toch ging de uitdroging van het profiel zover, dat alle bakken droog kwamen te staan. Dit was het geval met 250 N op 15 mei, 180 N op 19 mei, 100 N op 22 mei en 0 N op 3 juni. Uit de gegevens blijkt, dat de sterkste wateronttrekking door de planten plaats heeft gevonden in de bovenste 10 tot 30 cm.

De derde periode begint op het moment dat het drooggewicht van de spruiten bij 250 N vrijwel niet meer toenam. Bij de lagere bemestings-trappen was dit nog wel het geval, maar duidelijk in sterk afnemende mate (figuur 4). Dit is de periode van afrijping. De wortelgewichten waren toen al duidelijk aan het verminderen (figuur 2) (Mulder, 1954). Stikstof werd er in deze periode niet meer opgenomen, integendeel ging de hoeveelheid stikstof in de spruiten duidelijk achteruit en wel het sterkst, naarmate meer stikstof was gegeven. Bij 0 N bleef de hoeveelheid stikstof min of meer konstant (figuur 9). Ook in de wortels nam de hoeveelheid stikstof af (figuur 7), maar dat kan op rekening worden geschreven van de afgestorven wortels. Het stikstofgehalte in de wortels bleef in deze periode vrijwel konstant (figuur 7).

Hoeveel water er in deze periode is opgenomen door de planten kan niet worden nagegaan. Op 28 juni en volgende data vielen er zeer grote hoeveelheden regen (figuur 11) waardoor de pF in de bovenste 10 cm in korte tijd terugliep tot omstreeks 2. Ook bij de diepere lagen liep de pF snel terug (figuur 12). Uit het feit, dat de pF na de zware regenperiode, ondanks kleine regenbuien daarna, nog weer omhoog liep in de bovenste 30 cm van de grond, kan worden afgeleid, dat de vochtonttrekking in ieder geval tot ongeveer 10 juli is doorgegaan.

Uit de verkregen gegevens is gebleken, dat wortels en spruiten niet hetzelfde groei ritme hebben (figuren 2 en 4). Dit komt ook tot uiting in de spruit-wortelverhoudingen (figuur 6). Uit deze figuur blijkt, dat bij alle stikstoftrappen de spruit-wortelverhouding toenam, naarmate de planten ouder werden. De toename ging tamelijk snel tot ongeveer 14 dagen voor de bloei. Dit betekent dus, dat de spruitgewichten van de planten in deze periode relatief sterker toenamen dan die van de wortels. Tijdens de bloei en het vruchtzetten nam de spruit-wortelverhouding slechts zeer weinig toe, doordat wortels en spruiten toen gedurende enige tijd op hun maximum stonden. In de laatste weken voor de oogst werd weer een zeer sterke toename gevonden als gevolg van het afsterven van wortels.

De spruit-wortelverhoudingen namen toe, naarmate er meer stikstof was gegeven (Vose, 1962). Hieruit blijkt nog weer eens, dat stikstof de spruitgroei relatief meer bevordert dan de wortelgroei (Meyer, 1927/28; Crist en Stout, 1929; Sprague, 1934; Burkholder en Mc Veigh, 1940; Goedewaagen, 1942; Richardson, 1953; El Hinnawy, 1956; Troughton, 1956; Kmoch et al., 1957; Ehrendorfer, 1958; Grunes en Krantz, 1958; Lippert, 1959; Brouwer et al., 1961).

## SAMENVATTING

(1) De invloed van verschillend grote stikstofbemesting op de groei van wortels en spruiten van winterrogge op zandgrond werd bestudeerd door periodieke bemonsteringen gedurende het groeiseizoen.

(2) De wortelgroei stond gedurende de winter stil. Ongeveer eind maart begonnen de wortelgewichten langzaam toe te nemen. De sterke wortelgroei duurde van midden april tot het begin van de bloei. De groei van de spruiten stond stil tot ongeveer midden april. Dit verschil tussen wortels en spruiten kan worden verklaard door de lagere temperaturen van begin april, waarbij de wortels wel en de spruiten nog niet konden groeien (figuren 2, 4, 13).

(3) Pas eind april begonnen er in de wortelgroei reacties op te treden op de verschillend grote stikstofbemesting. Uiteindelijk werd de grootste hoeveelheid wortels gevormd bij de hoogste stikstoftrap en was deze hoeveelheid geringer, naarmate minder stikstof was gegeven.

De spruitgroei van het 0-object bleef midden april reeds achter bij de rest, die van het object 100 N volgde eind april en die van 180 N begin mei. Het spruitgewicht van het laatste object kwam later toch nog weer gelijk met dat van 250 N (figuren 2 en 4).

(4) Het maximale wortelgewicht werd bij alle objecten ongeveer gelijktijdig, d.i. omstreeks 15 juli, bereikt. Daarna namen de gewichten weer af en dit des te sterker, naarmate de stikstofgift hoger was (figuur 2).

(5) De grootste hoeveelheid wortels werd gevormd in de bovenste 10 cm. Ook in de ondergrond kwamen echter relatief belangrijke hoeveelheden wortels voor. Het groeiverloop was in alle lagen ongeveer gelijk; alleen in de laag van 70-100 cm kon worden aangetoond, dat het maximum iets later werd bereikt dan in de bovenliggende lagen (figuur 2). Het percentage wortels in de bovenste 20 cm vertoonde de neiging af te nemen, naarmate de planten ouder werden (figuur 3). Dit staat waarschijnlijk in verband met afsterven van wortels in deze laag.

(6) De stikstofbemestingen werden op 3 maart gegeven. De verschillen tussen de stikstofgiften werden in de volgende week duidelijk weerspiegeld in de hoeveelheden stikstof, die in de laag van 0-10 cm en in de volgende weken ook in de lagen van 10-20 en 20-30 cm konden worden aangetoond (figuren 10 A, B, C). Beneden 30 cm werd geen invloed van de stikstofgiften gevonden (figuren 10 D, E).

(7) De totale hoeveelheden stikstof in de wortels namen sterk toe gedurende de periode van sterke groei (figuur 7); die in de spruiten nog veel sterker (figuur 9). Gelijktijdig hiermee nam het stikstofgehalte in wortels en spruiten af (figuren 7 en 8), evenals de stikstofhoeveelheden in de grond (figuur 10).

(8) Het waterverbruik der planten kan worden beoordeeld op grond van het gedrag van de grondwaterstand, de hoeveelheden vocht in de diverse profiellagen en de hoeveelheid regen. De grondwaterstand werd tot 14 maart op 90 cm beneden maaiveld gehouden en daarna aan zichzelf overgelaten. Als gevolg van regen bleef het peil tot begin mei vrijwel constant. Ook de pF gegevens van de grondlagen bleven ongeveer gelijk. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat de vochtopname door de planten in deze periode door de regen is gecompenseerd. In de daarop volgende periode van snelle groei viel er geen regen en het vochtgehalte in de profiellagen werd duidelijk geringer en bleef laag gedurende een lange periode. Dit geldt

vooral voor de laag 0-10 cm (figuur 12 A), waarin de pF zeer snel steeg. Bij de hoogste mestgift werden in deze laag waarden bereikt van 4,3. Verder was de uitdroging geringer naarmate minder mest was gegeven. Ook in de laag van 10-20 cm was de uitdroging sterk (figuur 12 B). Dit wijst erop, dat de bovengrond gedurende lange tijd uitgeschakeld is geweest voor de opname van vocht en voedsel. In de diepere lagen was de uitdroging steeds iets geringer en later dan in de bovenliggende laag, maar ook hier was er nog verband met de stikstofgiften. Beneden 30 cm waren de vochtverliezen in het onbemeste profiel onbetekenend, hoewel er wel wortels aanwezig waren (figuren 12 C, D, E). Beneden 70 cm was het vochtverlies alleen nog van betekenis bij de hoogste stikstoftrap. Door de vochtopname werd een daling van het grondwaterpeil veroorzaakt, waardoor de profielen zelfs gedurende enige tijd droog kwamen te staan. De planten konden toen dus alleen water opnemen, dat nog in het profiel aanwezig was. Toch ging de uitdroging van de laag 30-70 niet verder dan 3,0 bij de hoogste stikstoftrap en in de laag van 70-100 tot 2,6. Na 20 juni daalde de pF in alle lagen sterk als gevolg van zware regens (figuur 11). Hierdoor kan er over de vochtopname in deze periode niets worden gezegd.

(9) De spruit-wortelverhouding nam bij alle stikstoftrappen toe tot ongeveer 14 dagen voor de bloei. Vanaf dit moment tot begin juli was de toename zeer gering. Gedurende het laatste deel van de groeiperiode nam de verhouding weer sterk toe als gevolg van het afsterven van wortels. De spruit-wortelverhouding was, zoals verwacht, hoger, naarmate meer stikstof was gegeven (figuur 6).

## LITERATUUR

- Benedict, H.M. and Brown, G.B., 1944. The growth and carbohydrate responses of *Agropyron smithii* and *Bouteloua gracilis* to changes in nitrogen supply. *Plant Physiol.* 19: 481-494.
- Bergmann, W., 1954. Wurzelwachstum und Ernte-ertrag. *Z. Acker Pflanzenbau* 97: 337-368.
- Berkner, F., 1944. Die Massenaufbau der Pflanzen im Wurzel-, Stengel-, und Blattwerk und die Aufnahme und Verteilung des Stickstoffes innerhalb des pflanzlichen Organismus unter dem Einfluss steigender Stickstoffgaben nachgewiesen an einigen Zwischenfrüchten. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd.* 34: 20-59.
- Boon, J.v.d. en Kolenbrander G.J., 1960. Verplaatsing van stikstof naar de diepte in een grasboomgaard. *Landbouwkd. Tijdschr.* 72: 904-915.
- Bosemark, N.O., 1954. Influence of nitrogen on root development. *Physiol. Plant.* 7: 497-502.
- Brenchley, W.E. and Jackson V.G., 1921. Root development in barley and wheat under different conditions of growth. *Ann. Bot. (London)* 35: 533-556.
- Brouwer, R., 1962. Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agric. Sci.* 10: 361-376.
- Brouwer, R., Jenneskens P.J. and Borggreve, G.J., 1961. Growth responses of shoots and roots to interruptions of the nitrogen supply. *Inst. Biol. Scheikd. Onderz. Landbouwgewassen Wageningen Jaarb.* 1961: 29-36.
- Burkholder, P.R. and Veigh I.Mc., 1940. Growth and differentiation of maize in relation to nitrogen supply. *Am.J. Bot.* 27: 414-424.
- Burg, P.F.J. van, 1964. De stikstof bemesting van poot aardappels. *Stikstof* 4(42) : 361-376.
- Crist, J.W. and Stout, G.J., 1929. Relation between top and root size in herbaceous plants. *Plant Physiol.* 4: 63-87.
- Crist, J.W. and Weaver J.E., 1924. Absorption of nutrients from subsoil in relation to crop yield. *Bot. Gaz.* 72: 121-148.
- Darrow, R.A. 1939. Effects of soil temperature, pH and nitrogen nutrition on the development of *Poa pratensis*. *Bot. Gaz.* 101: 109-127.
- Demandt, E., 1934. Review of the results of field experiments on sugar-cane culture in Java. Time and manner of applying sulphate and ammonia. *Arch. Suikerind. Ned-Indië* 42 (II): 627-646.
- Dilz, K., 1964. Over de optimale stikstofvoeding van granen. *Diss. Landbouwhogeschool Wageningen.*
- Dobben, W.H. van, 1959. Enige waarnemingen over de stikstofhuishouding van tarwe en maanzaad. *Inst. Biol. Scheikd. Onderz. Landbouwgewassen, Meded.* 80.
- Dobben, W.H. van, 1961. De stikstofhuishouding van tarwe en maanzaad. *Inst. Biol. Scheikd. Onderz. Landbouwgewassen Wageningen, Jaarb.* 1961: 45-60.
- Dort, T.K.L. van, 1934. Comparison of deep and shallow fertilization of sugar-cane. *Arch. Suikerind. Ned-Indië* 42 (II): 440-445.
- Duncan, W.G. and Ohlrogge A.J., 1958. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. II Root development in the band. *Agron. J.* 50: 605-608.
- Ehrendorfer, K., 1958. Untersuchungen über Angebot und Aufnahme der Hauptnährstoffe. *Z. Acker Pflanzenbau* 105: 301-328; 106: 58-74.

- Ginzburg, B.Z., 1958. The correlation between root and shoot growth of lucerne. Bull. Res. Council. Isr., Sect. D 6: 129-144.
- Gliemeroth, G., 1951. Der Einfluss der Düngung auf den Wasserentzug der Pflanzen aus den Unterbodentiefen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 52 (97): 21-41.
- Gliemeroth, G., 1952. Wasserhaushalt des Bodens in Abhängigkeit von der Wurzelbildung einiger Kulturpflanzen. Z. Acker. Pflanzenbau 95 : 21-46.
- Gliemeroth, G., 1953. Bearbeitung und Düngung des Unterbodens in ihrer Wirkung auf Wurzelentwicklung, Stoffaufnahme und Pflanzenleistung. Z. Acker Pflanzenbau 96: 1-44.
- Gliemeroth, G., 1955. Wirkung der Düngerverteilung auf die Wurzelbildung. In: De plantenwortel in de landbouw, pp. 69-78.
- Gliemeroth, G., 1955. Möglichkeiten der Beeinflussung von Wurzelmasse und Wurzeldifferenzierung. Landwirtsch. Forsch. 6: 69-85.
- Goedewaagen, M.A.J., 1932. De groei van het wortelstelsel der planten bij gelijke en ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. Versl. Landbouwk. Onderz. No 38 (A): 179-200.
- Goedewaagen, M.A.J., 1942. Het wortelstelsel der landbouwgewassen. Departement van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage, 173 pp.
- Goedewaagen, M.A.J., 1952. Wortelontwikkeling en droogteschade in het gewas, in het bijzonder op grasland. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O., Versl. Tech: Bijeenkomsten 1-6: 206-220.
- Goedewaagen, M.A.J., 1955. De oecologie van het wortelstelsel der gewassen. In: De plantenwortel in de landbouw, pp. 31-68.
- Goedewaagen, M.A.J. en Schuurman, J.J. 1950. Wortelproductie op bouw- en grasland als bron van organische stof in de grond. Landbouwk. Tijdschr. 62: 469-482.
- Grunes, D.L. and Krantz, B.A., 1958. Nitrogen fertilization increases N, P and K concentrations in oats. Agron. J. 50: 729-732.
- Haas, H.J., 1958. Effect of fertilizers, age of stand and decomposition on weight of grass roots and of grass and alfalfa on soil nitrogen and carbon. Agron. J. 50: 5-9.
- Harmsen, G.W., 1959. Was kann uns die Bestimmung des Gehaltes löslichen Stickstoffs im Boden lehren? Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 84 (129): 98-102.
- Harmsen, G.W., 1962. Landbouwkundige en bodemkundige problemen rondom de stikstof in de grond. Landbouwk. Tijdschr. 74: 505-519.
- Harrison, C.M., 1934. Responses of Kentucky bluegrass to variations in temperature, light, cutting and fertilizing. Plant Physiol. 9: 83-106.
- El Hinnawy, E.I., 1956. Some aspects of mineral nutrition and flowering. Meded. Landbouwhoges. Wageningen. 56(9): 1-51.
- Holt, E.C. and Fisher, F.L., 1960. Root development of Coastal Bermuda-grass with high nitrogen fertilization. Agron. J. 52(10): 593-596.
- Hoorn, J.W. van, 1958. Results of a ground water level experimental field with arable crops on clay soil. Neth. J. Agric. Sci. 6: 1-10.
- Kausch, W. und Ehrig, H., 1959. Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk. Planta 53: 434-448.
- Knoch, H.G., Ramig, R.E., Fox R.L. and Koehler, F.E., 1957. Root development of winter wheat as influenced by soil moisture and nitrogen fertilization. Agron. J. 49: 20-25.

- Knoblauch, H.C., Ahlgren G.H. and Gausman, H.W., 1955. Persistence of timothy as determined by physiological response to different management systems. *Agron. J.* 47: 434-439.
- Köhnlein, J. und Vetter, H., 1953. *Ernterückstände und Wurzelbild*. Verlag Paul Parey, Hamburg, 138 pp.
- Kullmann, A., 1957. Zur Intensität der Bodendurchwurzelung. *Z. Acker Pflanzenbau* 103: 189-197.
- Lippert, G., 1959. Beitrag zur Wurzelentwicklung der Gräser in Reinbeständen unter Einwirkung der Beregnung und der Stickstoffdüngung. *Kulturtechniker* 47: 251-262.
- Minderhoud, J.W., 1960. *Grasgroei en grondwaterstand*. Diss. Landbouwhogeschool Wageningen.
- Mitchell, W.H., 1961. A study of the root and top growth of several forage species as influenced by nitrogen and irrigation treatments. Diss. Pennsylvania State University.
- Mulder, E.G., 1954. Effect of mineral nutrition on lodging of cereals. *Plant Soil* V(3): 246-306.
- Oswalt, D.J., Bertrand A.R. and Teel M.R., 1959. Influence of nitrogen fertilization and clipping on grass roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 228-230.
- Pinck, L.A. and Allison F.E., 1947. The effect of rate nitrogen applications upon the weight and nitrogen content of the roots of Sudan grass. *Agronomy* 39: 634-637.
- Pumphrey, F.V. and Koehler T.E., 1958. Forage and root growth of five sweet clover varieties and their influence on the following corn crops. *Agron. J.* 50: 323-326.
- Reid, M.E., 1933. Effect of variations in concentration of mineral nutrients upon the growth of several types of turf grasses. *Bull. U.S. Golf Assoc. Green Sect.* 13: 122-131.
- Richardson, S.D., 1953. Root growth of *Acer Pseudoplatanus* L. in relation to grass cover and nitrogen deficiency. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen* 53: 75-97.
- Schuurman, J.J., 1959. Root development, water uptake and growth of spring wheat and perennial ray grass on three profiles. *Rep. Conf. Suppl. Irrig., Comm. VI, ISSS., Copenhagen, 1958*, 11 pp.
- Shank, D.B., 1945. Effects of phosphorus, nitrogen and soil moisture on top/root ratios of inbred and hybrid maize. *J. Agric. Res. Washington, D.C.* 70: 365-377.
- Sléskin, P., 1908. Werden Nitrate von den Wurzeln assimiliert oder nicht? *Russ. J. Exp. Landwirtschaft.* 9: 27-33. (Met Duitse samenvatting)
- Sokolov, A.V., 1937. Effects of the distribution of nutritive elements and moisture at the different levels in the soil on root development and yield of plants. *Trans. Sci. Fert. Insectofungicides (USSR)* 136: 203-417. Gerefereerd in *Chem. Abstr.* 33 (1939) No. 1858.
- Sprague, H.B., 1933. Root development of perennial grasses and its relation to soil conditions. *Soil Sci.* 36: 189-209.
- Sprague, H.B., 1934. Utilisation of nutrients by colonial bent (*Agrostis tenuis*) and Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*). *N.J. Agric. Exp. St. No. Bull.* 570: 16 pp.
- Tollenaar, D., 1930. Onderzoekingen over de ontwikkeling van het wortelstelsel van tabak onder verschillende omstandigheden (tevens bezien in verband met cultuurmaatregelen en brandbaarheid). *Proefstn. Vorstl. Tabak, Meded.* 65.

- Troughton, A., 1956. Studies on the growth of young grass plants with special reference to the relationship between the shoot and root systems. *J. Br. Grassl. Soc.* 11: 56-65.
- Troughton, A., 1957. The underground organs of herbage grasses. *Commonw. Bur. Pastures Field Crops, Hurley Berkshire, Bull.* 44.
- Troughton, A., 1962. The roots of temperate cereals (wheat, barley, oats and rye). *Commonw. Bur. Pastures Field Crops, Hurley Berkshire, Mimeographed Publ. No.* 2.
- Vose, P.B., 1962. Nutritional response and shoot/root ratio as factors in the composition and yield of genotypes of perennial ryegrass, *Lolium perenne* L. *Ann. Bot. (London)* 26: 425-437.
- Wassink, E.C., 1955. Correlaties tussen wortelgroei en bovengrondse condities. In: *De plantenwortel in de landbouw*, pp. 119-126.
- Watkins, J.M., 1940. The growth habits and chemical composition of brome grass, *Bromus inermis* Leyss., as affected by different environmental conditions. *J. Am. Soc. Agron.* 32: 527-538.
- Weaver, J.E., Jean, F.C. and Crist, J.W., 1922. Development and activities of roots of crop plants. *Carnegie Inst. Washington Publ.* 316.
- Weinmann, H., 1943. Effects of defoliation intensity and fertilizer treatment on Transvaal Highveld. *Emp. J. Exp. Agric.* 11: 113-124.
- Wiersum, L.K., 1958. Density of root branching as affected by substrate and separate ions. *Acta Bot. Neerl.* 7: 174-190.
- Williams, T.E., Heard, A.J. and Garwood, E.A., 1963. Experiments in progress. *Grassl. Res. Inst. (Hurley), Annu. Rep. 1961-62:* 34-35.