STICHTING LABORATORIUM VOOR BLOEMBOLLENONDERZOEK - LISSE

BIBLIOTHEEK
VAN DE STICHTING BLOEMBOLLENONDERZOEK
LISSE

SIMULATIE VAN DE GROEI VAN DE TULPECULTIVAR 'LUSTIGE WITWE'

door:
Ir. M.J.G. Timmer (L.B.O.), J.P. van Tongeren (L.B.O.) en
Ir. P.J. Jakobs M.A. (IWIS-TNO)

P-12
ISN 300384

Rapport 32, juli 1976

I N H O U D

1. INLEIDING 1
2. BASISGEGEVENS 4
   2.1. Het gewas 4
   2.2. De omgeving 5
3. SIMULEREN 6
4. RESULTATEN 8
   4.1. Omgevingsfactoren 8
      4.1.1. Temperatuur 8
      4.1.2. Gebruik temperatuurgegevens 9
      4.1.3. Straling 10
      4.1.4. Gebruik stralingsgegevens (berekening fotosynthese) 12
   4.2. Plantgegevens 15
      4.2.1. De moederbol 15
      4.2.2. De eindknop 19
      4.2.3. De dochterbollen 21
5. DISCUSSIE EN SAMENVATTING 24
6. LITERATUUR 27

Bijlage 1: Drooggewichten van diverse plantedelen (oude bol, eindknop en dochterbollen) 29

Bijlage 2: Tulip bulb growth model, improved version

Bijlage 3: List of symbols used in tulip growth model, improved version

1. INLEIDING

In Nederland worden tulpen voor bollenteelt geplant in de periode september-november en gerooid in de periode eind juni-half juli.
In figuur 1 is van de cultivar 'Lustige Witwe' (plantmaat 8-9, boltype A) het drooggewichtsverloop van verschillende plantedelen gedurende het groeiseizoen 1970/'71 weergegeven. De bollen waren geplant op proefvelden van het L.B.O. Het verloop bleek analoog te zijn aan dat wat andere onderzoekers hadden gevonden (zie bijv. Wassink, 1965; Rees, 1969). Na het planten neemt de moederbol, dit zijn de rokken en de schijf van de geplante bol, in gewicht af; eerst, d.w.z. tot ongeveer half april, snel en daarna tot aan het rooitijdstip veel langzamer.
De eindknop, d.i. het orgaan dat bestaat uit stengel, bladeren en bloem, neemt vanaf het planten tot ongeveer 14 dagen na de bloei in gewicht toe en daarna af.
De dochterbollen, die zich bevinden in de oksels van de rokken van de geplante moederbol nemen na het planten in gewicht toe. Aanvankelijk, tot ongeveer half maart, in slechts geringe mate, daarna in steeds toenemende mate, totdat de toename vlak voor het rooien weer iets minder wordt. De hoofdbol die op het planttijdstip het kleinst is, groeit het sterkst uit en is op het rooitijdstip van alle dochterbollen de grootste.
Op het moment dat de bollen worden geplant zijn de organen waarvan in figuur 1 het drooggewicht is weergegeven al aangelegd. De aanleg van het blad en de dochterbollen, begonnen in het voorafgaande groeiseizoen, vindt zijn voltooiing in de periode tussen rooien en weer opplanten (Mulder en Luyten, 1928). Deze periode wordt aangeduid als bewaring. De bloem wordt meestal in zijn geheel tijdens de bewaring aangelegd (Mulder en Luyten, 1928). Na de aanleg treedt strekking en drooggewichtstoename op. Gebleken is dat beide processen in sterke mate temperatuurafhankelijk zijn. De effecten daarvan komen ook nog tot uiting tijdens het groeiseizoen en in de oogst (Mulder en Blaauw, 1925; Papendrecht, 1955). De bewaarperiode is dan ook een van de fasen in de teeltcyclus waarin kan worden ingegrepen om de groei van het gewas in het komende groeiseizoen te beïnvloeden.
Het onderzoek dat hieromtrent door de eerste auteur werd uitgevoerd (Timmer, 1970; 1975) heeft dit bevestigd. Het verloop van het drooggewicht van de verschillende plantedelen werd tijdens het groeiseizoen gevolgd, nadat de bollen tijdens de bewaring aan verschillende temperaturen waren blootgesteld.
In figuur 2 wordt het drooggewichtsverloop van de dochterbollen na 3 ver-

schillende bewaartemperaturen gegeven, t.w. na bewaring bij 13°, 20° en na 30°C. Kenmerkend is dat verschillen optreden in het tijdstip, waarop de snelste toename van de drogestof begint, in de snelheid van toename en in de duur van de periode van snelle groei. Ook zijn er verschillen in bloeitijdstip en in afstervingstijdstip (ook bij de moederbol en de eindknop traden dergelijke effecten op). Dit heeft o.a. een verschil in stralingsaanbod en temperatuurrégime tot gevolg; anders gezegd, dezelfde groeiomstandigheden worden ondergaan door planten van ongelijke ontwikkeling en grootte.

De vraag was nu: hangen de verschillen in het einddrooggewicht van de dochterbollen (economisch gezien de belangrijkste organen) samen met de door de bewaartemperatuur geïnduceerde veranderingen in ontwikkeling van de andere plantedelen of bestaat er een rechtsstreekse invloed van de bewaartemperatuur op de groeimogelijkheden van de dochterbollen?

Om deze en andere vragen op te lossen was het noodzakelijk een inzicht te verwerven in de onderlinge relatie(s) tussen de verzamelde gegevens betreffende het drooggewicht van de verschillende plantedelen en in de invloed van de uitwendige omstandigheden hierop.

Bij de keuze van de manier van bewerken van het verzamelde materiaal is overwogen:

- dat het mogelijk moest zijn de voornaamste groeiveranderingen in differentiaal-vergelijkingen uit te drukken, maar dat de analytische oplossing hiervan grote moeilijkheden zou opleveren vanwege de complexiteit van de samenhangen.
- dat statistische bewerking via variantie-analyse of regressie-analyse eveneens moeilijk zou zijn omdat in de proeven bewust zoveel mogelijk bewaartemperaturen (vele ingrepen) in enkelvoud of duplo waren opgenomen in plaats van een beperkt aantal ingrepen en vele malen herhaalde waarnemingen aan een beperkt aantal plantedelen. Ook konden de proeven van de verschillende jaren niet als herhalingen worden beschouwd gezien de grote invloed van het groeiseizoen . Bovendien is de wisselwerking tussen de verschillende plantedelen met behulp van deze technieken niet te vangen.
- dat in de literatuur steeds meer de mening naar voren komt (de Wit, 1968; de Wit et al., 1970; de Wit en Goudriaan, 1974; Benschop et al., 1975) dat simuleren bij de bestudering van een complex systeem een goede mogelijkheid biedt tot samenvatten van conclusies uit waarnemingen van op zichzelf staande verschijnselen.

- dat reeds door Rees en Thornley (1973) aangetoond was dat een simulatie-model van de groei van tulpen te velde (onder Engelse omstandigheden) mogelijk was.

Op grond van het bovenstaande werd gekozen voor het construeren van een simulatie-model van de gewasgroei. Aan de hand van dit model zou dan de invloed van verschillende bewaartemperaturen op de produktie onder gemiddelde milieu-omstandigheden kunnen worden nagegaan. De simulatie komt daarmee in de plaats van een reeks experimenten. Dit moet tijdwinst opleveren en kan vaak efficiënter zijn. De resultaten kunnen vervolgens aan de hand van een beperkt aantal, gerichte proeven met de werkelijkheid worden vergeleken.

Het hier beschreven onderzoek betreft de opstelling van het gewasgroei-model als zodanig en de daarbij gekozen uitgangspunten.

2. BASISGEGEVENS

2.1. Het gewas

De plantgegevens waarvan werd uitgegaan, waren afkomstig van proeven met de cultivar 'Lustige Witwe', die op de proefvelden van het L.B.O. in het kader van het onderzoek naar de invloed van de temperatuur tijdens de bewaring was geteeld in de seizoenen 1970/'71 t/m 1972/'73.
De bollen hadden bij het sorteren (ongeveer 14 dagen na het oogsten) een omtrek van 8-9 cm en waren van het A-type (Hekstra, 1968). Het waren alle generatieve bollen. De behandeling na het rooien was steeds als volgt: tot 3½ week erna 25½°C; tot eind augustus 20°C gevolgd door 17°C tot het planten. Dit is de voor 'L. Witwe' geadviseerde temperatuurbehandeling (An. 1963). De bollen werden in de maand november met de hand geplant op bedden met regels in de dwarsrichting die een lengte van 102 cm en een onderlinge afstand van 17,5 cm hadden. De standruimte was 105 $cm^2.plant^{-1}$.
Gedurende het groeiseizoen werden de normale teeltmaatregelen toegepast. Periodiek werden groeianalyses gedaan, meestal om de 14 dagen; gedurende de winter waren de tussenpozen wat langer. Per groeianalyse werden 10 bollen gebruikt, die steeds uit het midden van de regel werden genomen om randeffecten in de waarnemingen uit te sluiten.
Bij de groeianalyses werden aan de bruine huid en de wortels geen waarnemingen gedaan; van de andere plantedelen werden gemeten:
- lengte, diameter (alleen de hoofdbol) en oppervlakte (bladeren)
- vers gewicht
- drooggewicht

Zie voor de bouw van tulpebol en -plant de figuren 3A en 3B.
Verder werden waarnemingen gedaan ten aanzien van het bloeitijdstip en het rooitijdstip. De hierbij gehanteerde methoden en technieken werden eerder beschreven door Timmer en Van der Valk (1973) en Van der Valk en Timmer (1974
In het model werden niet alle verzamelde gegevens gebruikt, maar alleen die welke het drooggewichtsverloop en het bladoppervlak betroffen. De opgenomen waarden van deze karakteristieken waren die van het groeiseizoen 1970/'71, terwijl tevens plant-, opkomst-, bloei- en rooidatum op dat seizoen betrekking hadden.
Voor het vaststellen van bepaalde relaties (zie verder) werd ook gebruik gemaakt van gegevens die in de seizoenen '71/'72 en '72/'73 waren verzameld (zie bijlage 1). Verder werd gebruik gemaakt van in de literatuur vermelde gegevens.

2.2. De omgeving

Van de omgevingsfactoren (milieu) zijn alleen de factoren temperatuur en licht (straling) bepaald, omdat aangenomen werd dat de andere omstandigheden (zoals water en minerale voeding) de groei niet beperkten.
Voor zover in het verslag wordt verwezen naar op het L.B.O. verrichte waarnemingen hebben deze betrekking op het "groeiseizoen" 1970/'71 (d.w.z. de periode tussen juli 1970 en juli 1971). Deze metingen werden in de onmiddellijke omgeving van de proefvelden verricht.
De luchttemperatuur werd met een thermograaf geregistreerd op 1,50 m hoogte in een weerhut. Voor elke dag werd een dagwaarde bepaald door het gemiddelde te nemen van de waarnemingen om de 2 uur (12 in totaal).
De totale globale straling (cal. cm^{-2}) werd gemeten met behulp van een solarimeter, gekoppeld aan een telwerk. De stralingsgegevens die in het model werden gebruikt, zijn echter aan de literatuur ontleend; dit geldt eveneens voor de bodemtemperatuur-gegevens. De luchttemperatuur werd ontleend aan gegevens van het K.N.M.I.-waarnemingsstation op het vliegveld Valkenburg.

3. SIMULEREN

Een systeem is een deel van de werkelijkheid, en wel een begrensd deel. Voorbeelden zijn een plantecel, een plant, een gewas. Een model is een vereenvoudigde beschrijving van zo een systeem. Onder simuleren kan worden verstaan het bouwen van dat model en het bestuderen van zijn gedrag (de Wit, 1968). Hiervoor zijn bepaalde regels en procedures ontwikkeld. Deze zullen hieronder worden toegelicht aan de hand van een door de Wit en Brouwer (1968) beschreven voorbeeld. Vervolgens zullen nog enige algemene opmerkingen worden gemaakt over de door ons gevolgde werkwijze.

Het voorbeeld van De Wit en Brouwer betreft een model voor de exponentiële groei van een plantedeel. In deze fase van de groei neemt het drooggewicht binnen een bepaald tijdsinterval steeds toe met een constant percentage van het gewicht. Deze constante factor wordt aangeduid met relatieve groeisnelheid.
Het is gebruikelijk bij het simuleren gebruik te maken van een relatiemodel en een mathematisch model. In het relatiemodel wordt de onderlinge afhankelijkheid tussen de grootheden weergegeven, maar niet het kwantitatieve verband daartussen. Het relatiemodel is weergegeven in figuur 4.
Het gewicht (WGT) van de plant is weergegeven in een rechthoek; deze grootheid is een zogenaamd niveau ("level"), d.w.z. de grootheid blijft ook bestaan als het gehele proces (de groei) stilstaat. De groeisnelheid (GR) wordt weergegeven door een getrokken pijl met een kraan. De kraan geeft aan dat de betreffende grootheid een stroomsnelheid regelt en de getrokken pijl dat het hier gaat om een stroom van materiaal (i.c. drogestof).
De GR is op zijn beurt weer afhankelijk van het gewicht zelf en van een constante, de relatieve groeisnelheid (RGR). Omdat het hier gaat om stromen van informatie werden gestippelde pijlen gebruikt. De RGR is een parameter die in een bepaalde situatie (gedurende de fase van exponentiële groei) constant is; daarvoor wordt het symbool -O- gebruikt.
Het mathematisch model bestaat uit een aantal vergelijkingen waarmee de grootheden op achtereenvolgende tijdstippen kunnen worden berekend. De manier waarop is afhankelijk van de gekozen integratiemethode; in dit geval was dat de rechthoeksmethode (zie figuur 5). Het gewicht $WGT(t_k)$ op tijdstip t_k, wordt via een zogenaamde niveau-vergelijking ("level-equation") verkregen door het gewicht $WGT(t_{k-1})$ op het voorafgaande tijdstip t_{k-1}, te vermeerderen met het produkt van het tijdsinterval (t_k-t_{k-1}) en groei-

snelheid $GR(t_{k-1})$ op het tijdstip t_{k-1}. De snelheidsvergelijking ("rate-equation") geeft aan dat de groeisnelheid GR (t_k) gelijk is aan het produkt van het gewicht op tijdstip WGT (t_k) en de relatieve groeisnelheid RGR. Bij de volgende tijdstippen wordt t_k t_{k-1} en kan de nieuwe vergelijking worden uitgerekend. Door het nemen van kleine tijdsintervallen kan een grote mate van nauwkeurigheid worden verkregen. Wanneer dus de beginwaarde bekend is - in dit geval het gewicht aan het begin van de periode van exponentiële groei - kan het gewicht op elk tijdstip daarna worden berekend door herhaald gebruik van snelheids- en niveauvergelijking.

In principe werd ook in ons model het drooggewicht van de organen op deze manier uitgerekend. Daarbij werd niet uitgegaan van een (constante) RGR, omdat de GR verandert door de wijziging in de verdeling van het geproduceerde materiaal over de organen. De resultaten van een statistische analyse van meetgegevens voor het drogestofverloop van de moederbollen aan de hand van een door Leech en Healy (1959) beschreven methode pleitten ook tegen het hanteren van een RGR. Er werd van uitgegaan dat de drogestof ter beschikking komt via de fotosynthese van de bovengrondse delen (waarbij geen onderscheid werd gemaakt tussen dag en nacht maar over 24 uur werd gerekend) en de drogestofafname van de oude bol. De verdeling van de drogestof werd bepaald via empirisch gevonden relaties. Bij het zoeken naar deze relaties werd uitgegaan van de eenvoudigste vorm van concurrentie namelijk één die constant is in de tijd. Bij de berekeningen werd alleen onderscheid gemaakt tussen de eindknop (stengel, blad en bloem) als geheel, de dochterbollen (klisters + hoofdbol) als geheel en de oude bol (rokken van de geplante bol) als geheel.
Verder werd rekening gehouden met verademing van een deel van de gevormde drogestof. Hierbij werd, gezien de geraadpleegde literatuur, alleen nog rekening gehouden met de onderhoudsademhaling.
Van de omgevingsfactoren werden de stralingsgegevens gebruikt voor het berekenen van de door fotosynthese gevormde drogestof en de temperatuurgegevens vooral voor het berekenen van de grootte van de ademhalingsverliezen. De berekeningen werden uitgevoerd op de DEC-10 computer van het rekencentrum van de Landbouwhogeschool te Wageningen; het programma benutte de "Continuous System Modeling Program (C.S.M.P.)"-computer (I.B.M., 1972). De integraties werden volgens de RECT-methode (rechthoeksmethode) uitgevoerd met tijdsintervallen (DELT) van 0,25 dag. Het model begint op 15 juli 1970. Het volledige programma is in bijlage 2 opgenomen; in bijlage 3 zijn alle gebruikte afkortingen in alfabetische volgorde omschreven.

4. RESULTATEN

4.1. Omgevingsfactoren

In eerste instantie zijn temperatuur en licht om programma-technische redenen als tijdreeksen beschreven, ieder met een sinusfunktie. Deze werkwijze wilden we in principe handhaven, zodat ook geen onderscheid is gemaakt tussen dag en nacht.

4.1.1. Temperatuur

a. Bodemtemperatuur (TEMPS)

Bij de bewerking van de bodemtemperatuur werd verondersteld dat deze factor een sinusachtig verloop had met een maximum omstreeks half juli en een minimum omstreeks half januari. De maandelijks gemeten maximum- en minimum-temperaturen en het aantal vorstdagen zijn evenwel niet in één sinusfunctie te vangen. Door aanpassing aan TMAX en TMIN is geprobeerd de gehanteerde sinusfunctie redelijk in de buurt van de gemeten waarden voor het groeiseizoen te houden. Het maximum, TMAXS, werd op een gemiddelde waarde van 21°C gesteld en het minimum, TMINS, op een gemiddelde waarde van -0,12°C; dit omdat volgens gegevens van het K.N.M.I. in de periode na 1 januari gemiddeld 18 vorstdagen voorkwamen (zie ook paragraaf 4.1.2.). Het verloop van de bodemtemperatuur wordt dan beschreven door de volgende vergelijking:

TEMPS = TMS + TDS * SIN (2.*PI * (TIME + 91.)/365.) (de term tussen haakjes werd gebruikt om het maximum na 15 juli te krijgen). TEMPS = waarde van de bodemtemperatuur in °C; TMS (gemiddelde waarde) en TDS (maximale afwijking van de gemiddelde temperatuur) werden verkregen via de volgende vergelijkingen:

TMS = (TMAXS + TMINS)/2.

TDS = (TMAXS - TMINS)/2.

TIME is het aantal dagen vanaf 15 juli. De op deze manier berekende waarden van de bodemtemperatuur zijn in fig. 6 weergegeven (steeds berekend voor het midden van de maand). In de figuur zijn ook de maandelijkse gemiddelden gegeven van de bodemtemperatuur die in 1970/'71 te Lisse werd gemeten. Uit de figuur blijkt dat de gemeten bodemtemperaturen in januari en februari 1971 hoger zijn geweest dan de berekende en in juni 1971 en juli 1970 lager.

b. Luchttemperatuur (TEMPA)

Alhoewel aanvankelijk ook het verloop van de luchttemperatuur (TEMPA) in een sinusfunctie werd uitgedrukt, moest later gebruik worden gemaakt van gegevens van het K.N.M.I.-station te Valkenburg. De aanpassingsfouten bleken van invloed op het verschil tussen meetwaarden en simulatieresultaten. In Valkenburg werd op 1,50 m hoogte in een weerhut uurgegevens verzameld betreffende o.m. de temperatuur. Voor het model werden de temperaturen die vanaf 15 juli 1970

op 3.00, 9.00, 15.00 en 21.00 uur zijn geregistreerd, gebruikt. Deze gegevens werden in de vorm van een tabel (TATB) opgenomen. Voor het model werden de temperaturen uit de tabel via de volgende vergelijking verwerkt:

TEMPA = TABHL (1440, TATB(1), TIME, 0.0., FINTIM, 0.25)

Door de DELT (integratie-interval) op een kwartdag te brengen werden al de gegevens ook in het model opgenomen. Om programma-technische redenen zouden we het liefst deze tabelwaarden opnieuw via een functie willen benaderen. Een tijdreeksanalyse lijkt hier mogelijkheden te bieden.
Ter vergelijking worden hieronder zowel de maandgemiddelden van de luchttemperatuur, zoals deze uit de tabel zijn berekend, gegeven als de in Lisse gemeten luchttemperaturen (tabel 1).

Tabel 1. Gemiddelde maandelijkse luchttemperaturen in °C op 1,50 m hoogte van 15 juli 1970 t/m juli 1971 te Valkenburg en Lisse

datum	13/7 t/m 31/7	1/8 t/m 31/8	1/9 t/m 30/9	1/10 t/m 31/10	1/11 t/m 31/11	1/12 t/m 31/12	1/1 t/m 31/1	1/2 t/m 28/2	1/3 t/m 31/3	1/4 t/m 30/4	1/5 t/m 31/5	1/6 t/m 30/6	1/7 t/m 9/7
Valkenburg	16	17	15	12	8	3	3	4	3	8	13	13	18
Lisse	15	17	15	11	7	4	3	4	4	8	14	14	20

In het algemeen is er een vrij goede overeenstemming.

4.1.2. Gebruik temperatuurgegevens

De temperatuurgegevens werden gebruikt bij de volgende berekeningen.

a) Bepaling van de grootte van de ademhalingsverliezen

In het model werd alleen rekening gehouden met de zogenaamde onderhoudsademhaling (Penning de Vries, 1974). De snelheid van deze ademhaling heeft een bepaalde Q10. Deze werd in het model ondergebracht naar analogie van vele andere in de literatuur (zie bijv. Baas Becking, 1934) genoemde processen waarbij per 10° temperatuurstijging een snelheidsverdubbeling optreedt; dus bijv. bij 10°:0,5; 20°:1, 30°:2 enz. Hieruit werd de volgende vergelijking afgeleid $y = \frac{1}{4} * 2^{x/10}$ waarbij y de zogenaamde efficiëntiefactor is en x de temperatuur. Deze functie is weergegeven in figuur 7.
De andere mogelijkheid om door 3 punten een parabool te bepalen werd verworpen omdat dan een minimum bij 5°C optreedt wat niet realistisch leek. Dezelfde bezwaren had een lineaire interpolatie. De x in de vergelijking kan zowel betrekking hebben op de bodemtemperatuur als de luchttemperatuur

zodat in het model de volgende 2 vergelijkingen zijn opgenomen:

```
TEFS = .25*(2.0 **(TEMPS/10.))
TEFA = .25*(2.0 **(TEMPA/10.))
```

b) Bepaling van het begin van de fotosynthese van de bovengrondse delen

Verderop wordt beschreven (zie blz. 15) waarom dit moment werd bepaald. Er is verondersteld dat bij luchttemperaturen beneden 5°C geen fotosynthese plaatsvindt.
Dit werd als volgt vastgelegd:

```
DX = TEMPA -5.
H = INSW (DX.,0.,1.)
PHOTS = A*B*H*PHOT
```

Voor een verklaring van de symbolen wordt naar de desbetreffende hoofdstukken verwezen.

c) Berekening van het aantal vorstvrije dagen

Ter simulering van het drooggewichtsverloop van de oude bol was het noodzakelijk het aantal dagen te bepalen dat geen vorst optrad op een diepte van 10 cm (DFRL). Dat aantal werd berekend met het model zelf aan de hand van de sinusfunctie van de bodemtemperatuur. Hiervoor werden de volgende vergelijkingen opgenomen, waarin het begin en eind van de vorstperiode wordt uitgerekend. Het begin van de vorstperiode werd aangeduid als TIME 1 en als volgt berekend:

```
Y =-TMS/TDS
YKW = Y * Y
PHI = ATAN (Y/SQRT (1.-YKW)
PHI1 =-PHI + PI
TIME 1 = (PHI1 *365.)/(2.*PI)-91.0
```

De zo berekende TIME 1 = 173,98, gerekend vanaf 15 juli of in andere woorden de vorstperiode begint in de loop van de 4e januari. Het eind van de vorstperiode wordt aangeduid als TIME 2 en als volgt berekend:

```
PHI2 = PHI + 2 * PI
TIME 2 = (PHI2 * 365.)/(2. * PI)-91.0
```

De zo berekende TIME 2 = 191,52; de vorstperiode eindigt in de loop van de 22e januari. Hoe deze gegevens verder zijn opgenomen wordt aangegeven bij het hoofdstuk over de moederbol.

4.1.3. Straling

Ook de straling wordt in de vorm van een sinusfunctie opgenomen (Szeicz et al.

1964). Daarbij werd gebruik gemaakt van de door Rees en Thornley (1973) gegeven waarden die gelden voor het Zuidwesten van Engeland. Alhoewel deze waarnemingsplaats ongeveer 2° zuidelijker ligt dan Lisse werden toch geen grote afwijkingen verwacht. Het maximum van de straling (ALMAX) werd bereikt in juni met een gemiddelde waarde in Joule per m^2 per dag van 1051×10^4. Het minimum (ALMIN) werd bereikt in december met een gemiddelde waarde van 105×10^4 $J.m^{-2}.dag^{-1}$.
De fotosynthetische actieve straling ALIO heeft dan de volgende gemiddelde waarde:

```
ALIO = ALIM + ALID * SIN(2. * PI * (TIME + 115.)/365.)
PI = 4. * ATAN(1.)
ALIM = (ALMAX + ALMIN)/2.
ALID = (ALMAX - ALMIN)/2.
```

In de berekeningen werd uitgegaan van de cal. $cm^{-2}.dag^{-1}$ i.p.v. J. m^{-2} dag^{-1} zodat

```
ALI = ALIO/4.184E4
```

Deze ALI is te vergelijken met de door De Wit (1965) onderscheiden Ha (= de actuele gemiddelde waarde van de fotosynthetische actieve straling).
Het verloop van de ALI is weergegeven in figuur 8.
Daarnaast is weergegeven de Ha van Lisse zoals gemeten in de periode '70/'71. De totale globale straling, Hsh, werd vermenigvuldigd met 0,5 om de Ha te verkrijgen. Uit de figuur blijkt dat de werkelijke straling lager is geweest dan de gesimuleerde. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn doordat ALI werd ontleend aan die van Z-W-Engeland. Daarom is ook de Ha van 52° NB aangegeven. Deze werd als volgt berekend:
Door De Wit (1965) wordt van elke 10de breedtegraad het verloop van de zogenaamde Hc gegeven. Dit is de gemiddelde waarde van de straling op heldere dagen. Op bewolkte dagen is de straling 0,2 Hc. De fractie van de tijd dat de lucht bewolkt is wordt aangegeven door F.

```
F = (Hc-Ha)/(0,8Hc)
```

Voor het berekenen van Ha op 52° N.B. hebben we aangenomen dat de helft van het aantal dagen helder is geweest. Daaruit resulteert:

```
Ha = 0,6 Hc
```

Waarbij Hc werd ontleend aan Rytema en Endrödi (1970) die De Wit's gegevens omrekenden tot waarden voor 52° N.B. ALI en Ha 52° N.B. blijken een veel betere overeenstemming te hebben dan ALI en Ha Lisse zodat afwijkingen in de laatste voor het grootste deel kunnen worden toegeschreven aan jaarlijkse invloeden.

4.1.4. Gebruik stralingsgegevens (berekening fotosynthese)

De stralingsgegevens (ALI) werden gebruikt om de fotosynthese van de bladeren uit te rekenen. Hierbij werd uitgegaan van door De Wit (1965) opgestelde berekeningen voor de brutofotosynthese van een zogenaamd standaardgewas. Dit is een gewas met 100% bedekking (L.A.I. = 5), gezond en in een medium dat voldoende houvast biedt en waaruit mineralen, zuurstof en water in voldoende mate ter beschikking komen. De positie van de bladeren ten opzichte van het horizontale vlak is verdeeld volgens het toeval. De transportweerstand van CO_2 vanuit de lucht naar het gewas (Ra) = 0,5 sec. cm^{-1}. Van het op een blad aankomende licht wordt 30% verstrooid. Voor de bladeren geldt een fotosynthese-snelheid bij zeer hoge lichtintensiteiten van 20 kg drogestof ha^{-1} uur^{-1} en de halfwaarde hiervan wordt bereikt bij een lichtintensiteit van 0,056 cal. cm^{-2}.$min.^{-1}$. Voor dit standaardgewas werd de brutofotosynthese voor elke 15e dag van de maand op elk 10de breedtegraad berekend (=P) voor heldere dagen (=Pc) en bewolkte dagen (=Po) bij een bepaalde bewolkingsgraad (=F) volgens de formules

$F = (Hc-Ha)/(0,8\ Hc)$ (zie boven)

$P = FPo + (1-F)Pc$ kg CH_2O ha^{-1}.dag^{-1}.

In het model wordt uitgegaan van drogestof-produkties in mg. $plant^{-1}$.dag^{-1}. Daarom werd nog gecorrigeerd voor de plantdichtheid. Deze was 95,238 bollen (= planten) m^{-2}

De Ha, P en gecorrigeerde P = P1 zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. De dagelijkse totalen van licht (golflengte 400-700 m μ) (Ha, cal. cm^{-2}), de fotosynthesesnelheid in kg CH_2O.$plant^{-1}$. voor 52°N.B. (P^1).

datum	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	15/6	15/7	15/8	15/9	15/10	15/11	15/
Ha	37,8	71,4	117	177	225	249,6	241,2	202,2	145,8	90,6	48,6	31,
P	91,5	150,5	221	303,5	367,5	400	393,5	336,5	258	180	111	78,
P^1	96,0	158,0	232,0	318,6	385,8	420,0	413,1	353,3	270,9	199,5	116,5	82,

De correctie op de plantdichtheid was niet de enige die werd uitgevoerd. Zoals boven werd vermeld gelden de berekeningen voor een gesloten gewas met een LAI van 5. Bij het door ons gebruikte plantmateriaal kwam echter de LAI niet boven de waarde 2,5. Dit houdt in dat niet al het licht voor

de fotosynthese wordt gebruikt omdat een deel op de grond valt in plaats van op het blad. De P- en P^1-waarden zijn dus te hoog. Het bedekkingspercentage dat aangeeft het percentage grond dat door blad wordt bedekt is te beschouwen als een maat voor de lichtinterceptie. Het bedekkingspercentage werd niet rechtstreeks in het model opgenomen maar via de volgende stappen.

a) Verband tussen LAI en drooggewicht eindknop

Uit de verzamelde plantgegevens van de seizoenen 1970/'71, 1971/'72 en 1972/'73 werd een verband afgeleid tussen het drooggewicht van de eindknop (= TOP) en de L.A.I. (= ALAI). Dit verband is in figuur 9 weergegeven.
Uit de gegevens werden de 2 parameters aan elkaar gekoppeld volgens de vergelijking:

```
X = TOP * 1.E6
ALAI = AMAX1 (0.0, AA*(1.-BB * EXP(CC*X)))
AA = .27447E+01
BB = .12342E+01
CC = -.55990E-03
```

De relatie tussen L.A.I. en TOP leek een bovengrens te hebben, daarom is de bovenstaande functie gekozen en via een kleinste kwadraten-aanpassing zijn de parameters AA, BB en CC geschat. Bij de aldus berekende ALAI is een 'errorterm' bijgeloot.

b) Verband L.A.I. en bedekkingspercentage en drogestofproduktie

De relatie tussen LAI en bedekkingspercentage werd ontleend aan het door Van der Valk en Timmer (1974) gevonden verband voor deze cultivar en plantmaat (alhoewel niet van dezelfde partij). De variatie in LAI werd in dat onderzoek verkregen door een variatie in plantdichtheid. Deze factor beïnvloedde het bladoppervlak als zodanig echter weinig. Geen rekening werd gehouden met het feit dat de relatie vóór eind april een andere was dan daarna, vanwege een verandering in stand van de bladeren (andere positie ten opzichte van het horizontale vlak). Uitgegaan werd van de na eind april gevonden relatie, zie figuur 10.
Het zo bepaalde verband diende als correctie op de P^1-waarden, die verder zijn aangeduid met PHOT. Deze werden berekend via waarden van ALAI en ALI. De serie vergelijkingen die hiervoor werden opgenomen zijn: (zie ook figuur 11):

```
   PHOT 1 = AFGEN (ALTA1, ALAI)
   PHOT 2 = AFGEN (ALTA2, ALAI)
   PHOT 3 = AFGEN (ALTA3, ALAI)
   PHOT 4 = AFGEN (ALTA4, ALAI)
   PHOT 5 = AFGEN (ALTA5, ALAI)

AFGEN ALTA 1 = 0.,0.,1., 45.5E-6,2.,87.4-E6,3.,107.7E.6,4.,114.9E-6.
AFGEN ALTA 2 = 0.,0.,1., 76.6E-6,2.,147.2E-6,3.,181.4E-6,4.,193.5E.6
AFGEN ALTA 3 = 0.,0.,1., 105.7E-6,2.,203.1E-6,3.,250.4E-6,4.,267.1E-6
AFGEN ALTA 4 = 0.,0.,1., 132.5E-6,2.,254.5E-6,3.,313.7E-6,4.,334.7E-6
AFGEN ALTA 5 = 0.,0.,1., 160.0E-6,2.,307.4E-6,3.,378.9E-6,4.,404.2E-6
PROCEDURE PHOT = FUNK1 (ALI, PHOT1, PHOT2, PHOT3, PHOT4, PHOT5)
   LI = IFIX (ALI/50.)+1

    GO TO (10, 20, 30, 40, 50, 60), LI
10  PHOT = 0.+((PHOT 1-0.)/50.)*ALI
    GO TO 65
20  PHOT = PHOT 1 + ((PHOT 2-PHOT 1)/50.)*(ALI-50.)
    GO TO 65
30  PHOT = PHOT 2 + ((PHOT 3-PHOT 2)/50.)*(ALI-100.)
    GO TO 65
40  PHOT = PHOT 3 + ((PHOT 4-PHOT 3)/50.)*(ALI-150.)
    GO TO 65
50  PHOT = PHOT 4 + ((PHOT 5-PHOT 4)/50.)*(ALI-200.)
    GO TO 65
60  PHOT = PHOT 5 + ((PHOT 5-PHOT 4)/50.)*(ALI-250.)
65  CONTINUE
```

De AFGEN ALTA vergelijkingen zijn tot stand gekomen via de bovengenoemde stappen en berekeningen. Als voorbeeld wordt de berekening van 3.,181.4E-6 van AFGEN ALTA 2 gegeven. De waarde 3 geeft aan dat we hier te maken hebben met een ALAI van 3 en een ALI van 100 $cal.cm^{-2}.dag^{-1}$. De waarde van P, bepaald via lineaire interpolatie van de in grafiek gezette waarden van Ha, Po en Pc (zie fig. 12) is dan via de formule $P_{pot} = F*Po + (1-F)*Pc =$ $0,5*124 + 0,5*260 = 192$ kg $CH_2O.ha^{-1}.dag^{-1}$. Volgens figuur 10 waarin de relatie tussen L.A.I. en bedekkingspercentage wordt weergegeven, behoort bij de LAI van 3 een bedekkingspercentage van 90%, d.w.z. dat de voor de bedekking gecorrigeerde P is 192x0,9=172,8 kg $CH_2O.ha^{-1}.dag^{-1}$.

Voor P^1 moet dan nog worden gedeeld door de plantdichtheid: 172,8:95,238= 181,44 mg.plant^{-1}.dag^{-1}. Deze waarden zijn tevens weergegeven in figuur 11. In de AFGEN ALTA vergelijkingen is de eerste van het tweetal genoemde waarden dus steeds de LAI (0, 1, 2, 3 en 4) en de tweede de produktie in mg.pl^{-1}.dag^{-1}. De vergelijkingen onder "PROCEDURE" geven aan dat voor tussenliggende waarden van LAI (verkregen via het drooggewicht van de eindknop) het drooggewicht wordt bepaald door lineaire interpolatie. De keuze tussen de vergelijkingen 10 t/m 60 is afhankelijk van de grootte van de ALI.

Aanvankelijk werd de fotosynthese uitgerekend voor de periode tussen opkomst en afsterving van het gewas, respectievelijk aangeduid met DEMER en DDEAT en in aantal dagen na 15 juli. Dit aantal werd ontleend aan de situatie in het groeiseizoen 1970/'71. De opkomst viel op 15 februari (TIME = 215.) en de rooidatum op 5 juli (TIME = 355.).

De zo verkregen uitkomsten waren echter niet bevredigend, bovendien leek het ons niet aannemelijk dat de fotosynthese al zou plaatsvinden bij dergelijke lage luchttemperaturen, alhoewel Rees en Thornley (1973) het in hun model wel aannamen. Daarom werd tevens in het programma opgenomen dat geen fotosynthese zou plaatsvinden bij luchttemperaturen beneden 5°C. Dit alles werd als volgt in het programma opgenomen.

```
PHOTS = A * B * H * PHOT
    H = INSW(DX,0.,1.)
   DX = TEMPA-5.
    A = INSW ((TIME-DEMER),0.,1.)
    B = INSW ((TIME-DDEAT),1.,0.)
```

In verdergaand onderzoek is het echter beslist noodzakelijk de hiervoor genoemde aannamen op hun juistheid te toetsen.

4.2. Plantgegevens

Bij de verwerking van de plantgegevens wordt steeds eerst het relatiemodel gegeven. Naast de onder hoofdstuk 3 genoemde symbolen wordt daarbij nog het symbool ⬭ gebruikt. Dit geeft een met de tijd variërende hulpvariabele aan. De terminologie is ontleend aan Forrester; Industrial Dynamics (1961).

4.2.1. De moederbol (MB)

Het relatiemodel in in figuur 13 weergegeven.

De moederbol bestaat uit de rokken en de bolschijf van de geplante bol.

Bij de gekozen plantmaat en cultivar waren er gemiddeld 3,5 witte rokken per bol omgeven door een bruine huid. In de oksels van deze rokken groeien de nieuwe knoppen in de loop van het groeiseizoen uit tot nieuwe bollen (zie figuur 3).

De moederbol neemt vanaf het moment van planten in gewicht af (eigenlijk ook al gedurende de bewaring). De afname wordt veroorzaakt door ademhaling (MBRR) en anderzijds doordat drogestof wordt overgeheveld naar de spruit (TMBT), de wortels (TMBRT) en de nieuwe bol (TMBDB).

Het drooggewicht van de oude bol (= moederbol) werd beschreven door een mathematische functie. Dit werd gedaan met behulp van een door Dolby (1963) ontwikkelde techniek waarbij door een niet lineaire transformatie een rechtlijnig verband wordt verkregen. De bedoeling van het rechtlijnig verband is om de rate-equations zo eenvoudig mogelijk te beschrijven.

$Y = a + bz$

$z = x^p$; $p = \frac{1}{2}$, worteltransformatie

x = aantal dagen na het planten

a, b; constanten

Y; drooggewicht

Bij het hanteren van x als aantal dagen was er telkens een knik op het punt waarop vorst optrad.

Op grond van een analyse van in 3 jaar verzamelde gegevens (1970/'71 t/m '72/'73) bleek het beste resultaat te worden verkregen wanneer voor x het aantal vorstvrije dagen (DFRL) na het planten werd genomen. Voor het seizoen '70/'71 werd voor a de waarde $4767{,}8 \times 10^{-6}$ en voor b de waarde $-354{,}6 \times 10^{-6}$ afgeleid. Deze werden in het model opgenomen; y werd in het model aangeduid als MBOO:

```
MBOO = AAA + BBB*SQRT(DFRL)
AAA = 4767.8E-6
BBB =-354.6E-6
```

Bij de berekende MBOO werd ook een 'errorterm' geloot. Uit de analyse bleek dat deze relatie niet de gehele periode van afname van het drooggewicht beschreef. Afgezien van de invloed van een vorstperiode, werd in de groeianalyses gevonden dat de relatie niet gedurende de eerste 14 dagen na het planten gold en ook niet in de periode waarin de afname van het drooggewicht duidelijk minder wordt of zelfs stop staat. Dit was in 1970/'71 het geval vanaf ongeveer half mei (groeianalyse 17/5).

Het overblijvende gedeelte van de moederbol werd SCHIL (is niet voor de plant beschikbare drogestof) genoemd en gesteld op 300 mg.plant^{-1} (waar-

nemingen '70/'71), dus PARAM SCHIL = 300.E-06.

In het model werden hiervoor de volgende vergelijkingen opgenomen:

a) In de eerste 14 dagen na het planten

```
      IF (TIME.LE.DPL) GO TO 1111
      DPL = DPLAN + 14.
 1111 CONTINUE
      IF (MBOO.GT.MBI) GO TO 101
      IF (MBOO.LT.SCHIL) GO TO 102
      GO   TO   103
  103 MB = MBOO
      INCON  MB = 3438.E-6, MBOO = 3438.E-6
```

Omdat de beide if-statements niet van toepassing zijn in deze periode wordt vergelijking 103 van toepassing en wordt MB = MBOO = 3438.E-6 en dit is gelijk aan de beginwaarde van de MB (MBI), ontleend aan de waarnemingen '70/'71. Beginwaarde is het drooggewicht op planttijdstip 16 november: 3438 mg.plant^{-1}.

b) De periode vanaf 14 dagen na het planten tot het begin van de vorstperiode

```
      IF(TIME.LE.TIME1) GO TO 70
   70 DFRL = TIME-DPLAN
      GO TO 90
   90 CONTINUE
      MBOO = AAA + BBB * SQRT (DFRL)
      R = INSW (MBOO-SCHIL,0.,1.)
      MB = MBOO *R
```

Als de waarde van MBOO groter is dan die van de schil dan geldt MBOO = MB als hij echter kleiner wordt dan wordt hij hier niet opgevoerd maar dan via de volgende vergelijkingen gelijk aan de schil.

```
       IF (MBOO.LT.SCHIL) GO TO 102
  102 MB = SCHIL
```

c) Gedurende de vorstperiode

```
      IF (TIME.LE.TIME2) GO TO 80
      80 DFRL = TIME 1-DPLAN
      90 CONTINUE
      MBOO = AAA + BBB * SQRT(DFRL)
      R = INSW(MBOO-SCHIL,0.,1.)
      MB = MBOO *R
```

d) Na de vorstperiode

```
DFRL = TIME-DPLAN-(TIME2-TIME1)
GO TO 90
90 CONTINUE
MBOO = AAA + BBB *SQRT(DFRL)
R = INSW(MBOO-SCHIL,0.,1.)
MB = MBOO *R
```

Als de waarde van MBOO groter is dan die van de schil dan wordt R = 1 en wordt MBOO gelijk aan MB.
Als de waarde van MBOO kleiner mocht worden dan de schil dan wordt de waarde van MB gelijk aan die van de schil. Mocht MBOO groter worden dan MBI in verband met de errorterm, dan wordt de MB gelijk aan MBI via de volgende vergelijkingen.

```
   IF (MBOO.GT.MBI.) GO TO 101
   IF (MBOO.LT.SCHIL) GO TO 102
101 MB = MBI
   GO TO 104
102 MB = SCHIL
104 CONTINUE
```

Met behulp van de bovengenoemde vergelijkingen werd het moederbolgewicht uitgerekend en de waarden om de 5 dagen uitgeprint.
De resultaten van deze uitdraai zijn in figuur 14 gegeven tezamen met de werkelijk verkregen resultaten in het seizoen 1970/'71. Het blijkt uit de figuur dat er een goede overeenstemming is tussen het gesimuleerde drooggewichtsverloop en het werkelijke verloop van het drooggewicht in het seizoen 1970/'71. De drooggewichtsafname van de moederbol wordt "verbruikt" in ademhaling en voor verdeling over wortels, dochterbollen en de spruit, het orgaan dat de bovengrondse delen levert. De ademhaling werd via de volgende vergelijking opgenomen:

MBRR = MB *.02* TEFS* R (zie voor verklaring paragraaf 4.1.2.).

Tijdens de groeianalyses werden geen waarnemingen gedaan betreffende het drooggewichtsverloop van de wortels daarom werd er in het model ook verder geen rekening mee gehouden, mede door het ontbreken van relevante literatuurgegevens. In het model werd op grond van niet gepubliceerde gegevens van Van der Valk alleen een aftrekpost ingebouwd van 10% van het drooggewichtsverlies van de MB, voor de wortels (RT) via de volgende vergelijking:

RTGR = 0.1 MBGR1 (de symbolen worden in de loop van de verdere tekst besproken). De overige 90% komt ter beschikking van spruit (TOP) en nieuwe bollen (DB). De verdeelsleutel hiervoor werd bepaald met behulp van in 3 seizoenen verzamelde gegevens in groeianalyses. Door de drooggewichten, die werden gevonden voor opkomst, tegen elkaar uit te zetten (zie figuur 15) werd de verdeelsleutel afgeleid. Bij lage waarden van het drooggewicht van de nieuwe bol was er nagenoeg geen sprake van een jaarinvloed. Een waarde van 100 van de nieuwe bol komt overeen met een waarde van 800 van de spruit. Tevens is het verloop in deze periode vrijwel lineair. Daarom werd verondersteld dat gedurende de gehele periode de volgende verdeling heerst: 12½% naar de nieuwe bol en 87½% naar de spruit (een op het oog gekozen verdeling waarbij meer gewicht werd toegekend aan kleine waarden. Deze verdeling wordt in het model aangeduid met de parameters BB1 en (1-BB1). Op het moment van bloei is MBGR1 waarschijnlijk te verwaarlozen. Voor het geval dat dit niet zo zou zijn, is zekerheidshalve TMBT vanaf de 10e dag na de bloei op 0 gesteld en de eventuele drogestofverandering ten goede gerekend aan de dochterbollen. Op de keuze van het getal 10 komen we nog terug. De afname van de moederbol werd via de volgende vergelijkingen beschreven:

```
MBGR 1 = (MBO-MB-MBRR) *R
MBO = DELAY (2,1.0,MB)
MBGR = MBGR 1-RTGR
```

Via de zogenaamde delayfunctie wordt de moederbolwaarde van 1 tijdstip eerder gebruikt; MBO. In de vorstperiode vindt geen afname van het drooggewicht plaats en is ook MBGR op nul gesteld:

```
IF (TIME.GT.TIME 1.AND.TIME.LE.TIME 2) GO TO 95
GO TO 96
95 MBGR = 0
96 CONTINUE
```

4.2.2. De eindknop (TOP)

Het relatiemodel is in figuur 16 weergegeven.
Onder de eindknop (TOP) wordt verstaan de plantedelen die samen de zogenaamde bovengrondse delen vormen. Bij de onderzochte plantmaat zijn dit stengel, blad en bloem. Gemiddeld over alle groeianalyses waren er 3 bladeren per plant aanwezig. Het drooggewicht zoals dat op elk moment in groeianalyses kan worden vastgesteld, is afhankelijk gesteld van de volgende processen.

1) Een toename van het drooggewicht als gevolg van
   a) Transport van drogestof van de moederbol naar de top (TMBT), zie vorige paragraaf. Hiervoor zijn de volgende vergelijkingen opgenomen:

```
TMBT = (1.-BB1) * MBGR * E
PARAM BB 1 = 0.125
E = INSW (TX,1.,0.)
TX = TIME-(DFLOW + 10.)
```

Zie ook vorige paragraaf.

De invoering van MBGR heeft tevens tot gevolg dat TMBT ook gedurende de vorstperiode 0 is. In woorden houden bovenstaande vergelijkingen in dat 10 dagen na de bloei 7/8 van 90% van de drooggewichtsafname van de moederbol naar de eindknop gaat.

b) Transport van drogestof van de dochterbollen naar de eindknop (TDBT): wegens het ontbreken van gegevens is TDBT op 0 gesteld.

TDBT = 0 (uitgaande van concurrentie tussen DB en TOP is dit niet onredelijk).

c) Transport van fotosyntheseprodukten (TOPGR). De in de fotosynthese gevormde drogestof komt ter beschikking van de eindknop en van de dochterbollen. De verdeling over beide organen werd vastgesteld met de hogere waarden uit de al eerder besproken relatie tussen drooggewicht eindknop en dochterbollen (zie figuur 15). Aangenomen is dat bij de hogere waarden in drooggewicht van eindknop en dochterbollen de bijdrage van de moederbol te verwaarlozen is, evenals het verschil in ademhalingsverliezen van deze delen. Hier blijkt dat de verhouding tot het moment waarop de eindknop zijn maximale omvang (gemeten in drooggewicht) bereikt, op het oog ongeveer 1 op 3 is. (Hier is meer gewicht toegekend aan de grote drooggewichtswaarden.) Hieruit werd de conclusie getrokken dat 33 1/3% van de door fotosynthese gevormde drogestof voor de nieuwe bol beschikbaar komt en de rest voor de eindknop. Voor het geval dat de bijdrage van de moederbol niet geheel te verwaarlozen is, is in het gebied rond het knikpunt de benadering niet helemaal correct. Op grond van waarnemingen in verschillende groeiseizoenen ligt het knikpunt ongeveer 10 dagen na de bloei, zodat daar overgegaan wordt op de nieuwe verdeelsleutel.

```
TOPGR = (1.-BB2) *PHOTS * E
BB2 = 0.333
E = INSW (TX.,1.,0.)
TX = TIME - (DFLOW + 10.)
```

2) Een <u>afname</u> van drooggewicht als gevolg van:

d) Transport van drooggewicht van de eindknop naar de dochterbollen (TTDB). Wegens het ontbreken van gegevens voorlopig op 0 gesteld:

TTDB = 0 (bij concurrentie niet onredelijk).

e) Ademhaling (TOPRR). Ook bij de eindknop is alleen rekening gehouden met onderhoudsademhaling van 2%. De afhankelijkheid van de temperatuur is al eerder behandeld (zie paragraaf 4.1.2.). Omdat de spruit vanaf het planten tot de opkomst (= DEMER) onder de grond is werd in die periode de ademhaling afhankelijk gesteld van de bodemtemperatuur, nà opkomst van de luchttemperatuur.

```
   PROCEDURE TOPRR = FUNK 3(TEFA, TEFS)
   IF (TIME.LE DEMER) GO TO 110
   TOPRR = TOP *.02 * TEFA
   GO TO 120
110 TOPRR = TOP *.02 * TEFS
120 CONTINUE
```

De resultaten van alle bovengenoemde processen komen samen in de volgende rate-equation:

```
   TOPGB = TOPGR + TDBT + TMBT - TOPRR - TTDB
```

De waarde van de TOP op elk tijdstip (¼ van de dag) wordt vervolgens uitgerekend door TOPGB te integreren met behulp van TOPI, de grootte van het drooggewicht op het planttijdstip. In het groeiseizoen 1970/'71 was dit 134 mg.

```
   TOP = INTGRL (TOP I, TOPGB)
   INCON TOP I = 134. E-06
```

De zo verkregen resultaten worden in figuur 17 vergeleken met de in het groeiseizoen 1970/'71 gevonden waarden m.b.v. groeianalyses. Het blijkt dat eigenlijk reeds vanaf het begin een steeds grotere overschatting optreedt van het berekende t.o.v. het gemeten gewicht. Vooral ten tijde van de snelle groei is deze groot. We komen hier later nog op terug (blz. ..). Zoals al in hoofdstuk 4.1.4. is vermeld, wordt de Leaf Area Index (ALAI) berekend via de waarden van de TOP. Aangezien de TOP consequent op te hoge waarden wordt gesimuleerd wijken ook de ALAI-waarden af van de LAI. Zie hiervoor figuur 18. Hier is de overschatting niet gedurende het gehele groeiseizoen aanwezig.

4.2.3. De dochterbollen (DB)

Het relatiemodel is in figuur 19 weergegeven.

Dochterbollen worden aangelegd in de oksel van de onderscheiden rokken van de moederbol. Deze aanleg heeft in de periode vóór het planten plaatsgevonden. Het eerst, dit is zo rond februari wordt(en) de knop(pen) in de

oksel van de buitenste rok aangelegd en vervolgens schrijdt de aanleg in de loop van het jaar verder totdat tijdens de bewaring, na het rooien, de knop in de oksel van de binnenste rok van de moederbol wordt aangelegd. Dit is de zogenaamde hoofdknop. Gemiddeld, over alle groeianalyses van het seizoen 1970/'71 was het aantal knoppen in de oksel van de bruine huid 1,03; de buitenste witte rok 1,82 en in de meer naar binnen gelegen rokken 1,98 resp. 1,80 (echter de laatste niet altijd aanwezig) en waren er 1,56 hoofdknoppen. In de simulatie werd uitgegaan van het totaal gewicht van deze knoppen, de dochterbollen (DB).

Het drooggewicht op een bepaald moment is het gevolg van de volgende processen:

1) Een toename van het drooggewicht als gevolg van:

a) Transport van drogestof van de moederbol naar de dochterbollen. (TMBDB), zie hiervoor de paragraaf 4.2.1.

TMBDB = BB 1 * MBGR * E + MBGR * F

E = INSW (TX.,1.,0.)

F = INSW (TX,0.,1.)

PARAM BB1 = 0.125

TX = TIME - (DFLOW+10)

b) Transport van drogestof van de eindknop naar de dochterbollen (TTDB). (Vanwege het ontbreken van gegevens op nul gesteld.)

TTDB = 0 (bij concurrentie niet onredelijk)

c) Transport van fotosyntheseprodukten (DBGR). De hiervoor toegepaste verdeelsleutel is in paragraaf 4.2.2. besproken. Analoog daaraan ontstaan de volgende vergelijkingen:

DBGR = BB2 *PHOTS * E + PHOTS * F

PARAM BB2 = 0.333

2) Een afname van drooggewicht door:

d) Transport van drogestof van de dochterbollen naar de eindknop (TDBT). Wegens het ontbreken van gegevens voorlopig op nul gesteld.

TDBT = 0 (bij concurrentie niet onredelijk).

e) Ademhaling (DBRR).

Ook hier betreft het alleen de onderhoudsademhaling, zie hiervoor de desbetreffende paragrafen. Aangezien de dochterbollen gedurende hun gehele ontwikkeling ondergronds blijven, is de grootte van de ademhalingsverliezen alleen afhankelijk gesteld van de bodemtemperatuur

DBRR = DB *.02 *TEFS

De resultaten van al deze processen zijn samengebracht in de volgende

snelheidsvergelijking:

DBGB = DBGR + TMBDB + TTDB - TDBT - DBRR

Via deze vergelijking kan met behulp van het dochterbolgewicht op het tijdstip van planten in 1970 (DBI), het integreren van de niveauvergelijking plaatsvinden:

DB = INTGRL (DBI, DBGB)

INCON DBI = 25.E-06, d.w.z. 25 mg. per plant.

In figuur 20 worden de resultaten van de simulatie vergeleken met die van de in 1970/'71 verrichte groeianalyses. Het blijkt dat de gesimuleerde groei op een vroeger tijdstip aanvangt dan in 1971 het geval is geweest. Tot ongeveer begin juni worden hogere waarden berekend dan in werkelijkheid zijn gemeten. Daarna wordt de berekende groei juist minder dan de werkelijke.

5. DISCUSSIE EN SAMENVATTING

Voor het ontwikkelen van een simulatiemodel voor de gewasgroei van de tulp werd voor de groei van het gewas gebruik gemaakt van het in groei-analyses verzamelde drooggewicht van verschillende plantedelen. Hierbij werd alleen onderscheid gemaakt tussen de eindknop (= TOP), bestaande uit stengel, blad en bloem, als geheel; de dochterbollen (DB), bestaande uit de klisters en de hoofdbol als geheel en de moederbol (MB), bestaande uit de rokken van de geplante bol.
Drogestof voor de groei van deze organen werd geacht afkomstig te zijn van de moederbol en van de fotosynthese van de bovengrondse delen. De verdeling van de drogestof over de plantedelen werd bepaald via empirische relaties. In eerste instantie werd in het simulatiemodel het drooggewicht van de wortels verwaarloosd, omdat hierover geen gegevens beschikbaar waren. Later werd een wat grove correctie aangebracht door tijdens de periode van de afname van het drooggewicht van de moederbol, 10% van deze afname aan de wortels toe te kennen. Verder werd rekening gehouden met verademing van een deel van de gevormde drogestof. Deze ademhaling is opgebouwd uit onderhouds- en groeiademhaling. In het model werd met de laatste geen rekening gehouden omdat hierover geen gegevens beschikbaar waren. De onderhoudsademhaling werd op 2% gehouden.
Van de omgevingsfactoren werden de stralingsgegevens gebruikt voor het berekenen van de door fotosynthese gevormde drogestof, en de temperatuurgegevens vooral voor het bepalen van de grootte van de ademhalingsverliezen.
Verder werd verondersteld dat andere milieufactoren, zoals bemesting en water in voldoende mate aanwezig waren.
De hier toegepaste simulatie werd in twee stappen uitgevoerd, te weten:

I Het systeem werd voorgesteld door een mathematisch model, dat in hoofdzaak bestaat uit gewone lineaire en/of niet-lineaire differentiaalvergelijkingen (vaak "rate-equations" genoemd, die de veranderingen beschrijven) met eventueel tevoren nauwkeurig gespecificeerde restricties. In feite is dit het zogenaamde modelleren; hetgeen altijd via een zekere mate van benadering wordt uitgevoerd.

II De differentiaal-vergelijkingen (hier in feite differentie-vergelijkingen) werden met een betrouwbaar en redelijk efficiënt werkend integratie-algorithme opgelost. Ook hier speelt een bepaalde mate van benadering een rol, zodat de gevonden oplossing in ieder geval een fout tengevolge van de modelmatige benadering en tengevolge van de numerieke

integratie bevat.

De wijze van benadering bracht met zich mee dat het model in eerste instantie misschien te complex is en overbodige parameters heeft, die mogelijk bovendien niet stabiel zijn. Hieraan is voorlopig voorbijgegaan.

Door de gevolgde werkwijze is het moeilijk precies aan te geven waardoor afwijkingen ontstaan tussen de berekende en de gemeten resultaten. Ook als de resultaten wel precies met elkaar overeenstemmen heeft men niet de zekerheid dat de gekozen aannamen om tot dit resultaat te komen alle juist zijn geweest. Een samenstel van elkaar opheffende over- en onderschattingen kan dan nog een rol hebben gespeeld.

Een voorzichtige conclusie uit het hier gepresenteerde onderzoek is dat de gevolgde methode perspectieven biedt om tot een oplossing te komen van de in de inleiding gestelde vraag (zie ook Benschop et al. 1975). Het is echter noodzakelijk in toekomstig onderzoek na te gaan in hoeverre de aannamen die tot dit resultaat hebben geleid terecht zijn geweest en wat hier mogelijk voor in de plaats moet worden gesteld. 'n Paar van de belangrijkste onderwerpen van onderzoek zijn:

- Het nagaan van het verloop van het drooggewicht van de wortels
- Het nagaan van de grootte van de ademhaling en fotosynthese onder veldomstandigheden
- Ook is het van belang de gevoeligheid ten aanzien van de ingevoerde parameters na te gaan om verder onderzoek vooral te richten op die delen van het model die hierdoor worden aangegeven. Een eventuele door een gehanteerde functie niet verklaarde variatie zou tot uitdrukking kunnen worden gebracht door het bijloten van een fout uit één of meerdere verdelingen, die als beschrijving daarvan kan worden gehanteerd. Dit geeft dan een mogelijkheid op een efficiënte manier - o.a. via onder- en bovengrens van betrouwbaarheidsintervallen voor diverse parameters of door het kiezen van verschillende waarden voor een parameter - met een aantal simulatie-runs, opgezet via zogenaamde "first" en/of "second order designs", te bepalen welke parameters een grote invloed hebben op de simulatie-resultaten. Daarna kunnen we proberen het model te vereenvoudigen.
- Uitbreiden van de simulatie door deze te doen aanvangen onmiddellijk vóór de bewaarperiode teneinde het genoemde temperatuurseffect op de ontwikkeling van het gewas te kunnen beschrijven. Een andere mogelijkheid is de model-parameters te bepalen en in het model in te voeren.

voor planten uit bollen die bij andere temperatuur bewaard zijn en waarop geen andere processen van invloed zijn.

- Door benutting van beschikbare temperatuur- en lichtgegevens over vele jaren, de simulatie in willekeurige jaren te laten verlopen om een gericht advies voor gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden te geven, althans indien het hier bovengestelde lukt.

6. LITERATUUR

An. 1963. Schuurbehandeling van tulpenplantgoed. Weekbl. Bloemboll. Cult. 73, 1059-1060.

Baas Becking, L.G.M., 1934. Geobiologie of inleiding tot de milieukunde. W.P. v. Stockum N.V., Den Haag 1-263.

Benschop, M., Penning de Vries, F.W.T., Timmer, M.J.G. - 1975. Het gebruik van simulatietechnieken bij teeltkundig onderzoek. Bedrijfsontwikkeling 10 : 853-855.

Blaauw, A.H. en Versluys, M.C. - 1925. De gevolgen van de temperatuurbehandeling in den zomer voor de Darwintulp, eerste stuk. Verh. K. Ned. Akad. Wet. A'dam, afd. Nat. 34 : 755-769.

Dolby, J.L. - 1963. A quick method for choosing a transformation. Technometrics 5 : 317-325.

Forrester, J.W. - 1961. Industrial Dynamics. M.I.I. Press Cambridge (Mass).

Hekstra, G. - 1968. Selectieve teelt van tulpen gebaseerd op produktie-analyse. Versl. Landbouwk. Onderz. 702 : 1-83.

I.B.M. System/360. Continuous System Modelling Program. User's manual GH 20-0367-4. Techn.Publ. Dept., White Plains, U.S.A. : 1-76.

Leech, F.B. and Healy, M.J.R. - 1959. The analysis of experiments on growth-rate. Biometrics XV, March; 98-106.

Mulder, R., Blaauw, A.H., - 1925. De gevolgen van de temperatuurbehandeling in den zomer voor de Darwintulp, derde stuk. Ver. K. Ned. Akad. Wet. A'dam, afd. Nat. 34 : 1067-1089.

Mulder, R., Luyten, I. - 1928. De periodieke ontwikkeling van de Darwintulp. Versl. Kon. Akad. Wet. A'dam, afd. Nat. 2e sectie 26 : 1-64.

Papendrecht, G. 1955. De bewaartemperatuur van tulpenplantgoed. Meded. no. 18. Ver. Proefst. v.d. Bloemboll. Cult. Lisse, 41-56.

Penning de Vries, F.W.T. - 1974. Substrate utilization and respiration in relation to growth and maintenance in higher plants. Neth. J. agric. Sci. 22 : 40-44.

Rees, A.R. - 1969. Effect of bulb size on the growth of tulips. Ann. Bot. 33 : 133-142.

Rees, A.R. and Thornley, J.H.M. - 1973. A simulation of tulip growth in the field. Ann. Bot. 37 : 121-131.

Rijtema, P.E. and Gabriella Endrödi, 1970. Calculation of production of potatoes. Neth. J. agric. Sci. 18 : 26-36.

Szeicz, G. Monteith, J.L. and Santos, J.M. Dos. - 1964. Tube solarimeter to measure radiation among plants. J. appl. Ecol. 1 : 169-174.

Timmer, M.J.G. - 1970. The effect of storage temperature on the production of tulip bulbs. In: Proc. XVIIIth Int. Hort. Congr. Tel Aviv. Vol 1 : 144

Timmer, M.J.G. - 1975. Plantgoedbewaring bij tulpen. Bloembollencultuur 86 : 1, 3-4.

Timmer, M.J.G. and Van der Valk, G.G.M. - 1973. Effects of planting density on the number and weight of tulip daughterbulbs. Scientia Hort. 1 : 193-201.

Valk van der, G.G.M., Timmer, M.J.G. - 1974. Planting density in relation to tulip bulb growth. Scientia Hort. 2 : 69-81.

Wassink, E.C. - 1965. Light intensity effects in growth and development of tulips in comparison with those in gladiolus. Meded. L.H. Wageningen 65-15; 1-21.

Wit, C.T. de - 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Versl. Landbouwk. Onderz. 663 : 1-57.

Wit, C.T. de - 1968. Simulatie van continue processen. Landbk. Tijdschr. 80, 5 : 215-218.

Wit, C.T. und Brouwer, R. - 1968. Ueber ein dynamisches Modell des vegetatieven Wachstums von Pflanzenbeständen. Angew. Bot. 42 : 1-12.

Wit, C.T. de, Brouwer R., Penning de Vries, F.W.T. - 1970. The simulation of photosynthetic systems. In: Predictions and measurement of photosynthetic productivity. Proc. IBP/PP techn. meeting Třeboň (I. Setlik, ed) pp. 47-70. Centr. f. Agr. Pub. a. Doc., Wageningen.

Wit, C.T. de and Goudriaan, J. - 1974. Simulation of ecological processes. Centr. f. Agr. Pub. a. Doc. Wageningen, 159 pp.

Bijlage 1: Drooggewichten diverse plantedelen, cv. 'Lustige Witwe', plantmaat 8-9, boltype A, verzameld in groeianalyses in de seizoenen 1970/'71, 1971/'72 en 1972/'73. Alle gewichten worden gegeven in mg per plant. Bewaartemperatuur volgens de standaardbehandeling.

1) Oude bol, moederbol (MB)

1970/'71		1971/'72		1972/'73	
datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}
16 nov.	3438	15 nov.	3093	6 nov.	3707
30 nov.	3223	29 nov.	3695	4 dec.	3566
14 dec.	2955	13 dec.	3338	18 dec.	3352
28 dec.	2575	27 dec.	3120	15 jan.	3063
25 jan.	2393	10 jan.	2632	29 jan.	2983
8 febr.	1909	24 jan.	2063	12 febr.	2081
23 febr.	1527	7 febr.	1880	26 febr.	2299
8 mrt.	1211	21 febr.	1838	12 mrt	1863
22 mrt.	1124	6 mrt	1510	26 mrt	1217
5 april	737	20 mrt	1204	9 april	904
19 april	460	3 april	754	24 april	805
3 mei	378	17 april	536	7 mei	580
17 mei	282	1 mei	486	21 mei	562
1 juni	271	15 mei	403	4 juni	443
14 juni	264	29 mei	330		
		12 juni	282		

Bijlage 1. Vervolg:

Eindknop (TOP)

1970/'71		1971/'72		1972/'73	
datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}
16 nov.	134	15 nov.	165	6 nov.	82
30 nov.	198	29 nov.	249	4 dec.	201
14 dec.	223	13 dec.	263	18 dec.	229
28 dec.	272	27 dec.	337	15 jan.	300
25 jan.	334	10 jan.	351	29 jan.	330
8 febr.	480	24 jan.	418	12 febr.	438
23 febr.	573	7 febr.	472	26 febr.	606
8 mrt.	667	21 febr.	599	12 mrt.	721
22 mrt.	912	6 mrt.	729	26 mrt.	1192
5 april	1260	20 mrt.	1064	9 april	1838
19 april	2615	3 april	1974	24 april	2549
3 mei	4208	17 april	3261	7 mei	4020
17 mei	3970	1 mei	4342	21 mei	4072
1 juni	3780	15 mei	4574	4 juni	2775
14 juni	3407	29 mei	3619		
		12 juni	2916		

Bijlage 1. Vervolg:

Dochterbollen (DB)

1970/'71		1971/'72		1972/'73	
datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}	datum groei-analyse	droogge-wicht mg.plant^{-1}
16 nov.	25	15 nov.	20	6 nov.	17
30 nov.	50	29 nov.	36	4 dec.	24
14 dec.	35	13 dec.	40	18 dec.	28
28 dec.	33	27 dec.	46	15 jan.	31
25 jan.	50	10 jan.	46	29 jan.	51
8 febr.	57	24 jan.	48	12 febr.	47
23 febr.	86	7 febr.	47	26 febr.	80
8 mrt.	73	21 febr.	72	12 mrt.	120
22 mrt.	168	6 mrt.	101	26 mrt.	255
5 april	409	20 mrt.	167	9 april	761
19 april	950	3 april	562	24 april	2070
3 mei	1805	17 april	1008	7 mei	3049
17 mei	6206	1 mei	1880	21 mei	7977
1 juni	10318	15 mei	5681	4 juni	9367
14 juni	13758	29 mei	8935	9 juli*	17037
5 juli*	16080	12 juni	10955		

* = rooitijdstip

```
TITLE  TULIP BULB GROWTH MODEL, IMPROVED VERSION, L.B.O. - LISSE
  *
FIXED  TAU,G,RN,RN1,I,J,IBEGIN,IEND,IDATUM,IFIL1
FIXED  N,ITAU,ISIG1, ISIG2,LI,IFIX,IFILE
/      COMMON/DATA/IFIL1
/      DATA IFIL1/'TATB'/
STORAGE  TATB(1440)
 *
 **                    CLIMATE
 *
 **                    TEMPERATURE
PARAM  TMINS = -0.12, TMAXS  = 21.0
       TEMPS = TMS+TDS*SIN(2.*PI*(TIME+91.)/365.)
       TMS=(TMAXS+TMINS)/2.
       TDS=(TMAXS-TMINS)/2.
       PI=4.*ATAN(1.)
       TEMPA= TABHL(1440,TATB(1),TIME,0.0,FINTIM,0.25)
INITIAL NOSORT
       CALL IFILE(21,IFIL1)
       WRITE(6,160)
   160 FORMAT(1H1///,15X,'*******T A T B*******',///)
       IBEGIN=0
       IEND=0
     6 IBEGIN=IEND+1
       IEND=IBEGIN+19
       READ(21,7)IDATUM,(TATB(I),I=IBEGIN,IEND)
     7 FORMAT(I6,20F3.0)
       WRITE(6,170) IDATUM,(TATB(I),I=IBEGIN,IEND)
   170 FORMAT(5X,I6,5 ,20F5.1)
       IF(IDATUM.EQ.050771)GO TO 200
```

```
      GO TO 6
  200 CONTINUE
*                              FROST DAYS
      Y=-TMS/TDS
      YKW=Y*Y
      PHI=ATAN(Y/SQRT(1.-YKW)
      PHI1=-PHI+PI
      TIME1=(PHI1*365.)/(2.*PI)-91.0
      PH2=PHI+2.*PI
      TIME2=(PHI2*365.)/(2.*PI)-91.0

*
**                             RADIATION
      ALIO=ALIM+ALID*SIN(2.*PI*(TIME+115.)/365.)
      ALI=ALIO/4.184E4
      ALIM=(ALMAX+ALMIN)/2.
      ALID=(ALMAX-ALMIN)/2.
PARAM ALMIN=.105E+07, ALMAX=1.05E + 07

*
**          LEAF AREA INDEX AND PHOTOSYNTHESIS
PARAM AA=.27447E01;BB=.12342E01;CC=.55990E-03

INCON TOPI=134.E-06
      X=TOP*1.E6
      ALAI=AMAX1(0.0,AA*(1.-BB*EXP(CC  )))
NOSORT
      G=0
      N=1
      ITAU=3
```

```
        RN1=((2**22)-1)*2+1
        AX=0.0
        BX=2.0
        LABDA=2.0
        ISIG1=0
        IF(ISIG1.LT.1)GO TO 1
        G=G+1
        CALL RANDOM(AX,BX,SIGM1,ALAI,ITAU,LABDA,G,N,RN1,SN,SN1)
        ALAI=ALAI+SN
      1 CONTINUE
SORT
PARAM   SIGM1=.29904E-01
 *
        PHOT1=AFGEN(ALTA1,ALAI)
        PHOT2=AFGEN(ALTA2,ALAI)
        PHOT3=AFGEN(ALTA3,ALAI)
        PHOT4=AFGEN(ALTA4,ALAI)
        PHOT5=AFGEN(ALTA5,ALAI)

AFGEN   ALTA1=0.,0., 1., 45.5E-6, 2., 87.4E-6, 3.,107.7E-6, 4.,114.9E-6
AFGEN   ALTA2=0.,0., 1., 76.6E-6, 2.,147.2E-6, 3.,181.4E-6, 4.,193.5E-6
AFGEN   ALTA3=0.,0., 1.,105.7E-6, 2.,203.1E-6, 3.,250.4E-6, 4.,267.1E-6
AFGEN   ALTA4=0.,0., 1.,132.5E-6, 2.,254.5E-6, 3.,313.7E-6, 4.,334.7E.6
AFGEN   ALTA5=0.,0., 1.,160.0E-6. 2.,307.4E-6, 3.,378.9E-6, 4.,404.2E-6
```

```
PROCEDURE  PHOT=FUNK1(ALI,PHOT1,PHOT2,PHOT3,PHOT4,PHOT5)
        LI=IFIX(ALI/50.)+1
        GO TO (10,20,30,40,50,60),LI
     10 PHOT=0.+((PHOT 1-0.)/50.)*ALI
        GO TO 65
     20 PHOT=PHOT 1+((PHOT 2-PHOT 1)/50.)*(ALI- 50.)
        GO TO 65
     30 PHOT=PHOT 2+((PHOT 3-PHOT 2)/50.)*(ALI-100.)
        GO TO 65
     40 PHOT=PHOT 3+((PHOT 4-PHOT 3)/50.)*(ALI-150.)
        GO TO 65
     50 PHOT=PHOT 4+((PHOT 5-PHOT 4)/50.)*(ALI-200.)
        GO TO 65
     60 PHOT=PHOT 5+((PHOT 5-PHOT 4)/50.)*(ALI-250.)
     65 CONTINUE
ENDPRO
PARAM   DEMER=215., DDEAT=355.,
        ACCPN=INTGRL(0.,PHOTS)
        PHOTS=A*B*H*PHOT
        A=INSW((TIME-DEMER),0.,1.)
        B=INSW((TIME-DDEAT),1.,0.)
        DX=TEMPA-5.
        H=INSW(DX,0.,1.)
```

```
PARAM   AAA=4767.8E-6, BBB=-354.6E-6
INCON   MB=3438.E-6, MBOO=3438.E-6
PARAM   SCHIL=300.E-6
PARAM   DPLAN=124.
PARAM   MBI=3438.E-6
        IF(TIME.LE.DPL) GO TO 1111
        DPL=DPLAN+14.
NOSORT
   1111 CONTINUE
        IF(MBOO.GT.MBI) GO TO 101
        IF(MBOO.LT.SCHIL) GO TO 102
        GO TO 103
    101 MB=MBI
        GO TO 104
    102 MB=SCHIL
        GO TO 104
    103 MB=MBOO
    104 CONTINUE
SORT
PROCEDURE  DFRL,MBOO,2,MBRR,MBGR,RTGB=FUNK2(TIME1,TIME2,DPLAN)
        IF(TIME.LE.TIME1) GO TO 70
        IF(TIME.LE.TIME2) GO TO 80
        DFRL=TIME-DPLAN-(TIME2-TIME1)
        GO TO 90
     70 DFRL=TIME-DPLAN
        GO TO 90
```

```
   80 DFRL=TIME1-DPLAN
   90 CONTINUE
      MBOO=AAA+BBB*SQRT(DFRL)
      ISIG2=0
      IF(ISIG2.LT.1) GO TO 2
      G=G+1
      CALL RANDOM(AX,BX,SIGM2,MBOO,ITAN,LABDA,G,N,RN1,SN,SN1)
      MBOO=MBOO+SN
    2 CONTINUE
      R=INSW(MBOO-SCHIL,0.,1.)
      MB=MBOO*R
      MBRR=MB*.02*TEFS*R
      MBGR1=(MBO-MB-MBRR)*R
      RTGR=0.1*MMGR1
      MBGR=MBGR1-RTGR
      RTRR=RT*.02*TEFS*R
      RTGB=AMAX1(0.0,RTGR-RTRR)
      IF(TIME.GT.TIME1.AND.TIME.LE.TIME2) GO TO 95
      GO TO 96
   95 MBGR=0
   96 CONTINUE
ENDPRO
   TEFS=.25*(2.0**(TEMPS//10.))
   TEFA=+25*(2.0**(TEMPA//10.))
   MBO=DELAY(2,1.0,MB)
```

```
*                    TOP
PARAM   BB1=0.125, BB2=0.333
PARAM   DFLOW=278.
INCON   TOPI=134.E-06
        TOP=INTGRL(TOPI,TOPGB)
        TOPGB=TOPGR+TDBT+TMBT-TOPRR-TTDB
        TOPGR=(1.-BB2)*PHOTS*E
        TMBT=(1.-BB1)*MBGR*E
        E=INSW(TX,1.,0.)
        TX=TIME-(DFLOW+10.)
PROCEDURE  TOPRR=FUNK3(TEFA,TEFS)
        IF(TIME.LE.DEMER) GO TO 110
        TOPRR=TOP*.02*TEFA
        GO TO 120
    110 TOPRR=TOP*.02*TEFS
    120 CONTINUE
ENDPRO
        TTDB=0
*                        DAUGHTER BULBS
INCON   DBI=25.E-6
        DB=INTGRL(DBI,DBGB)
        DBGB=DBGR+TMBDB+TTDB-TDBT-DBRR
        DBGR=BB2*PHOTS*E+PHOTS*F
        F=INSW(TX,0.,1.)
        TMBDB=BB1*MBGR*E+MBGR*F
        TDBT=0
        DBRR=DB*0 2*TEFS
```

```
*                                ROOT
PARAM   RTI=0.
        ROOT=INTGRL(RTI,RTGB)
        RT=ROOT
        RTGB=RTGR-RTRR
        RTRR=RT *.02*TEFS* R
        RTGR=0.1*MBGR1
PRINT   ALI,PHOTS,ACCPN,DB,TOP,MB,TIME1,TIME2,ALAI,ROOT,TEMPA
METHOD  RECT
TIMER   FINTIM=365.0,DELT=1.0,PRDEL=1.0,04TDEL=1.0
```

```
      SUBROUTINE RANDOM(A,B,SIGMA,MU,TAU,LABDA,G,N,RN1,SN,SN1)
      INTEGER TAU,G,RN,RN1
      REAL MU,LABDA
*     THE COMPUTER HAS A WORD LENGTH OF 59 BITS PLUS SIGN
*     NEXT THREE STATEMENTS PRODUCE INTEGER MOD 2**59
*     AND THEN CONVERT THIS TO FLOATING POINT
*     PSEUDORANDOM NUMBER UNIFORMLY DISTRIBUTED ON (0,1)
*     THE PERIOD OF THE SEQUENCE IS 2**57
    1 CONTINUE
      RSTN=FLOAT(RN1)
      RSTN=RSTN*2.0 **(-23)
      IF(TAU-2)2,3,4
*     EXPONENTIAL DISTRIBUTION
    2 SN=-(1.0/LABDA)*ALOG(RSTN)
      GO TO 5
*     UNIFORM DISTRIBUTION
    3 SN=(B-A) *RSTN+A
      GO TO 5
*     NORMAL DISTRIBUTION
    4 IF(G-1)7,6,7
    7 N=N+1
      G=G+1
      RSTN1=RSTN
      GO TO 1
    6 Z=SQRT(-2.0*ALOG(RSTN1))* SIGMA
      SN1=Z*COS(6.28318*RSTN)+MU
      SN=Z *SIN(6.28318*RSTN)+MU
      G=0
    5 N=N+1
      RETURN
      END
```

```
      FUNCTION TABHL(N,TAB,GEG,ONDER,BOVEN,STAP)
      DIMENSION TAB(1440)
      I=0
      TRAJT=(BOVEN-ONDER)/STAP
      XI=(GEG-ONDER)/STAP
      IF(XI)6,6,1
    1 IF(TRAJT-XI)2,2,3
    2 XI=TRAJT
    3 I=XI
      IF(I+1-N)4,5,5
    4 A=I
      A=XI-A
      IF(A)6,6,7
    5 I=N-1
    6 TABHL=TAB(I+1)
      RETURN
    7 TABHL=TAB(I)*(1.-A)+TAB(I+1)*A
      RETURN
      END
```

NAME	DESCRIPTION
A	INSWITCH TO ENSURE THAT IN THE SIMULATION PHOTOSYNTHESIS OCCURS DURING THE GROWING SEASON
AA	PARAMETER USED FOR THE RELATION BETWEEN LEAF AREA INDEX AND TOP
AAA	PARAMETER FOR THE RELATION BETWEEN DRY WEIGHT MOTHER BULB AND NUMBER OF FROST FREE DAYS
ACCPN	ACCUMULATION NETT PHOTOSYNTHESIS
ALAI	LEAF AREA INDEX
ALI	DAILY LIGHT RECEIPT
ALID	MAXIMUM DEVIATION OF THE MEAN OF DAILY LIGHT RECEIPT
ALIM	MEAN VALUE OF DAILY LIGHT RECEIPT
ALMAX	MEAN JUNE VALUES OF DAILY LIGHT RECEIPT
ALMIN	MEAN DECEMBER VALUES OF DAILY LIGHT RECEIPT
AX	LOWER LIMIT OF INTERVAL FOR UNIFORM DISTRIBUTION, IF USED FOR THE ERROR TERM OF ALAI AND MBOO
B	INSWITCH SEE A
BB	PARAMETER SEE AA
BBB	PARAMETER SEE AAA
BB1	PARAM USED FOR THE RELATION BETWEEN DRY WEIGHT TOP AND DRY WEIGHT DAUGHTER BULBS
BB2	PARAMETER SEE BB1
BX	UPPER LIMIT OF INTERVAL FOR UNIFORM DISTRIBUTION, IF USED FOR THE ERROR TERM OF ALAI AND MBOO
CC	PARAMETER SEE AA, BB

DBGB NETT INCREASE DRY WEIGHT DAUGHTER BULBS

DBGR TRANSLOCATION PHOTSYNTHETIC MATERIAL TO DAUGHTER BULBS

DBI DRY WEIGHT DAUGHTER BULBS AT DATE OF PLANTING

DBRR DAUGHTER BULBS MAINTENANCE RESPIRATION RATE

DDEAT NUMBER OF DAYS BETWEEN JULY 15 AND DEATH OF TOP

DEMER NUMBER OF DAYS BETWEEN JULY 15 AND EMERGENCE OF TOP

DFLOW NUMBER OF DAYS BETWEEN JULY 15 AND FLOWERING OF TOP

DFRL NUMBER OF FROST FREE DAYS IN SOIL AT A DEPTH OF 10 CM COUNTED FROM DPLAN

DPLAN NUMBER OF DAYS BETWEEN JULY 15 AND PLANTING

DX AUXILIARY VARIABLE FOR H

E INSWITCH TO ENSURE THAT IN THE SIMULATION DURING THE PERIOD
DEMER TO DFLOW+10.,PART OF PHOTOSYNTHETIC PRODUCTION IS USED FOR TOP

F INSWITCH SEE E

G AUX ILIARY VARIABLE USED TO SPECIFY WHETHER RANDOM SELECTION OF ERRORTERM JUST STARTED

H INSWITCH TO ENSURE PHOTOSYNTHESIS STARTS AT 5 DEGREES CELSIUS

ISIG1 SWITCH ERRORTERM LAI

ISIG2 SWITCH ERRORTERM MBOO

ITAU IS PARAMETER TO INDICATE WHETHER THE ERROR TERM IS FROM EXP. NORMAL OR UNIFORM DISTRIBUTION

LABDA IS PARAMETER OF THE DISTRIBUTION IF THE ERRORTERM IS TAKEN TO BE FROM AN EXPONENTIAL DISTRIBUTION

MB MOTHER BULB DRY WEIGHT

MBI MOTHER BULB INITIAL DRY WEIGHT AT DPLAN

MBGR NETT DECREASE DRY WEIGHT MOTHER BULB

MBRR MOTHER BULB MAINTENANCE RESPIRATION RATE

MBOO = AUXILIARY VARIABLE TO DESCRIBE RELATION BETWEEN DRY WEIGHT MOTHER BULB AND DFRL AFTER PLANTING

MBO = MB AT PREVIOUS TIMESTAP

MU IS MEAN OF THE NORMAL DISTRIBUTED VARIABLE

N IS NUMBER OF RANDOM SELECTED ERROR TERMS NEEDED AT THAT TIME

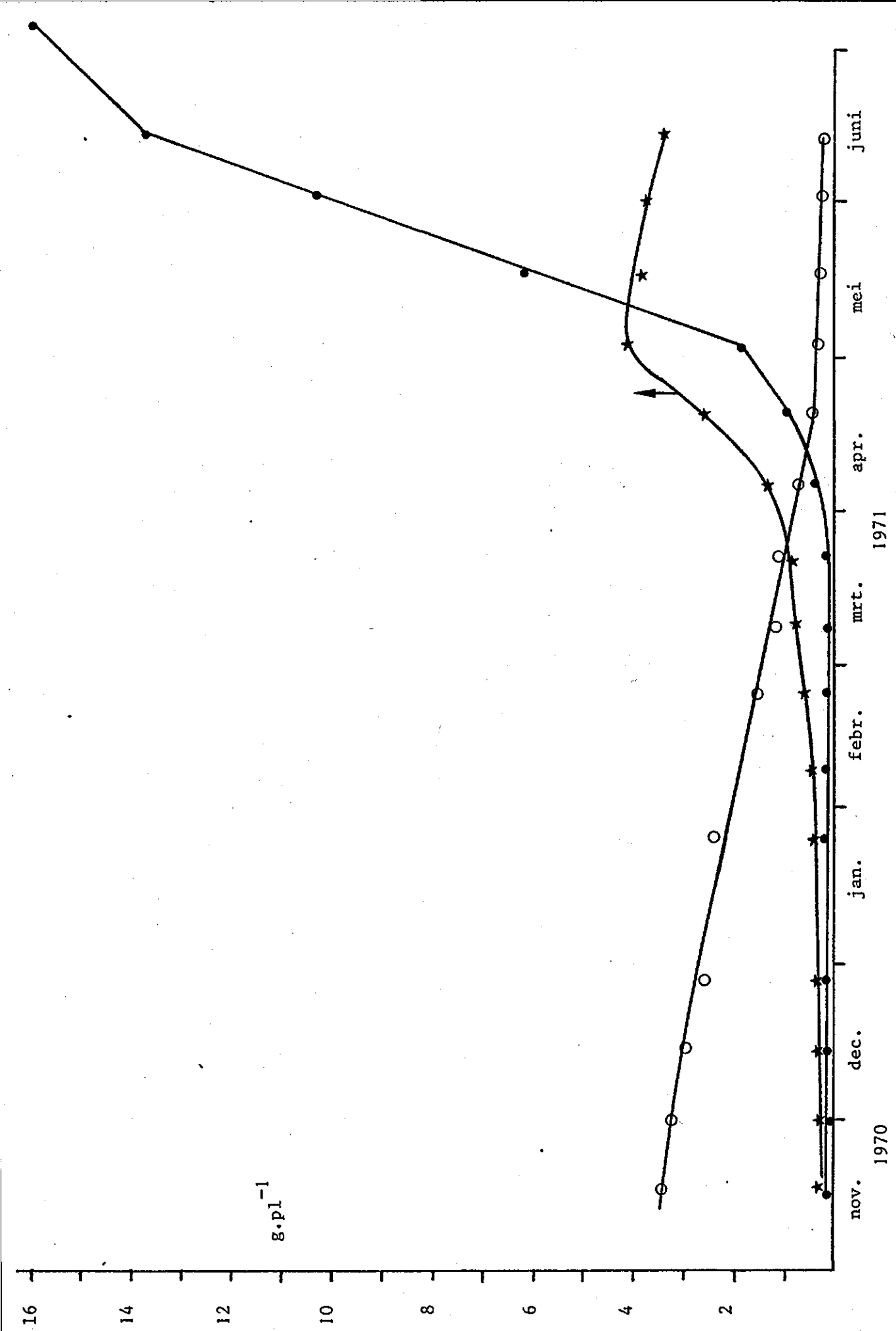
PHOTS GROSS DRY WEIGHT PRODUCTION

R FACTOR TO PREVENT NEGATIVE NETT (MB-SCHIL) WEIGHT BEING USED

RTGB NETT INCREASE DRY WEIGHT ROOTS

RTGR INCREASE DRY WEIGHT ROOTS

RN1	LARGEST VALUE OF COMPUTER
SCHIL	PART OF MOTHER BULB NOT AVAILABLE FOR PLANT OR DAUGHTER BULBS
SIGM1	REST VARIANCE ALAI
SIGM2	REST VARIANCE MBOO
SN	IS RANDOM ERRORTERM ADDED TO THE CALCULATED VALUE OF ALAI OR MBOO
SN1	AUXILIARY VARIABLE
TAU	SEE ITAU
TDS	DEVIATION OF THE MEAN TEMPERATURE SOIL
TDBT	TRANSLOCATION FROM DAUGHTER BULBS TO TOP
TEFA	EFFICIENCY FACTOR AIR
TEFS	EFFICIENCY FACTOR SOIL
TEMPA	AIR TEMPERATURE
TEMPS	SOIL TEMPERATURE
TIME	DAYS AFTER JULY 15
TIME1	PERIOD OF FROST STARTS
TIME2	PERIOD OF FROST ENDS
TMAXS	MEAN MAXIMUM TEMPERATURE SOIL
TMBDB	TRANSLOCATION MOTHER BULB TO DAUGHTER BULB
TMBT	TRANSLOCATION MOTHER BULB TO TOP
TMINS	MEAN MINIMUM TEMPERATURE SOIL
TMS	MEAN TEMPERATURE SOIL
TOP	DRY WEIGHT OF OVERGROUNDS PLANT-PARTS
TOPGB	NETT INCREASE DRY WEIGHT TOP
TOPGR	INCREASE DRY WEIGHT TOP
TOPI	INITIAL DRY WEIGHT TOP
TOPRR	TOP MAINTENANCE RESPIRATION RATE
TTDB	TRANSLOCATION TOP TO DAUGHTER BULBS
TX	AUXILIARY VARIABLE USED FOR DISTRIBUTION OF PHOTSYNTHETIC MATERIAL BETWEEN TOP AND DB DEPENDING ON TFLOW



ig. 1. Verloop van het drooggewicht tijdens groei-seizoen 1970/'71 van moederbol (o), eindknop (✱) en dochterbollen (•) na normale bewaring. cv. L.Witwe: geplante bol, maat 8-9, type A; groeiplaats Lisse; ↑ = bloeitijdstip.

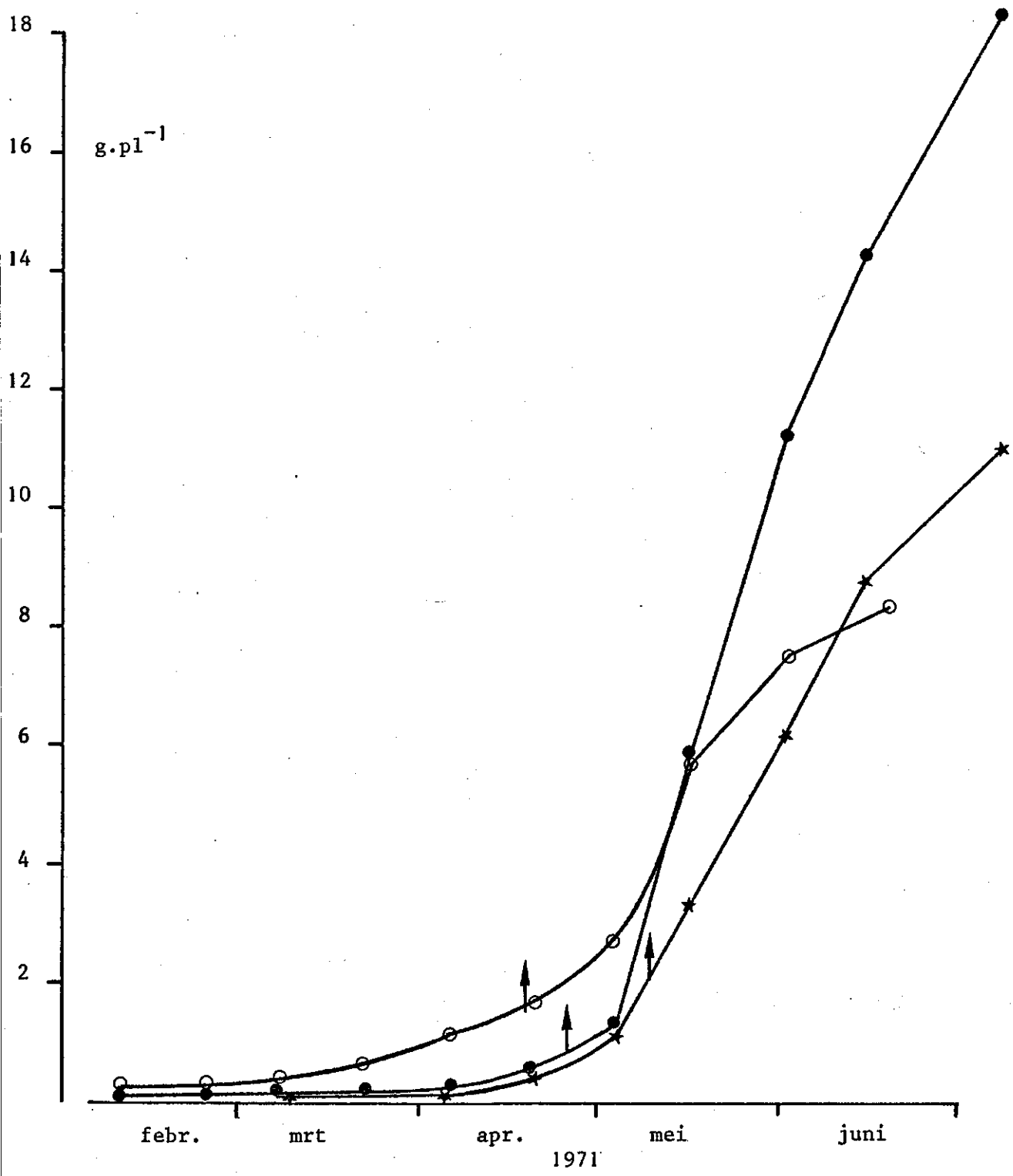


Fig. 2. Verloop van het drooggewicht in 1971 van dochterbollen in g.pl^{-1} na bewaring bij 13° (○), 20° (●) en 30°C (✱). cv. L.Witwe: geplante bol, maat 8-9, type A; groeiplaats Lisse; ↑ = bloeitijdstip.

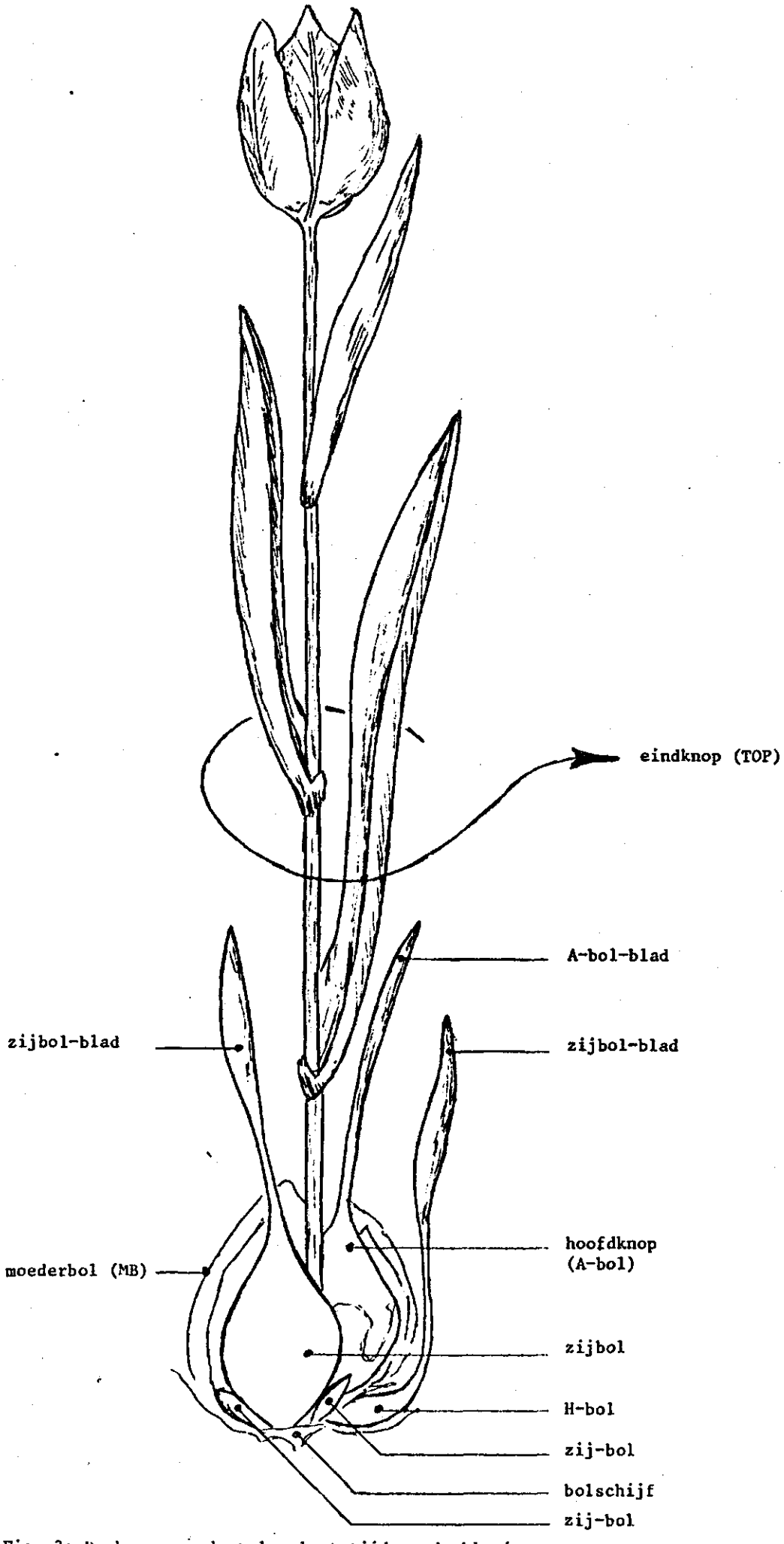


Fig. 3: De bouw van de tulpeplant tijdens de bloei.

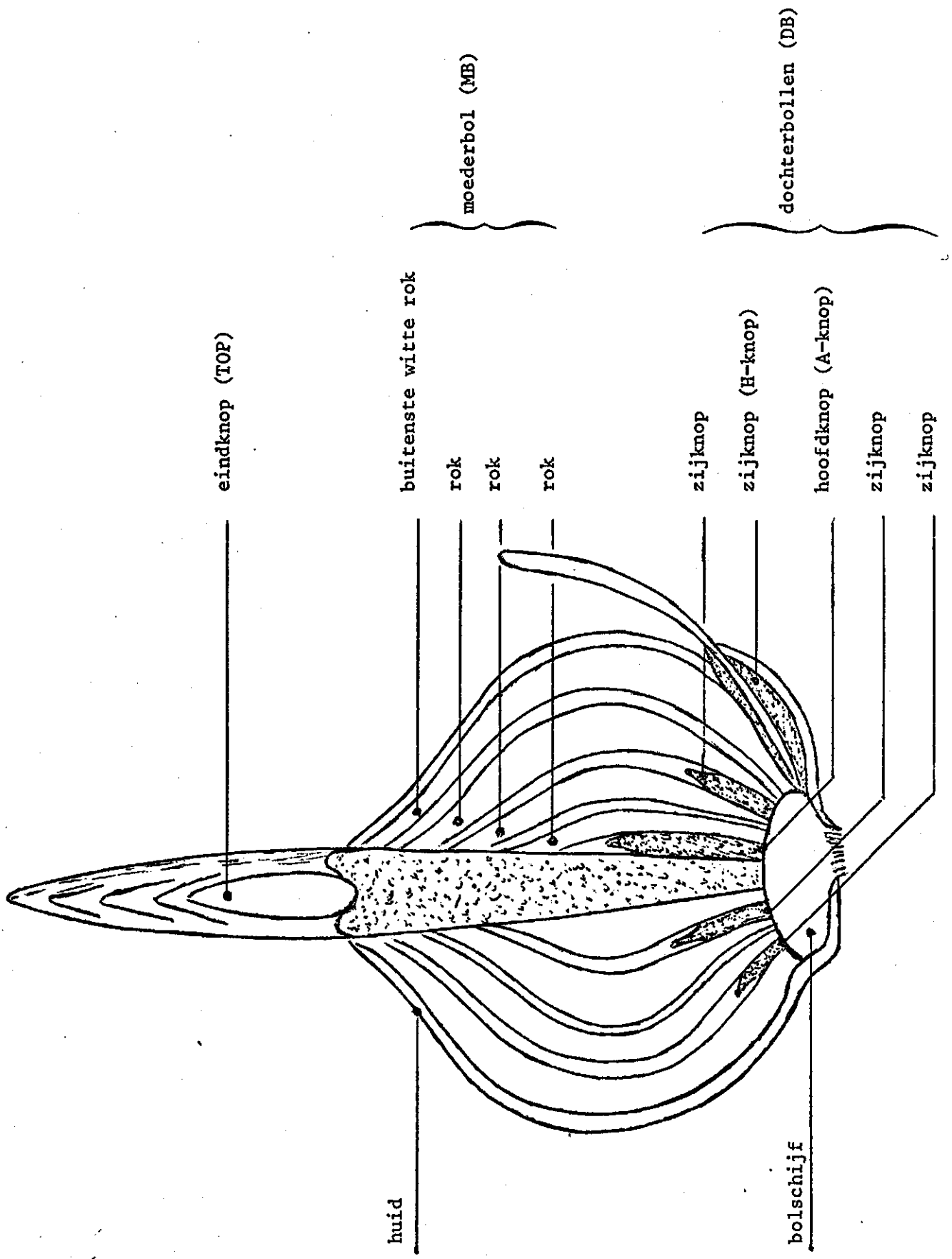


Fig. 3A: De bouw van een tulpeplant vroeg in het groeiseizoen.

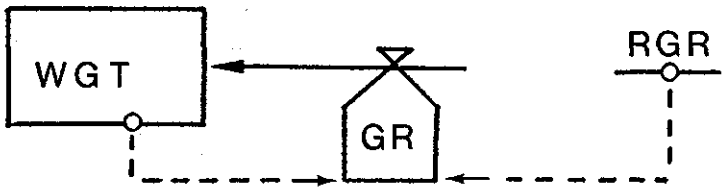


Fig. 4. Simulatie van exponentiële groei: relatie-model.
WGT=gewicht; GR=groeisnelheid;
RGR=relatieve groeisnelheid
(ontleend aan De Wit en Brouwer, 1968)

a) level equation (= niveau-vergelijking):

$WGT(t_k)=WGT(t_{k-1})+(t_k-t_{k-1})(GR(t_{k-1})$

herhaald gebruik

Mathematisch model

rate equation (= snelheidsvergelijking):

$GR(t_k)=RGR\ WGT(t_k)$

b)

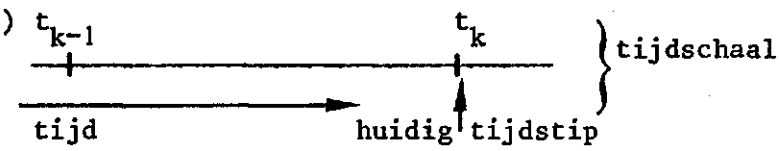
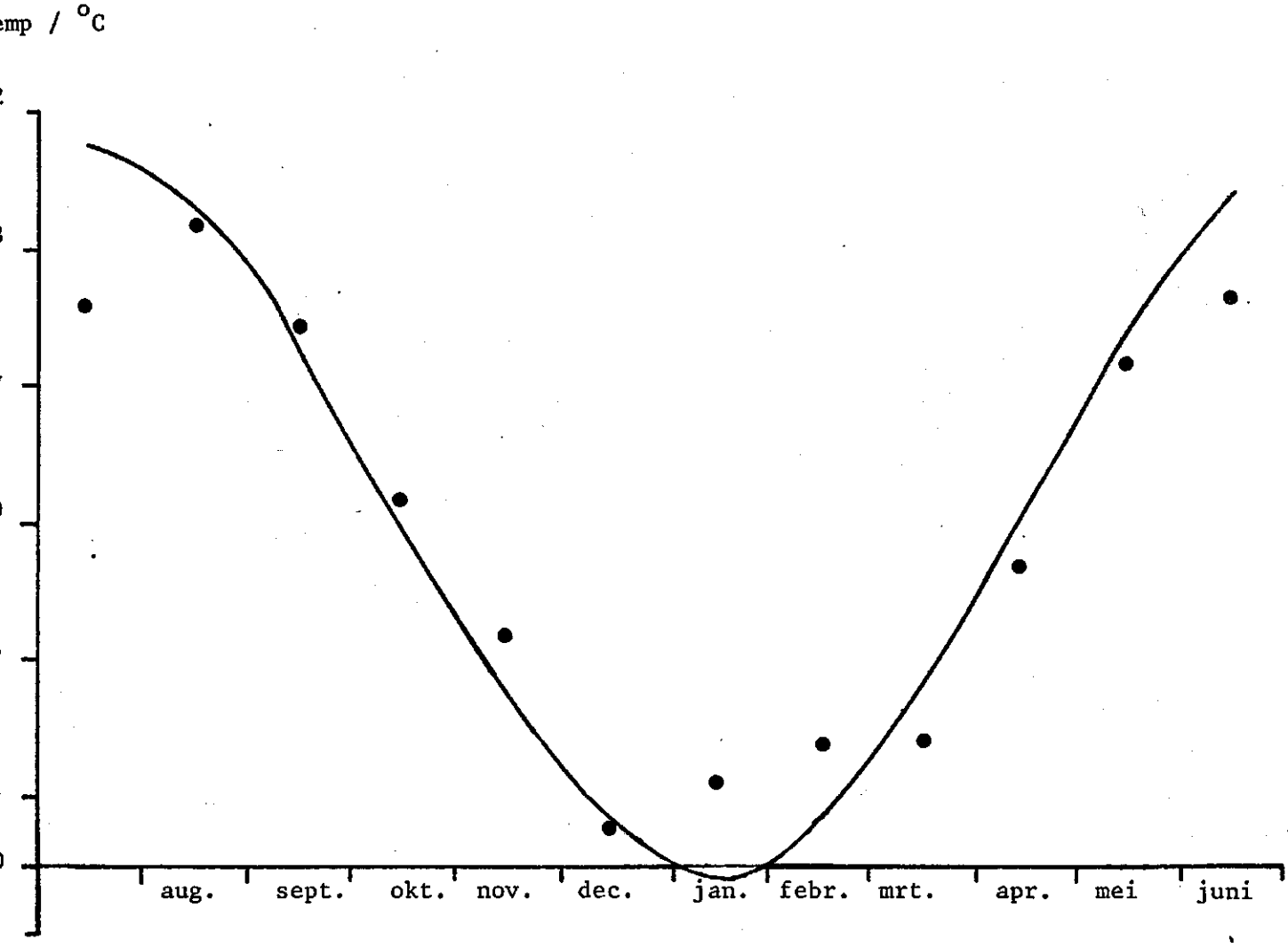


Fig. 5: Simulatie exponentiële groei: mathematisch model (a) en tijdschaal (b).
(ontleend aan De Wit en Brouwer, 1968)



ig. 6. Gesimuleerd verloop (—) en werkelijke waarden (•) van de bodemtemperatuur te Lisse gedurende de periode van 15 juli 1970 tot 1 juli 1971.

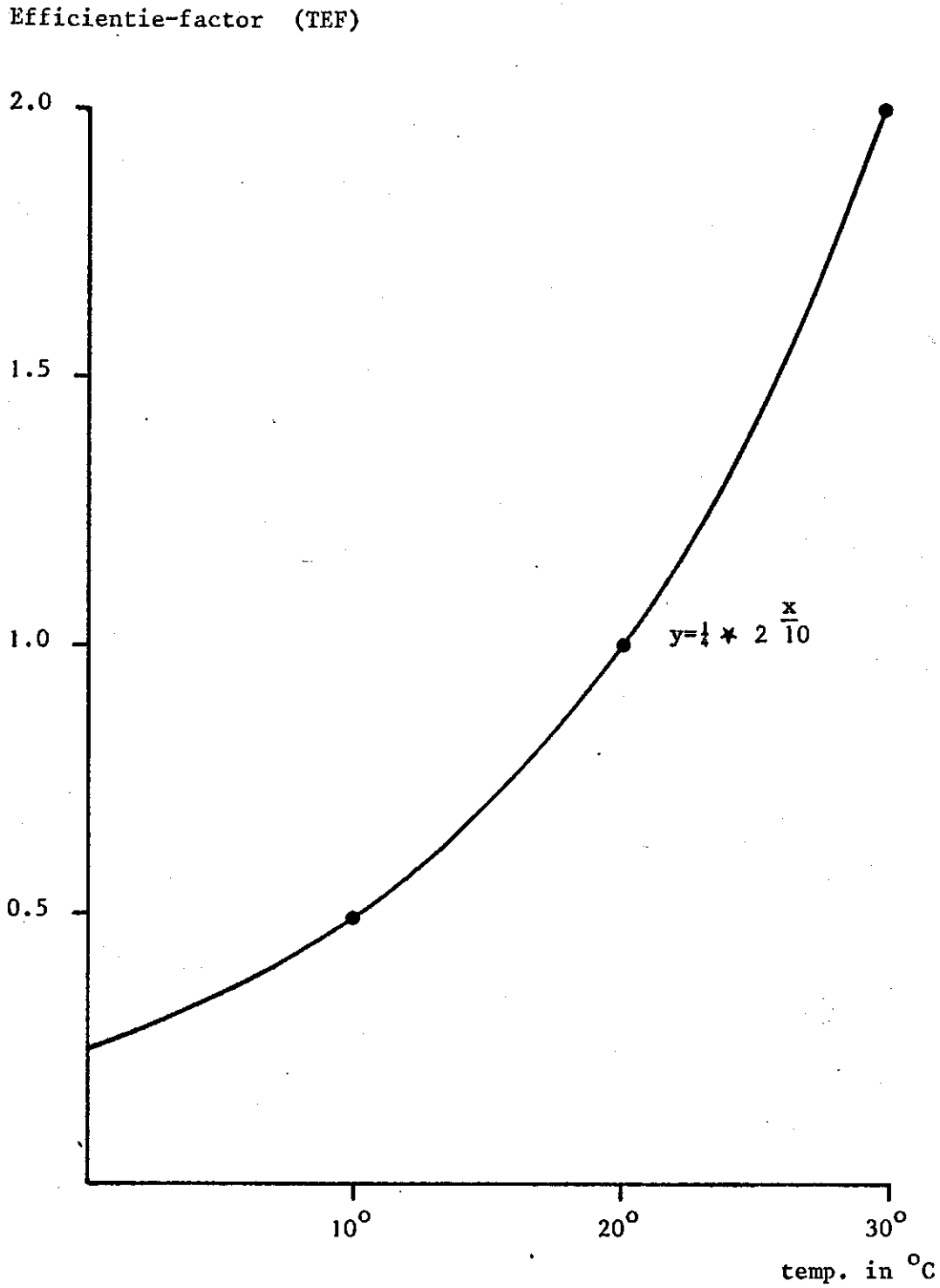
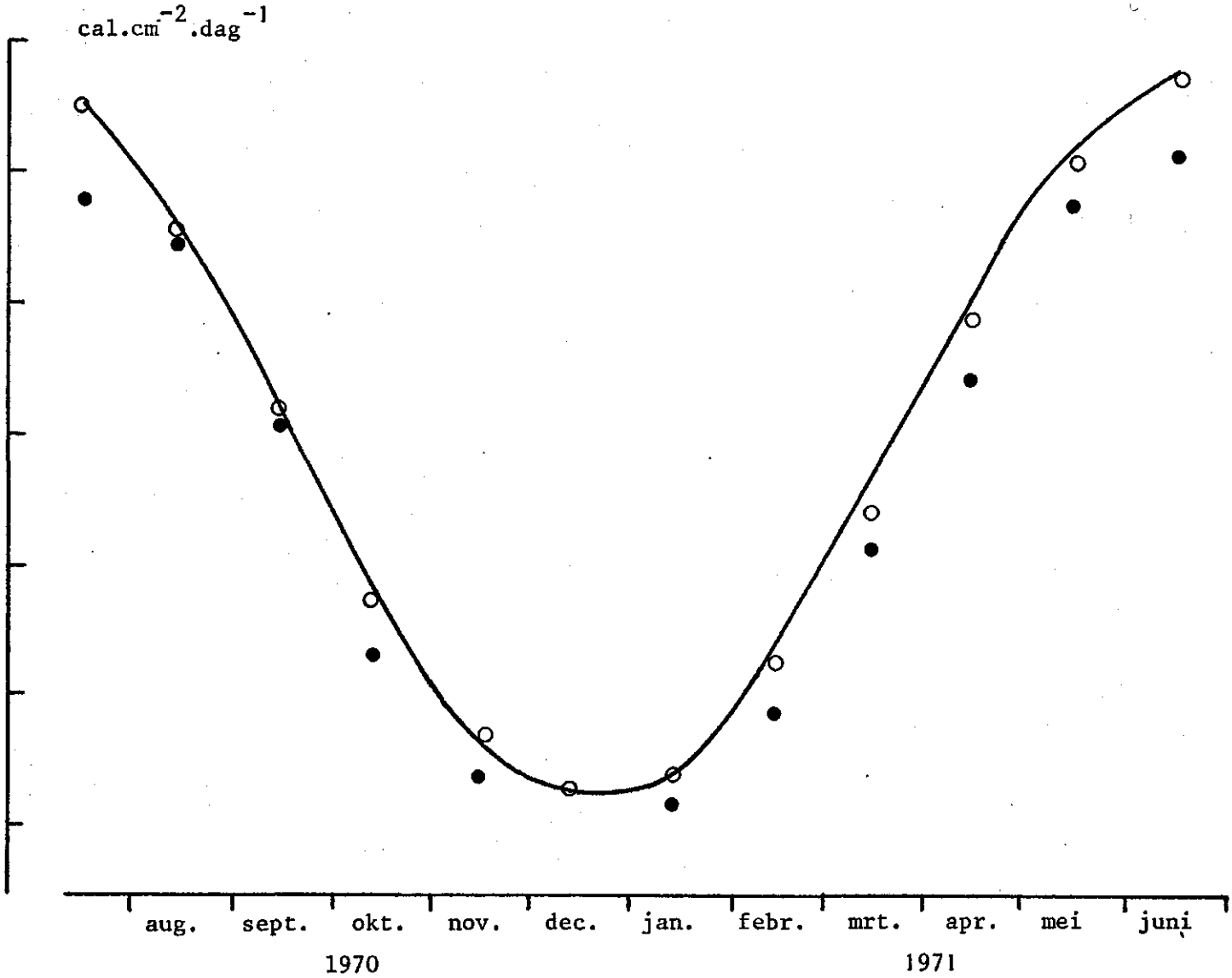


Fig. 7. Relatie tussen temperatuur (x) en de efficientie-factor (y).
Verloop van de efficientie-factor bij temperaturen tussen 0° en 3 °C.



. 8. Verloop van de straling als actuele gemiddelde waarde (Ha) van het fotosynthetisch actieve deel in de periode van juli 1970 tot juli 1971; berekend in cal.cm^{-2} ; —= gesimuleerd (ALI), o= de Ha voor 52° NBR en •= de Ha voor Lisse.

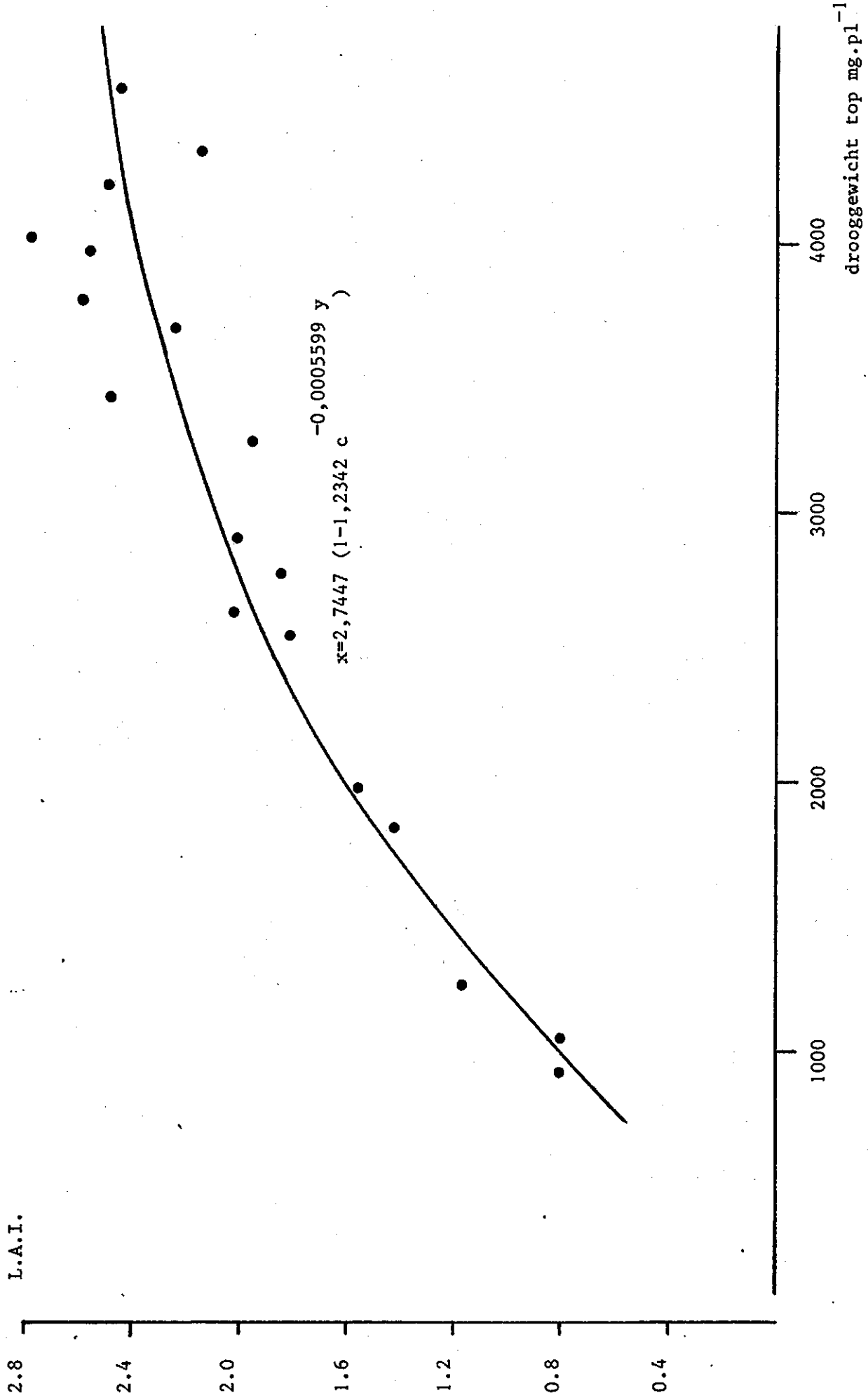


Fig. 9. Verband tussen het drooggewicht (y) van de eindknop (top) en de leaf-area-index (L.A.I.) (=x) voor cv. L.Witwe(geplante bol, maat 8-9, type A) in de groeiseizoenen 1970/'71; 1971/'72 en 1972/'73.

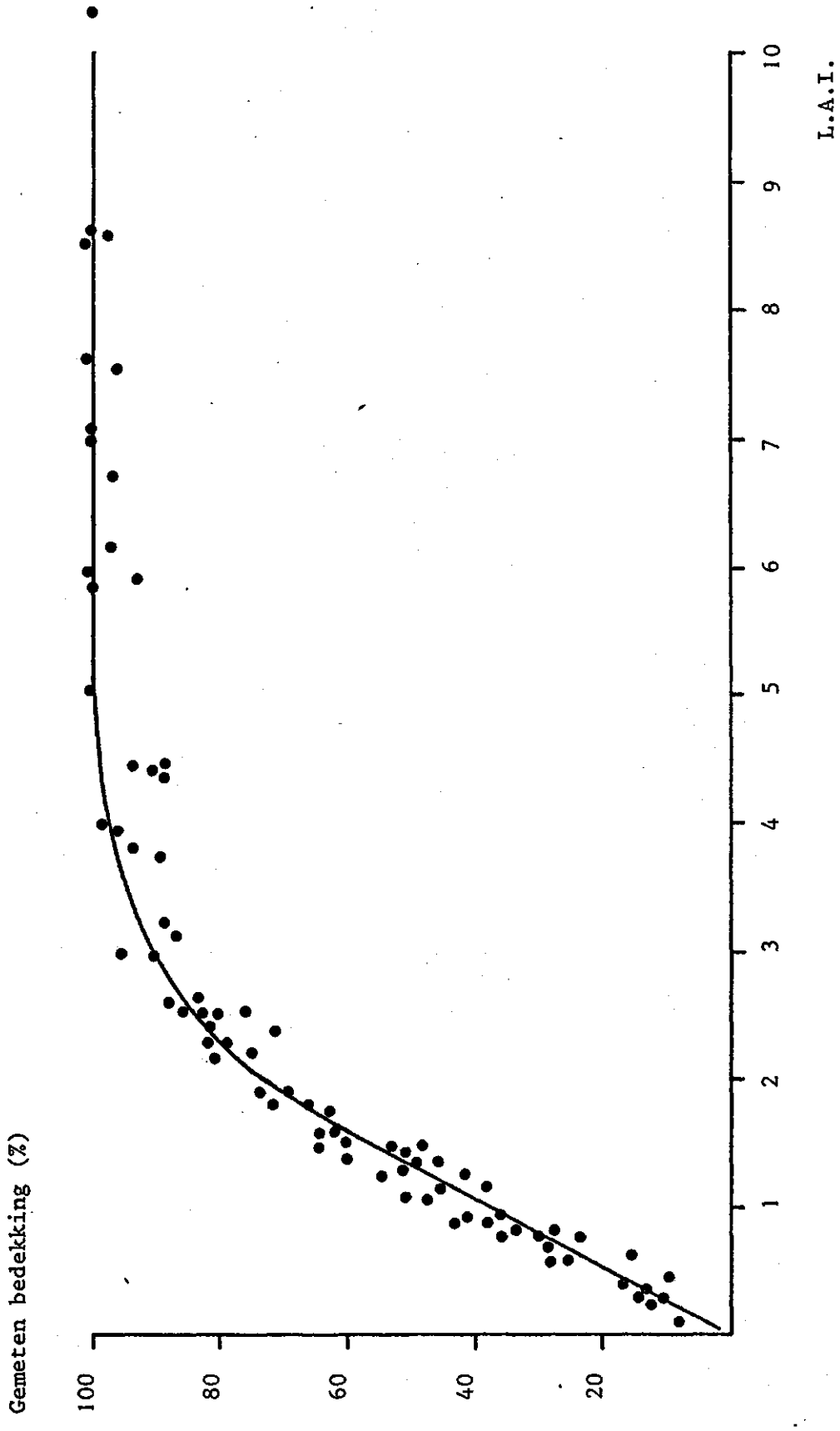
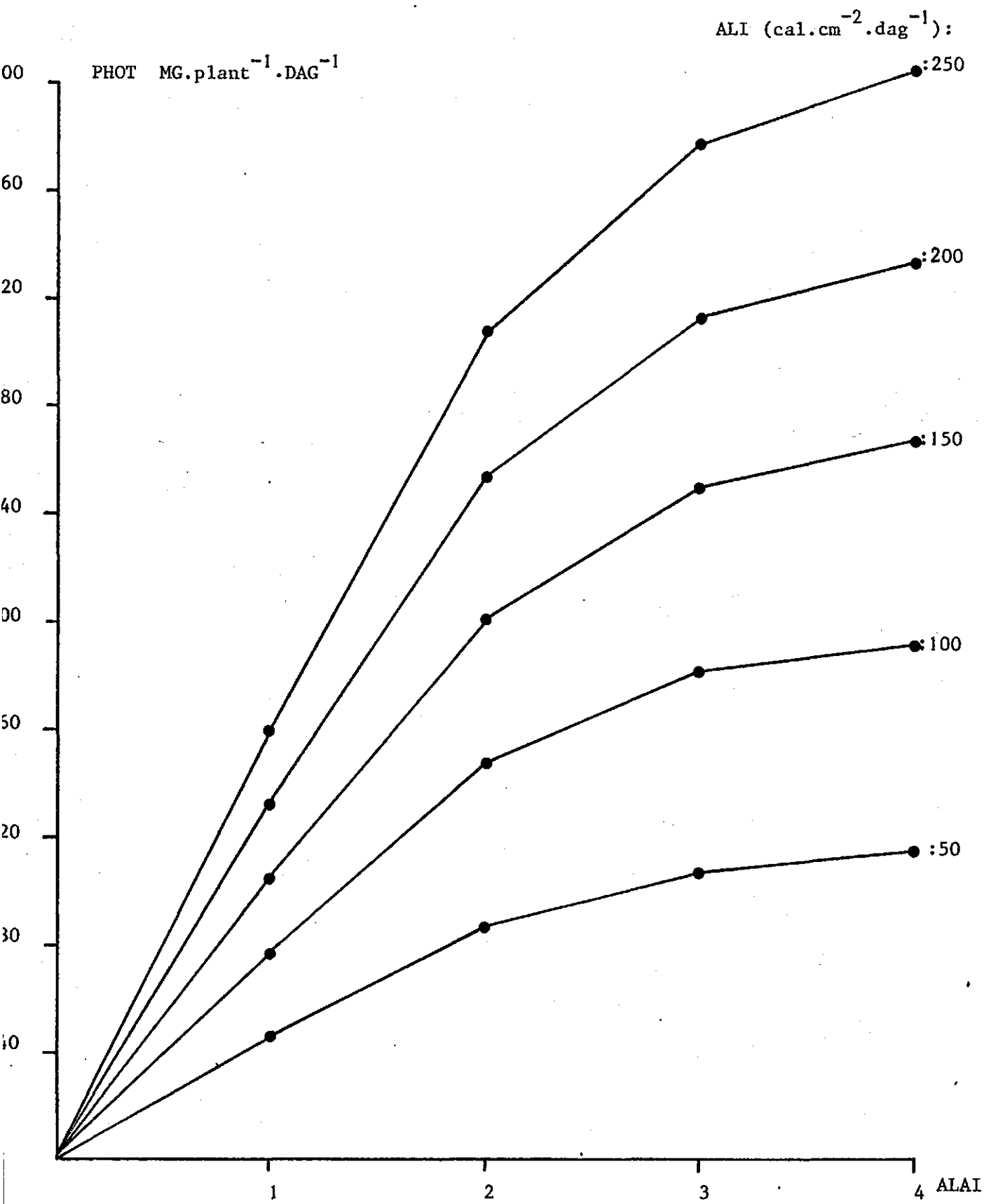


Fig. 10. Verband tussen leaf-area-index (LAI) en het fotografisch gemeten bedekkingspercentage, zoals gevonden door van der Valk en Timmer (1974) bij cv. L.Witwe (geplante bollen: maat 8-9, type A).



ig. 11. Verband leaf-area-index(ALAI) en bruto drogestof-produktie (PHOT) bij verschillende stralingsniveau's (ALI), gecorrigeerd voor bedekking en plantdichtheid.

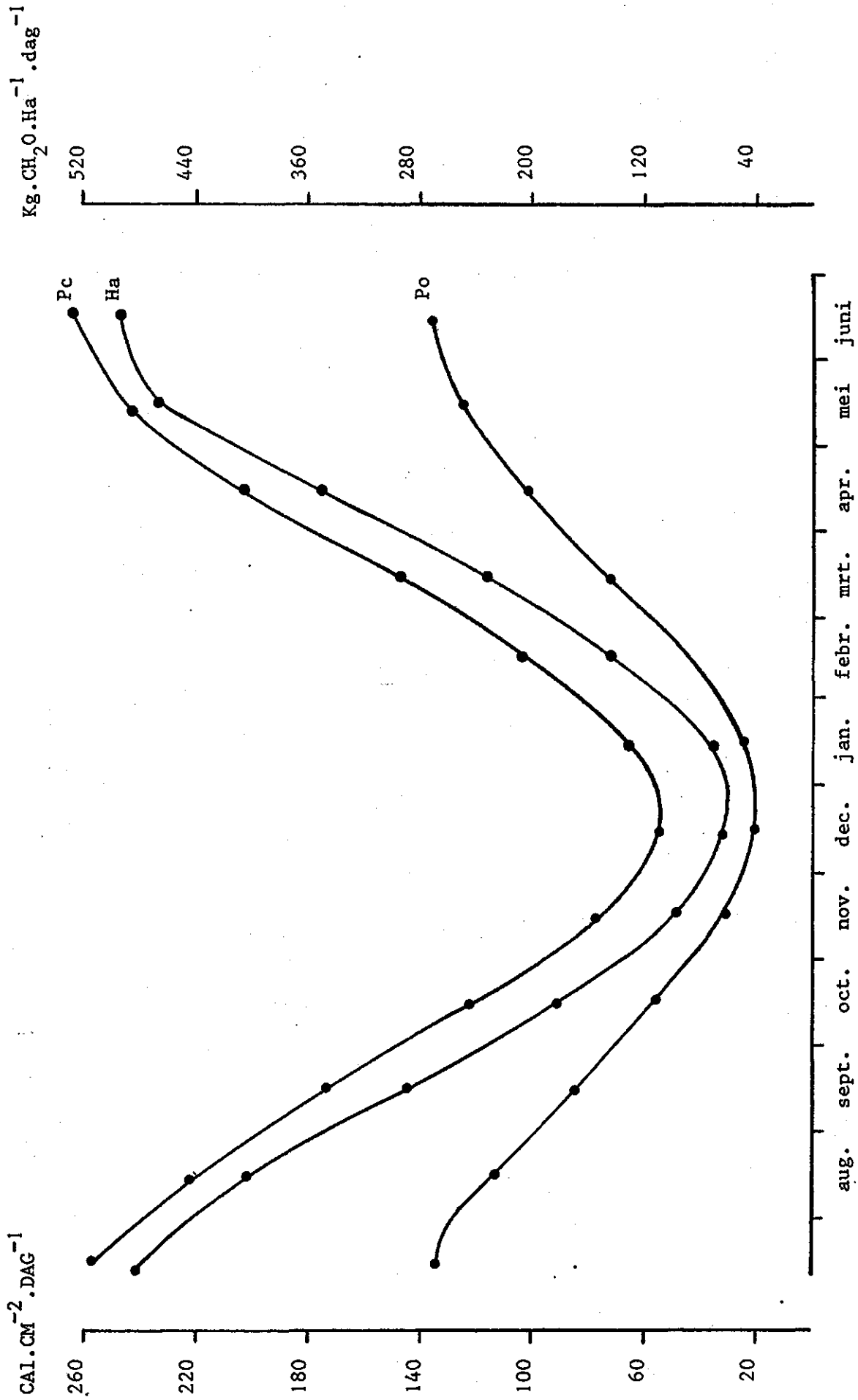


Fig. 12. Berekende (gesimuleerde) waarden voor het verloop van de fotosynthetisch actieve straling (Ha) in $cal.cm^{-2}.dag^{-1}$ en de fotosynthese-snelheid in $Kg.CH_2O.Ha^{-1}.DAG^{-1}$ voor heldere dagen (Pc) en voor bewolkte dagen (Po).

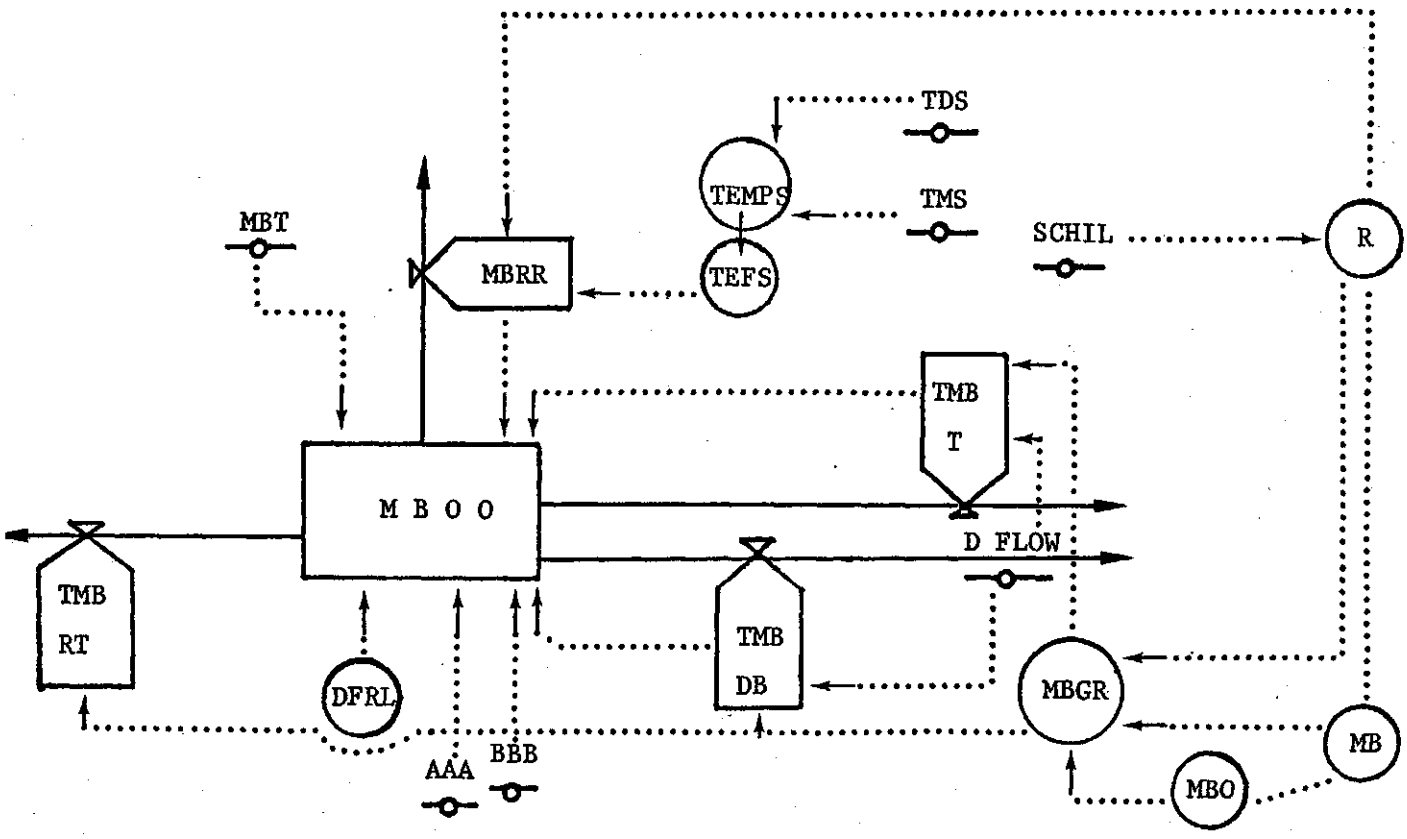


Fig. 13: Relatiemodel van de groei van oude bol (voor verklaring zie tekst).

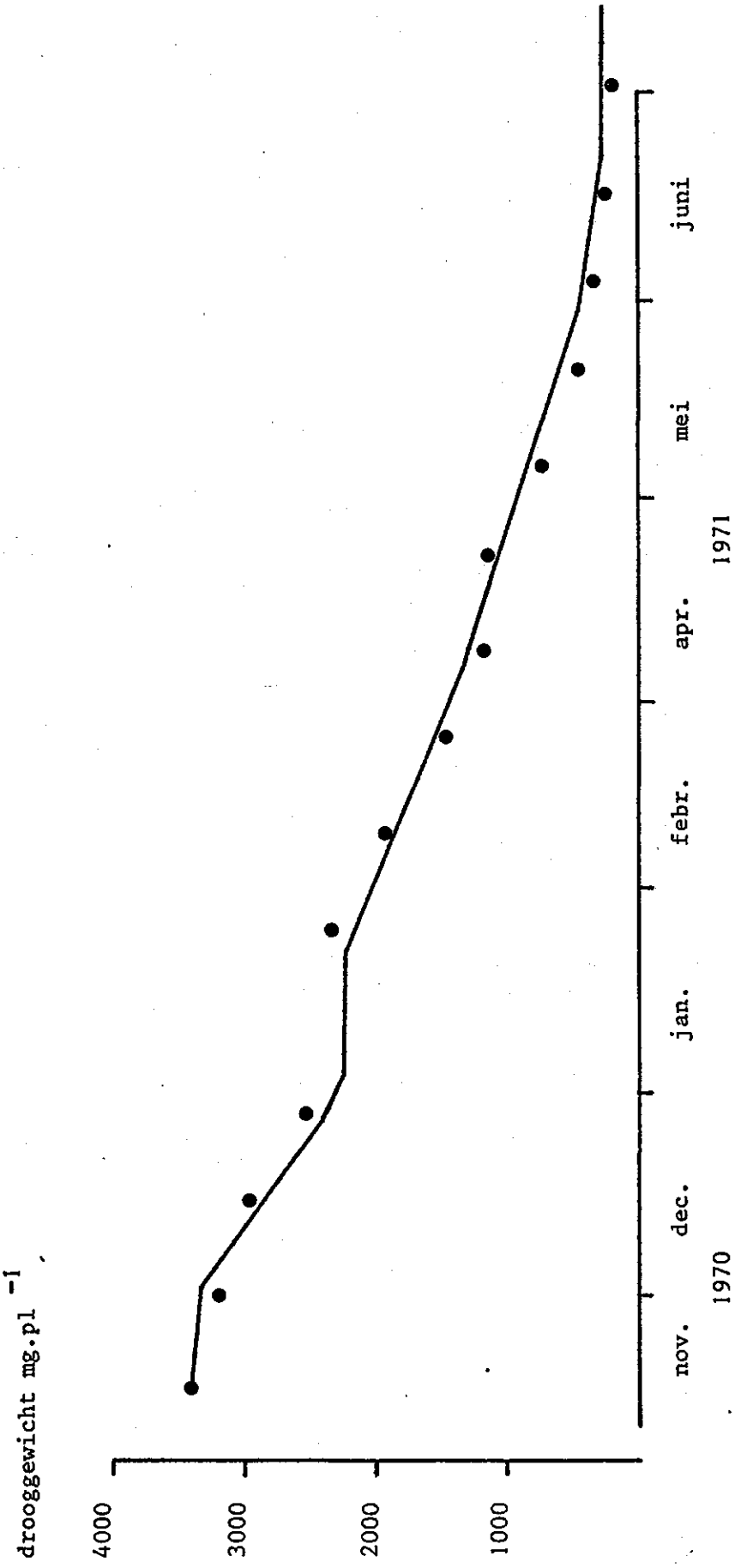


Fig.14. Het werkelijk verloop (●) van het drooggewicht van de moederbol in het groeiseizoen 1970/'71 cv. L.Witwe geplante bollen: maat 8-9, type A en het berekende verloop (—).

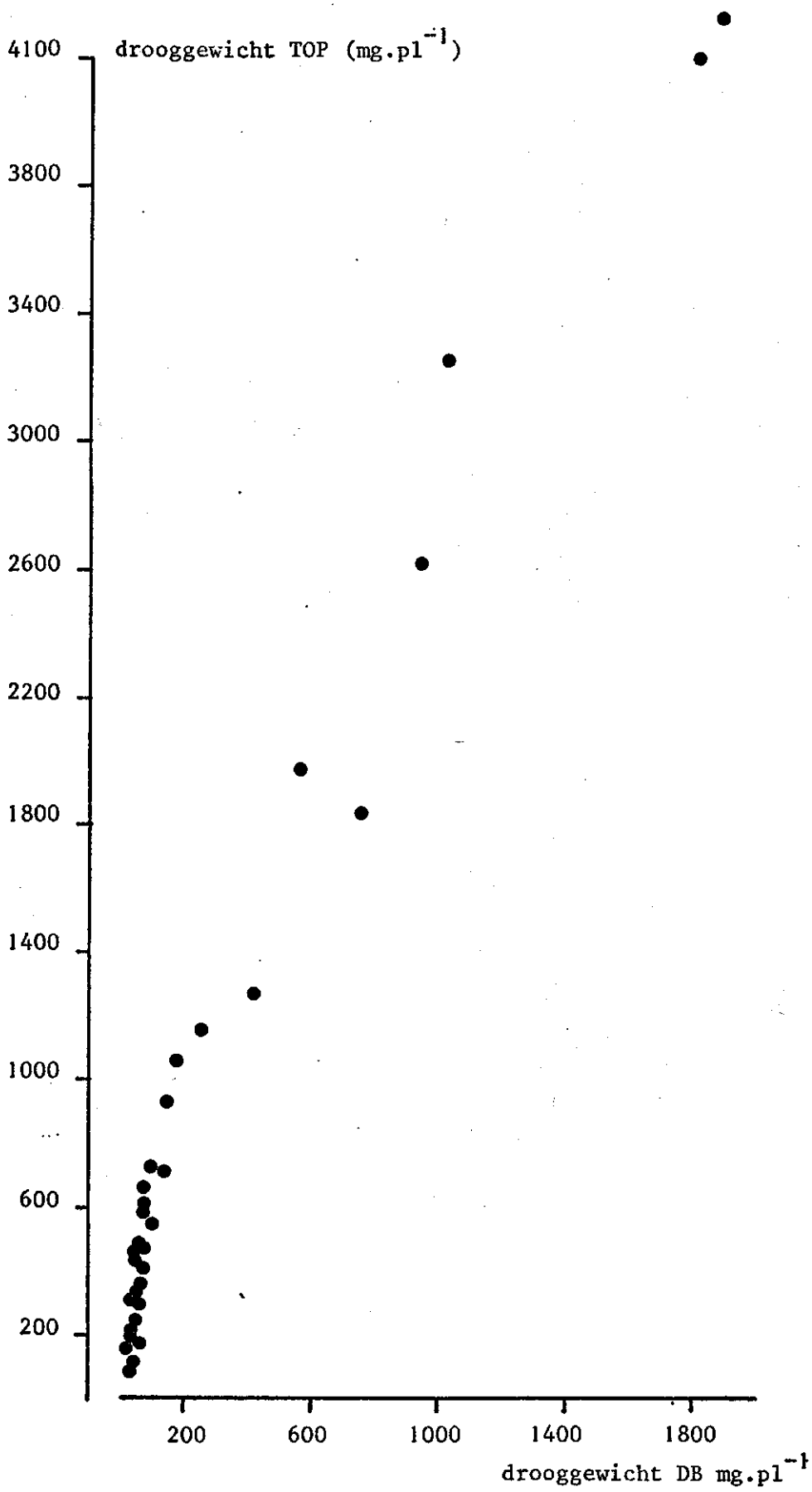
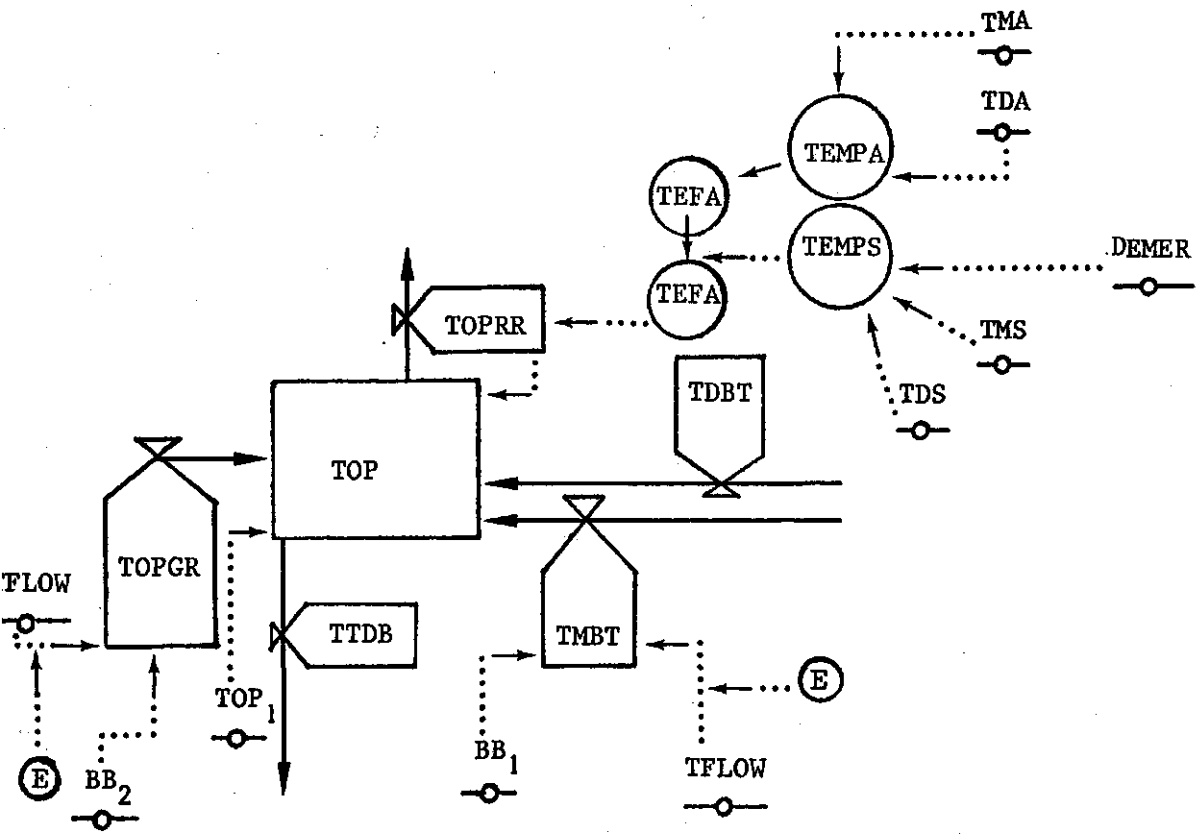


Fig.15. Verband tussen het drooggewicht van de dochterbollen (DB) en het drooggewicht van de eindknop (TOP) voor cv. L.Witwe (geplante bollen: maat 8-9, type A) in de groeiseizoenen 1970/'71; 1971/'72 en 1972/'73.



ig. 16 Relatiemodel van de groei van eindknop. (voor verklaring zie tekst)

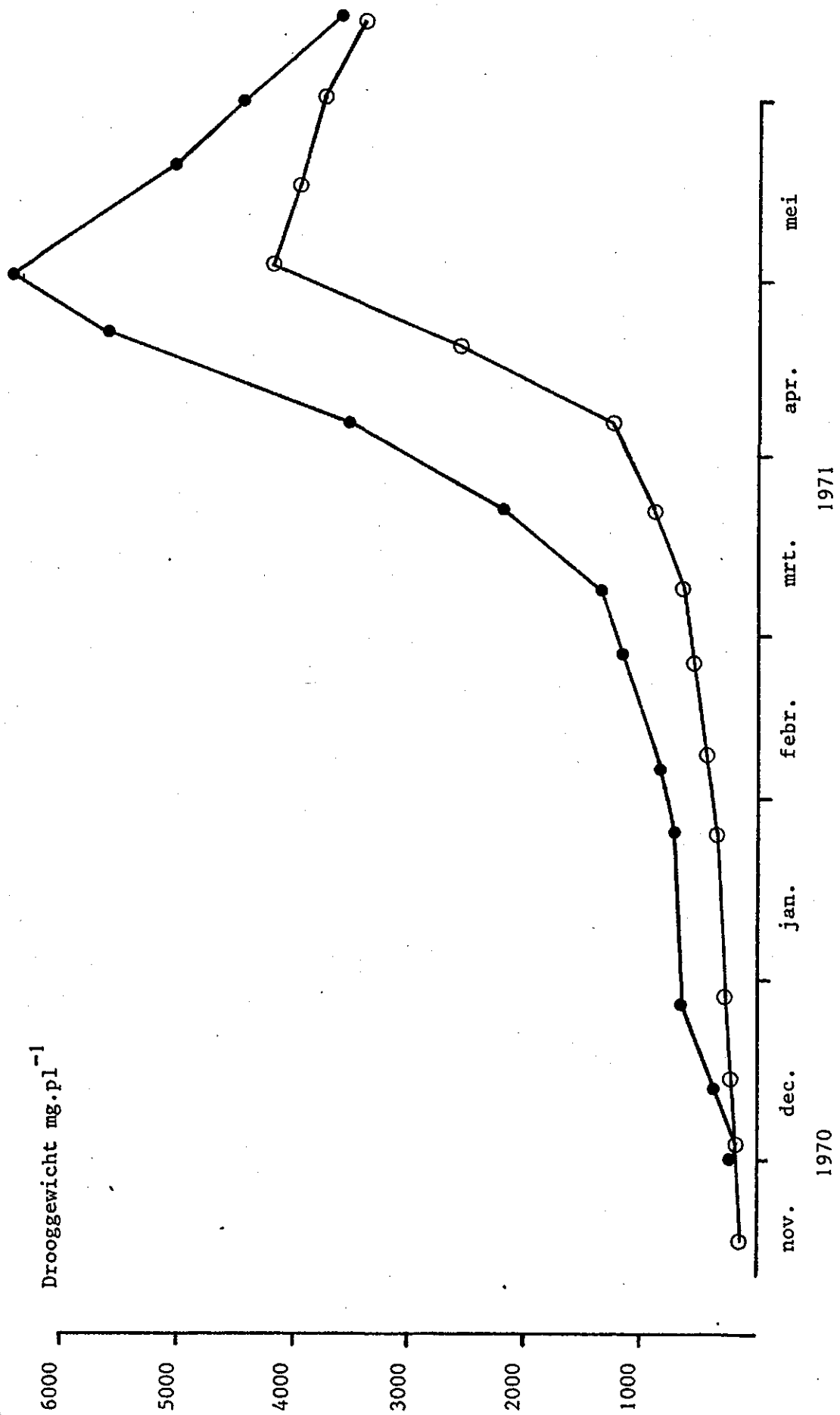


Fig. 17. Werkelijk verloop (o) van het drooggewicht van de eindknop in groeiseizoen 1970/'71 bij cv. L.Witwe(geplante bollen: maat 8-9, type A) en het berekende verloop (•).

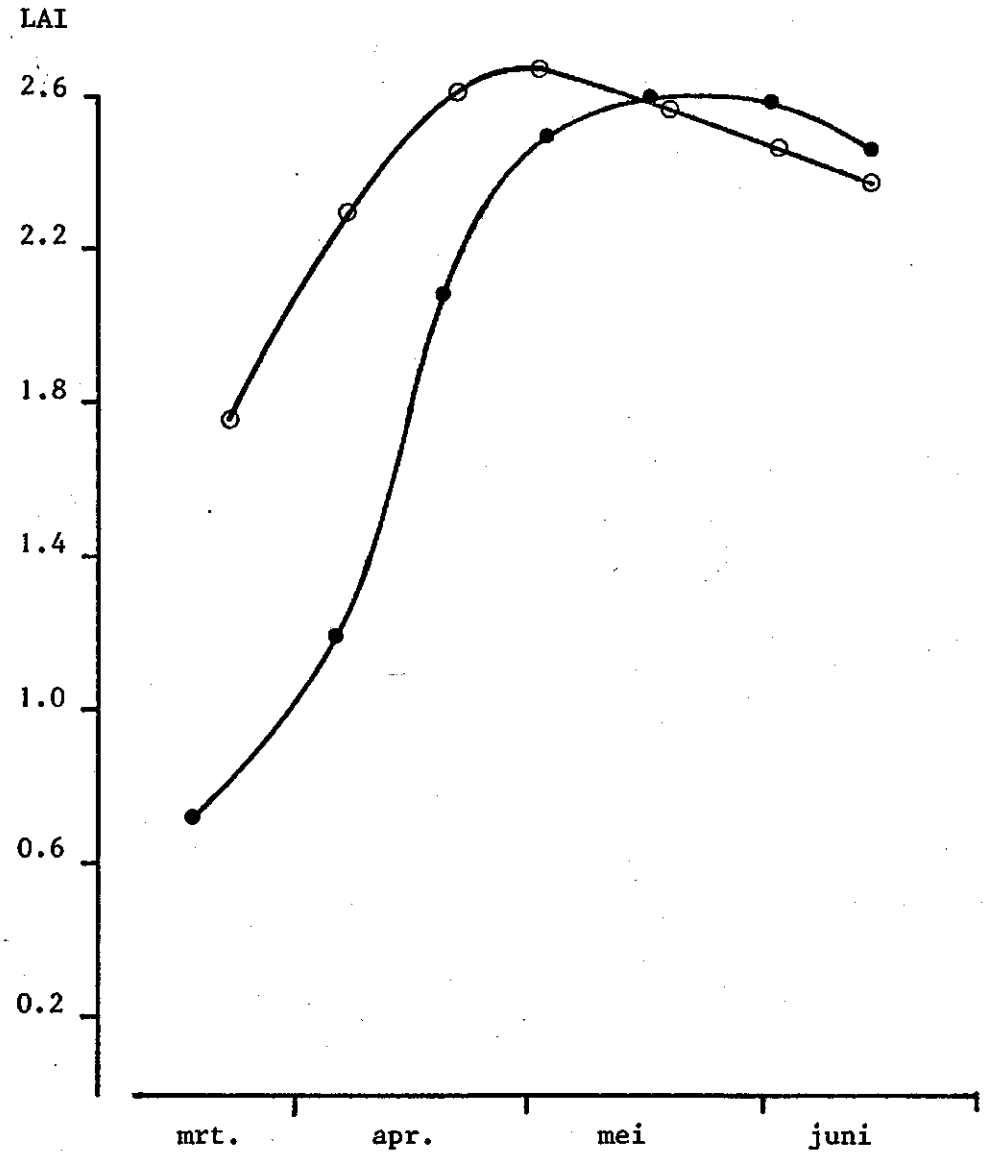


Fig.18. Het werkelijke verloop (•) van de leaf-area-index (LAI) in het groeiseizoen 1970/'71 bij cv.L.Witwe (geplante bollen: maat 8-9, type A) en het berekende verloop (o).

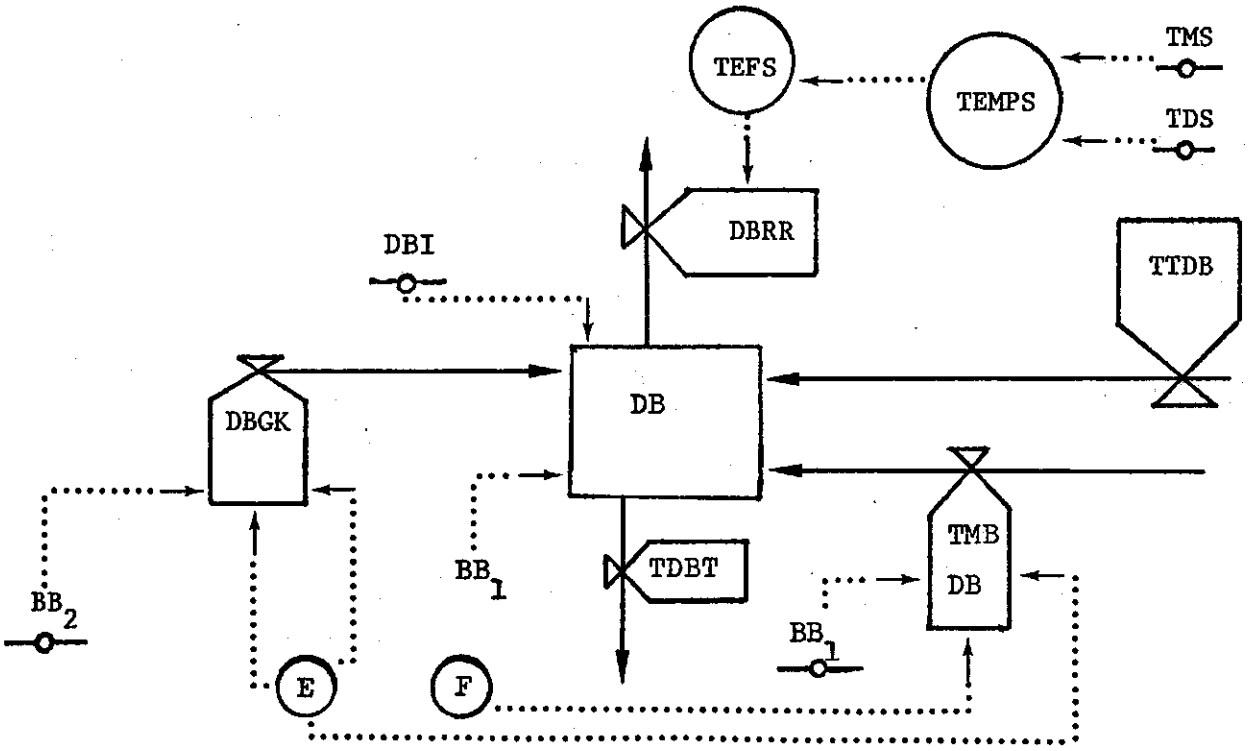


Fig. 19. Relatiemodel van de groei van de dochterbollen (voor verklaring zie tekst).

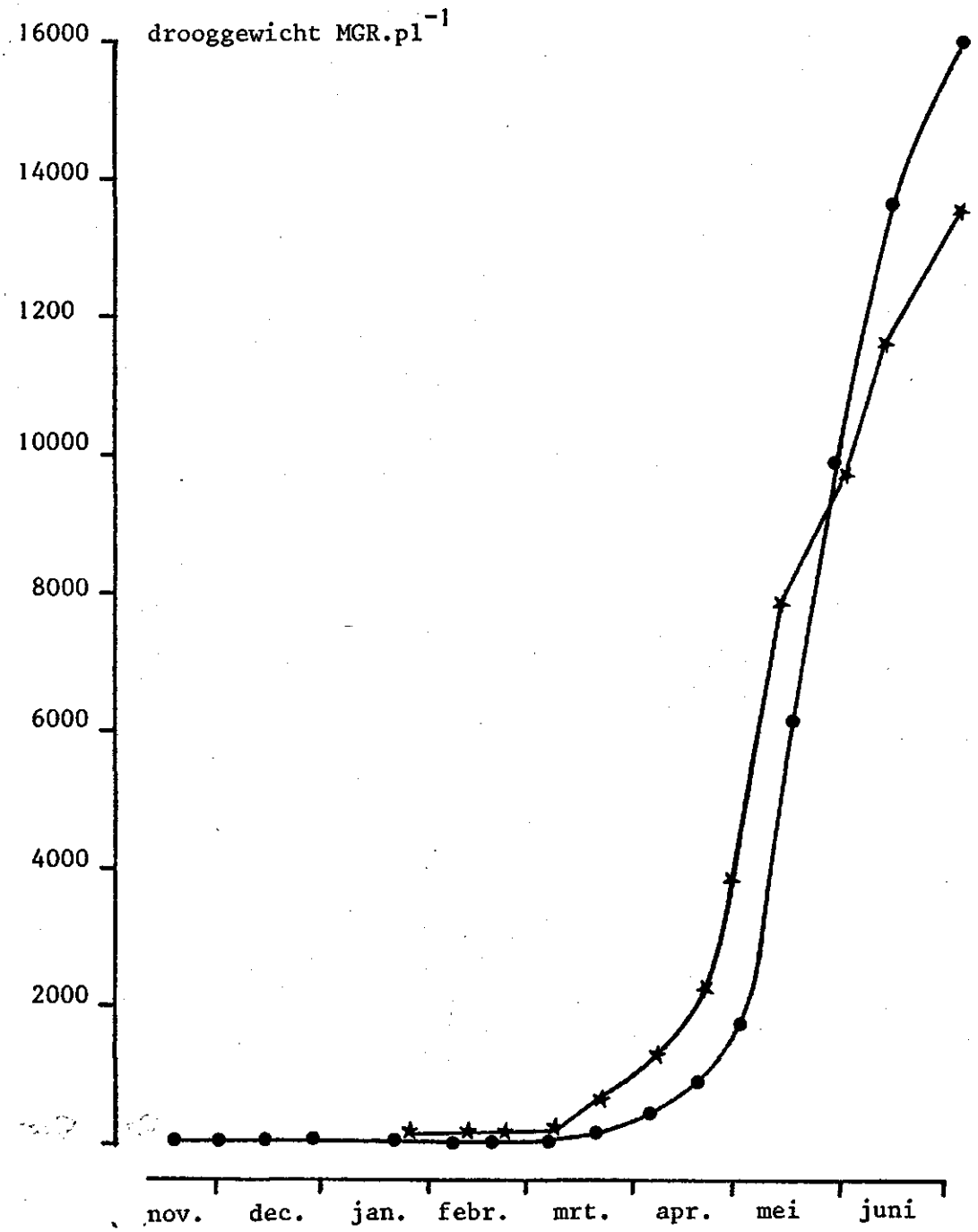


Fig. 20. Het werkelijke verloop (●) van het drooggewicht van de dochterbollen in het groeiseizoen 1970/'71 bij cv. L. Witwe (geplante bollen: maat 8-9, type A) en het berekende verloop (✱).