

Ontwikkeling en toepassing van een gewasgroeimodel voor Crambe

E.W.J.M. Mathijssen & W.J.M. Meijer

ab-dlo

Het DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek (AB-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

Het instituut is opgericht op 1 november 1993 en is ontstaan door de samenvoeging van het Wageningse Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) en het in Haren gevestigde Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO).

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de beleidsvoorbereiding en -uitvoering van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, het bevorderen van de primaire landbouw en de agrarische industrie, het inrichten en beheren van het landelijk gebied, en het beschermen van natuur en milieu.

AB-DLO heeft tot taak het verrichten van zowel fundamenteel-strategisch als toepassingsgericht onderzoek en is gepositioneerd tussen het fundamentele basisonderzoek van de universiteiten en het praktijkgerichte onderzoek op proefstations. De verkregen onderzoeksresultaten dragen bij aan de bevordering van:

- de bodemkwaliteit;
- duurzame plantaardige produktiesystemen;
- de kwaliteit van landbouwprodukten.

Kernexpertises van het AB-DLO zijn: plantenfysiologie, bodembioïogie, bodemchemie en -fysica, nutriëntenbeheer, gewas- en onkruidecologie, graslandkunde en agrosysteemkunde.

Adres

Vestiging Wageningen:

Postbus 14, 6700 AA Wageningen
tel. 08370-75700
tel. 0317-475700 (m.i.v. 10-10-1995)
fax 08370-23110
e-mail postkamer@ab.agro.nl

Vestiging Haren:

Postbus 129, 9750 AC Haren
tel. 050-337777
tel. 050-5337777 (m.i.v. 10-10-1995)
fax 050-337291
e-mail postkamer@ab.agro.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Het LINTUL-gewasgroeimodel	5
2.1. Lichtinterceptie	5
2.2. Drogestofproductie	6
2.3. Drogestofverdeling	7
2.4. Ontwikkeling	7
3. Het CRAMBE-gewasgroeimodel	9
3.1. Modelaanpassingen en parameterbepalingen	9
3.1.1. Lichtinterceptie	9
3.1.2. Drogestofproductie	11
3.1.3. Drogestofverdeling	13
3.1.4. Ontwikkeling	14
3.2. Modeluitkomsten en praktijkresultaten	15
4. Crambe en koolzaad als erucazuurproducenten	19
4.1. Materiaal en methoden	19
4.2. Resultaten en discussie	19
5. Discussie en conclusies	23
Literatuur	27
Bijlage I	
Proefschema's en behandelingen van diverse proeven met Crambe	2 pp.
Bijlage II	
Listing CRAMBE-model	3 pp.

Samenvatting

De relaties tussen de gewasgroei van Crambe enerzijds en temperatuur en straling anderzijds zijn vastgelegd in een eenvoudig gewasgroeimodel dat is gebaseerd op het model LINTUL. De parameters voor het CRAMBE-model zijn afgeleid van veldproeven die in 1991 zijn geteeld op Proefboerderij "de Bouwing" (rivierklei).

De belangrijkste wijziging in LINTUL voor Crambe betreft de invloed van ontwikkeling op de RUE die vanaf begin houwvorming sterk daalt van 2,19 naar 0,92 g MJ⁻¹. De belangrijkste oorzaak voor de lage RUE tijdens deze tweede fase is vermoedelijk de snelle afname van het groene bladoppervlak dat onvoldoende wordt gecompenseerd door de toename van stengel- en hauwoppervlak. Voor blad, stengels en hauwen is een extinctiecoëfficiënt geschat.

Met behulp van het CRAMBE-model zijn de resultaten van vier veldproeven en een praktijkgewas gesimuleerd en de verschillen tussen gesimuleerde en gemeten resultaten zijn geanalyseerd. Het blijkt dat onder normale Nederlandse omstandigheden de ontwikkeling goed wordt gesimuleerd. Alleen bij de extreem hoge temperaturen die in de zomer van 1994 optraden, verloopt de fase van houwvorming veel sneller dan het model berekent. De proef- en praktijkopbrengsten worden in alle gevallen overschat omdat geen van de getoetste gewassen onder optimale omstandigheden is geteeld en de velden machinaal zijn geoogst. Voor de schatting van realistisch haalbare opbrengsten moeten de gesimuleerde potentiële opbrengsten met minimaal 30 % worden verminderd.

Met behulp van het CRAMBE-model is verder berekend dat de potentiële opbrengst van Crambe bij vroeg zaaien met 14 % verhoogd kan worden als door veredeling de basis-temperatuur voor bladontwikkeling van 5 °C naar 0 °C wordt verlaagd en er geen sprake is van vernalisatie.

De erucazuuropbrengsten van twee winterkoolzaadproeven die in 1989 en 1990 zijn geoogst, zijn vergeleken met de gesimuleerde opbrengsten van Crambe in diezelfde jaren. Geconcludeerd wordt dat winterkoolzaad meer erucazuur produceert dan het zomergewas Crambe. De belangrijkste oorzaak van het verschil is de lage lichtbenuttingsefficiëntie die bij Crambe gedurende de hele fase van houwvorming optreedt en bij koolzaad alleen tijdens het laatste deel bij afrijping. Dit hangt vermoedelijk samen met de snellere afname van groen blad en het kleinere hauwoppervlak van Crambe. De tweede oorzaak is dat koolzaad een langere groeiperiode heeft en meer straling onderschept. De harvest index van koolzaad verschilt in beide jaren sterk, die van Crambe is (onder optimale omstandigheden) stabiel.

1. Inleiding

Crambe abyssinica is één van de drie nieuwe oliehoudende zaadgewassen die zijn onderzocht in het kader van het Nationaal Olie Programma (NOP). Zes DLO-instituten, PAGV, Cebeco en Unichema werkten samen in dit programma om de mogelijkheden en perspectieven van de veredeling, teelt, verwerking en afzet van *Crambe abyssinica*, *Dimorphthea pluvialis* en *Limnanthes alba* in Nederland te onderzoeken.

AB-DLO had als taak de gewasfysiologische aspecten en de produktiemogelijkheden van de drie gewassen te onderzoeken. In diverse veld- en kasproeven zijn een groot aantal gewasgegevens verzameld waarmee een gewasgroeimodel is gemaakt. Zo'n model beschrijft in wiskundige formules de groei en ontwikkeling van een gewas in relatie tot omgevingsfactoren, waardoor de resultaten los worden gemaakt van toevallige jaarinvloeden. Omdat van deze gewassen nauwelijks gegevens van de gewasgroei bekend waren, is gekozen voor het eenvoudige model LINTUL (=Light INTerception and Utilization simulator). Dit model, ontwikkeld door Spitters (1987, 1990) en later iets gewijzigd door Kooman (1995), beschrijft de groei en ontwikkeling van een gewas dat onder overigens niet-limiterende omstandigheden is geteeld in afhankelijkheid van temperatuur, straling en soms daglengte. In dit verslag worden die relaties in het model LINTUL voor *Crambe* gedefinieerd op grond van door Kreuzer et al. (1995) beschreven experimenteel onderzoek. Verder worden de model aanpassingen die zijn gemaakt voor de simulatie van de gewasgroei van *Crambe* beschreven. Het CRAMBE-model wordt vervolgens gebruikt als hulpmiddel bij de analyse van de resultaten van diverse veldproeven die door PAGV en CPRO zijn uitgevoerd. Tenslotte worden met behulp van het model de gewassen *Crambe* en koolzaad vergeleken in hun productie van erucazuur.

2. Het LINTUL-gewasgroeimodel

2.1. Lichtinterceptie

Onder overigens optimale condities is de som van de fotosynthetisch actieve straling die door de groene delen van een gewas gedurende het groeiseizoen wordt opgevangen bepalend voor de uiteindelijke drogestofproductie van dat gewas. In formule:

$$(1) \quad CINT = \sum (FINT \cdot PAR)$$

waarin: CINT = cumulative intercepted radiation (MJ m^{-2})
 FINT = daily fraction of the light interception capacity of the canopy
 PAR = photosynthetic active radiation (400-700 nm; $\text{MJ m}^{-2} \text{dag}^{-1}$)

De FINT wordt vooral bepaald door de temperatuur omdat de bladgroei en -sterfte gerelateerd is aan de temperatuur. In de berekening van de FINT wordt daarom de tijd uitgedrukt als een temperatuursom vanaf opkomst. Deze wordt verkregen door de sommatie van de dagelijkse gemiddelde temperatuur boven een basistemperatuur. Komt de dagelijkse temperatuur beneden 0°C , dan wordt deze in de berekening aan 0 gelijk gesteld. In formule:

$$(2) \quad TSUME = \sum \left(\frac{(TMIN + TMAX)}{2} - TBASE \right)$$

waarin: TSUME = temperaturesum after emergence ($^\circ\text{Cd}$)
 TMIN = minimum daily temperature ($^\circ\text{C}$)
 TMAX = maximum daily temperature ($^\circ\text{C}$)
 TBASE = basetemperatuur for growth ($^\circ\text{C}$)

Voor de berekening van FINT worden in LINTUL twee fasen onderscheiden:

- exponentiële toename van FINT van opkomst tot maximale lichtonderschepping door het gewas (FINTL). Deze fase wordt beschreven met een logistische functie.
- lineaire afname van maximale lichtonderschepping tot 0 tijdens de fase van afsterving van het gewas (FINTS)

In formule:

$$(3) \quad FINTL = \frac{F0 \cdot FINTM}{F0 + (FINTM - F0) \cdot \text{EXP}(-R0 \cdot TSUME)}$$

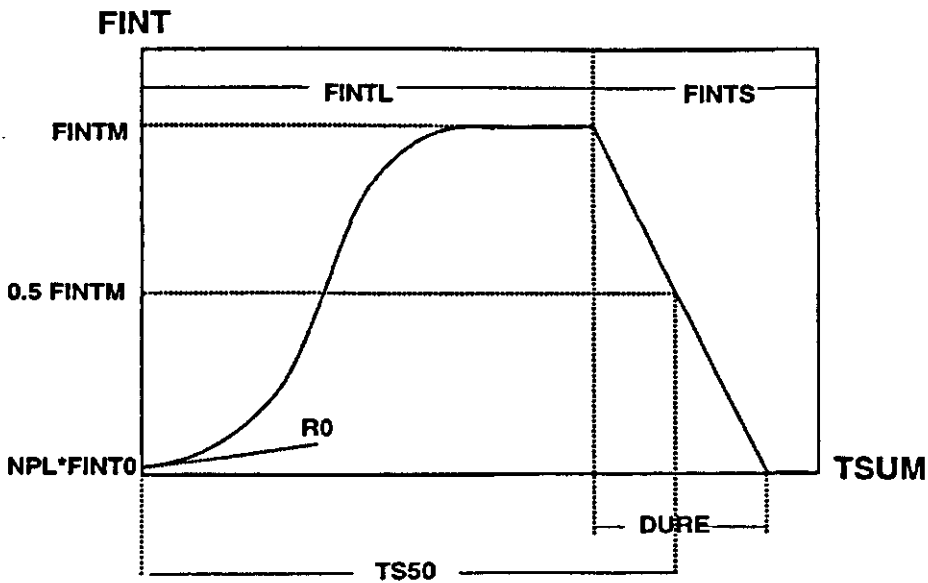
waarin: FINTL = fraction interception during leaf expansion
 F0 = initial interception capacity of the crop ($\text{NPL} \cdot \text{FINT0}$)
 NPL = number of plants per m^2 at emergence
 FINT0 = initial interception capacity per plant ($\text{m}^2 \text{plant}^{-1}$)
 R0 = initial relative growth rate of interception capacity ($^\circ\text{C}^{-1} \text{day}^{-1}$)

FINTM = maximum fraction interception of the canopy

$$(4) \quad \text{FINTS} = \frac{0.5 - (\text{TSUME} - \text{TS50})}{\text{DURE}}$$

waarin: FINTS = fraction interception during foliage senescence
 TS50 = temperaturesum till FINTS is reduced to 50 % (°Cd)
 DURE = duration of the phase of decreasing interception (°Cd)

Met deze formules kan de lichtonderschepping door een gewas worden berekend als de gewas-specifieke parameters (NPL, FINT0, R0, FINTM en TBASE) bekend zijn. In het model zijn de formules zodanig omschreven dat FINT nooit groter wordt dan FINTM en nooit kleiner dan 0. Figuur 1 is de grafische weergave van bovenstaande formules.



Figuur 1 Het modelmatig verloop van de fractie interceptie gedurende de gewasgroei. Voor verklaring van de gebruikte afkortingen zie tekst.

2.2. Drogestofproductie

De totale drogestofproductie van een gewas is recht evenredig met de totale hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling die door een gewas gedurende een groeiseizoen wordt opgevangen. In formule:

$$(5) \quad \text{WDM} = \text{RUE} \cdot \text{CINT}$$

waarin: WDM = dry weight of the biomass (g m⁻²)
 RUE = radiation use efficiency (g MJ⁻¹)
 CINT = cumulative intercepted radiation (MJ m⁻²)

2.3. Drogestofverdeling

In LINTUL wordt de hoeveelheid vermarktbaar produkt berekend door de totale drogestof op het moment van oogsten te vermenigvuldigen met een harvest index. In formule:

$$(6) \quad WSO = HI \cdot WDM$$

waarin: WSO = weight of the storage organs (g m^{-2})
 HI = harvest index
 WDM = dry weight of the biomass (g m^{-2})

2.4. Ontwikkeling

Behalve temperatuur en straling kan ook de plantontwikkeling van invloed zijn op de hoeveelheid drogestof en marktbaar produkt die maximaal geoogst kan worden. De invloed van omgevingsfactoren op de ontwikkeling kan afwijken van die op het lichtonderscheppend vermogen van een gewas. In LINTUL zit geen standaardformule voor het aansturen van de ontwikkeling. De relaties moeten per gewassoort worden vastgesteld en in het model worden verwerkt.

3. Het CRAMBE-gewasgroeimodel

3.1. Modelaanpassingen en parameterbepalingen

In de volgende paragrafen wordt beschreven op welke wijze de parameters voor de Crambe-versie van LINTUL zijn bepaald. Daarvoor is gebruik gemaakt van resultaten van veld- en kasproeven zoals beschreven in Kreuzer et al. (1995) en van literatuur.

Tijdens het parameteriseren van LINTUL voor Crambe, bleek het nodig enkele wijzigingen in LINTUL aan te brengen. Dit is gebeurd voor de drogestofproductie, de drogestofverdeling en de ontwikkeling. De wijzigingen worden bij de betreffend paragrafen beschreven en verantwoord. Alle analyses en fitprocedures zijn met Genstat (1987) uitgevoerd. De simulaties zijn uitgevoerd onder FSE (Van Kraalingen, 1995).

3.1.1. Lichtinterceptie

De parameters die de loop van de functie FINTL bepalen zijn vastgesteld op grond van proef 1146. In deze proef is op drie uiteenlopende tijdstippen Crambe gezaaid. Tot aan de sluiting van het gewas is regelmatig de fractie interceptie gemeten en op zes momenten tijdens de gewasgroei is de drogestofopbrengst bepaald (Bijlage I). Van elk van de drie zaaitijden zijn voor de dagen waarop de fractie interceptie is gemeten, de temperatuursommen vanaf opkomst berekend, met basistemperaturen van 0 tot 10 °C. De parameters R_0 en $FINT_0$ (formule 3) zijn gefit bij de verschillende temperatuursommen. Alleen in waarde oplopende gemeten interceptiewaarden zijn in de procedure meegenomen. De overige parameters hebben een constante waarde gekregen. Het aantal planten bij opkomst (NPL) kreeg de gemiddelde waarde van de drie zaaitijden (=112), de maximum interceptie(FINTM) werd op 1 gesteld.

De combinatie van parameters die bij de fitprocedure over de drie zaaitijden het hoogste percentage verklaard gaven, zijn gebruikt voor het CRAMBE-model. De in bovenstaande procedure gevonden $FINT_0$ en $TBASE$ zijn bij alle volgende fitprocedures als vaste parameterwaarden meegegeven. Na de fitprocedure over de drie zaaitijden ter bepaling van de modelparameters, is ook de best passende R_0 per zaaitijd bepaald (Tabel 1 en Fig. 2).

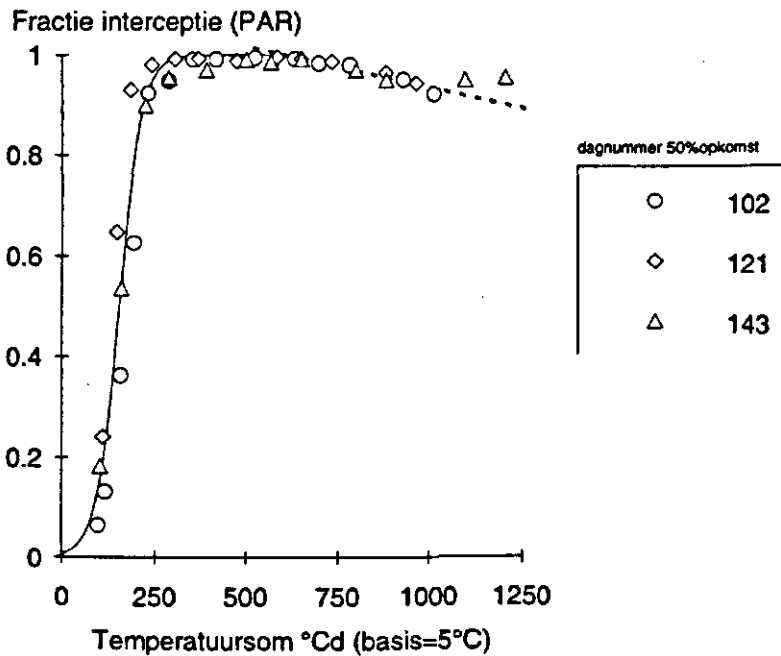
Met een basistemperatuur van 5 °C kan FINTL het best worden beschreven. In de literatuur wordt een waarde van 6,8 °C genoemd (Küchler, 1963). Het is goed denkbaar dat de huidige rassen op dit punt wat zijn veranderd in de loop van de jaren.

De gefitte waarde voor $FINT_0$ van $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ per plant is ongeveer de helft van het gemeten oppervlak van de kiemlobben van in de kas gekiemde zaden. Bij de hogere temperaturen in de kas is de strekking van blad groter dan bij de lagere temperaturen in het veld. De gefitte $FINT_0$ is kennelijk een redelijk goede schatting.

Tabel 1 De waarde van de parameters FINTO en R0 indien de logistische functie FINTL (zie 2.1.) wordt gefit door de gemeten fracties interceptie van drie zaaitijden (Z1_Z3) tegen temperatuursommen met verschillende basistemperaturen, en de waarde van R0 als per zaaitijd wordt gefit met de best passende TBASE en FINTO.

zaaitijden	TBASE (°C)	NPL (per m ⁻²)	FINTO (m ² plant ⁻¹)	R0-100 (°C ⁻¹ dag ⁻¹)	%verklaard
Z1_Z3	0	112	7·10 ⁻⁵	1,502	83,7
Z1_Z3	5	112	6·10 ⁻⁵	3,273	93,3
Z1	5	90	6·10 ⁻⁵	3,003	99,4
Z2	5	137	6·10 ⁻⁵	3,839	98,8
Z3	5	137	6·10 ⁻⁵	3,111	99,5

Voor de beschrijving van het verloop van FINTS is een lineaire regressielijn gefit door in tijd afnemende gemeten interceptiewaarden en de bijbehorende temperatuursommen. De parameters DURE en TS50 voor de loop van FINTS (formule 4) zijn afgeleid uit deze lijn. De gevonden waarden zijn respectievelijk 6250 en 3750 °Cd (Fig. 2).



Figuur 2 De lichtonderschepping van Crambe als functie van de temperatuursom na opkomst (basistemperatuur 5 °C). De symbolen zijn gemeten waarden van drie uiteenlopende zaaitijdstippen (proef 1146), de doorgetrokken lijn is de gefitte logistische functie tot maximale lichtonderschepping en de gestippelde lijn is de gefitte lineaire functie van maximale lichtonderschepping tot afrijping.

3.1.2. Drogestofproductie

Voor de berekening van de RUE (formule 5) zijn eveneens de gegevens van de drie zaaitijden van proef 1146 gebruikt. De CINT is per zaaitijd berekend door sommatie van de dagelijkse FINT van opkomst tot eind oogst. De dagelijkse FINT is berekend met gebruikmaking van de best passende parameters per zaaitijd voor FINTL, en de modelparameters voor FINTS (zie 3.1.1.).

De drogestofcijfers van de eerste vijf oogsten zijn onveranderd overgenomen, die van de zesde oogst zijn omgerekend naar gemiddelde gewassenstelling om te compenseren voor de hogere koolhydraatbehoefte voor de productie van oliehoudend zaad. De volgende berekeningswijze is daarbij gehanteerd:

$$(7) \quad \text{POGW} = \frac{\text{CRPO}}{\text{CRG}} \cdot \text{WPO}$$

waarin: POGW = weight of the dry matter of the pods based on green crop
 CRPO = carbohydrate required for pods
 CRG = carbohydrate required for green crop
 WPO = weight of the pods based on 100 % dry matter

$$(8) \quad \text{CRG} = F_{\text{leaf}} \cdot \text{CRG}_{\text{leaf}} + F_{\text{stem}} \cdot \text{CRG}_{\text{stem}}$$

waarin: F_{leaf} = fraction of the leaves in the dry matter
 F_{stem} = fraction of the stems in the dry matter
 CRG_{leaf} = carbohydrate required for leaves
 CRG_{stem} = carbohydrate required for stems

De fracties blad (0,32) en stengel (0,68) zijn bepaald uit gegevens van proef 1145 (Bijlage I), de CRG van blad (1,463) en stengel (1,513) zijn afkomstig uit literatuur (Penning de Vries et al., 1983). Volgens deze berekening komt de CRG van *Crambe* op 1,497.

$$(9) \quad \text{CRPO} = F_{\text{carbo}} \cdot G_{\text{carbo}} + F_{\text{prot}} \cdot G_{\text{prot}} + F_{\text{fats}} \cdot G_{\text{fats}} + F_{\text{lign}} \cdot G_{\text{lign}} + F_{\text{ash}} \cdot G_{\text{ash}}$$

waarin: F = fraction
 G = kg glucose required for production per kg product
 carbo = carbohydrates
 prot = proteins
 lign = lignin
 ash = as

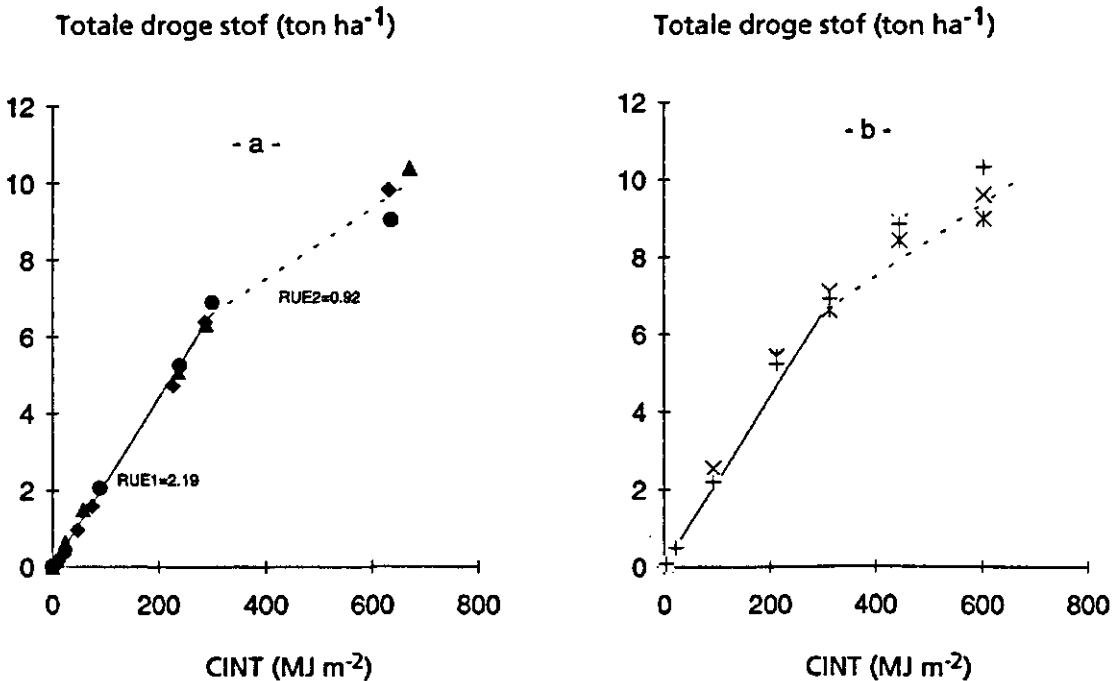
De fracties in het zaad (respectievelijk 0,325 - 0,18 - 0,349 - 0,096 - 0,05) zijn afkomstig van metingen van Steg (1994), de omrekeningsfactoren naar glucose (respectievelijk 1,275 - 1,887 - 3,189 - 2,213 - 0,12) zijn afkomstig uit literatuur (Penning de Vries, 1989). Volgens deze berekening komt de CRPO van *Crambe* 2,087. De omrekeningsfactor van droog gewicht hauwen naar droog gewicht op basis van gemiddelde gewassenstelling wordt daarmee 1,4.

In Figuur 3a staan de (gecorrigeerde) drogestofopbrengsten van de drie zaaitijden uitgezet tegen de berekende CINT. Door de cijfers behorend bij de eerste vijf oogsten kan een lineaire regressie gefit worden. De cijfers behorend bij de zesde oogst wijken sterk af van deze lijn.

De vijfde oogst is uitgevoerd in het stadium van begin houwvorming, de zesde in het stadium van rijp zaad.

De drogestofopbrengsten en de bijbehorende CINT van drie behandelingen (B1, B2, B4) van proef 1145 zijn eveneens in een grafiek uitgezet (Fig. 3b). De totale hoeveelheid drogestof is berekend door sommatie van de gewichten van de gewasonderdelen per oogst. Na de vierde tussenoogst nam de gemeten hoeveelheid blad af. Voor de berekening van de totale drogestofhoeveelheid is de hoeveelheid blad vanaf die tijd constant verondersteld. De berekening van CINT is op dezelfde wijze uitgevoerd als bij proef 1146, dat wil zeggen met een gefitte R0 die het best past bij de waarnemingen van de betreffende behandeling.

Ook uit de resultaten van proef 1145 blijkt dat de efficiëntie van het gewas gedurende het seizoen verandert en dat de omslag naar een lagere efficiëntie plaats vindt bij begin houwvorming. Uit de figuur is afgeleid dat de afnemende efficiëntie gedurende de houwvormingsfase eveneens met een lineaire relatie benaderd kan worden.



Figuur 3 De drogestofproductie van Crambe als functie van de cumulatieve onderschepte straling (CINT) vanaf opkomst. De symbolen zijn gemeten waarden van drie zaaidata van proef 1146 (a) en van drie behandelingen van proef 1145 (b). In beide figuren is de doorgetrokken lijn de gefitte lineaire functie van opkomst tot begin houwvorming en de gestippelde lijn die van houwvorming tot eindoogst van proef 1146.

Op grond van bovenstaande gegevens is LINTUL aangepast voor Crambe. Er zijn twee parameters voor efficiëntie in gevoerd:

- RUE1 van opkomst tot begin houwvorming
- RUE2 van begin houwvorming tot de eindoogst

De waarde van de modelparameters is vastgesteld op basis van de gegevens van proef 1146. De lineaire regressie voor de bepaling van RUE1 is gedwongen door de oorsprong (Fig. 3).

3.1.3. Drogestofverdeling

Het marktbaar produkt van Crambe is erucazuur. Het gewicht aan erucazuur is een resultante van het gehalte in de olie, het gehalte olie in de hauwen en de hauwopbrengst. In Tabel 2 staan de opbrengstcomponenten van de eind oogsten van drie veldproeven die in 1991 met Crambe zijn uitgevoerd. Omdat in het model wordt gewerkt met hoeveelheden drogestof op basis van gemiddelde plantsamenstelling, is naast de gebruikelijke harvest index, ook een gecorrigeerde harvestindex berekend (HIG).

Tabel 2 De harvest index (HI), de harvest index gecorrigeerd voor gemiddelde gewassamenstelling (HIG), het percentage olie in het zaai en het percentage erucazuur in de olie van Crambe in drie veldproeven. Voor verklaring van de behandelingen zie Bijlage I.

	behandeling	HI	HIG	%olie	%erucazuur
proef 1145	standaard	0,30	0,38	33,9	55,0
proef 1146	zaai 1	0,31	0,39	36,1	55,0
	zaai 2	0,34	0,41	36,1	55,4
	zaai 3	0,32	0,40	35,2	55,6
proef 1147	zaai 1	0,35	0,43	35,7	55,0
	zaai 2	0,36	0,44	35,3	55,7

Het blijkt dat de HIG in deze proeven erg stabiel is. Het verschil tussen de proeven is groter dan binnen een proef. Dit hangt samen met de wijze waarop bij de verschillende proeven de totale hoeveelheid drogestof is geoogst en gemeten (Kreuzer et al., 1995). Het percentage olie in de hauwen en het percentage erucazuur in de olie zijn eveneens erg stabiel.

In LINTUL zijn de volgende aanpassingen gemaakt om de opbrengst aan hauwen, olie en erucazuur te berekenen:

$$(10) \quad WPO = HIG \cdot \frac{1}{CONVPO} \cdot WDMG$$

$$(11) \quad WOIL = \frac{POIL}{100} \cdot WPO$$

$$(12) \quad WERA = \frac{PERA}{100} \cdot WOIL$$

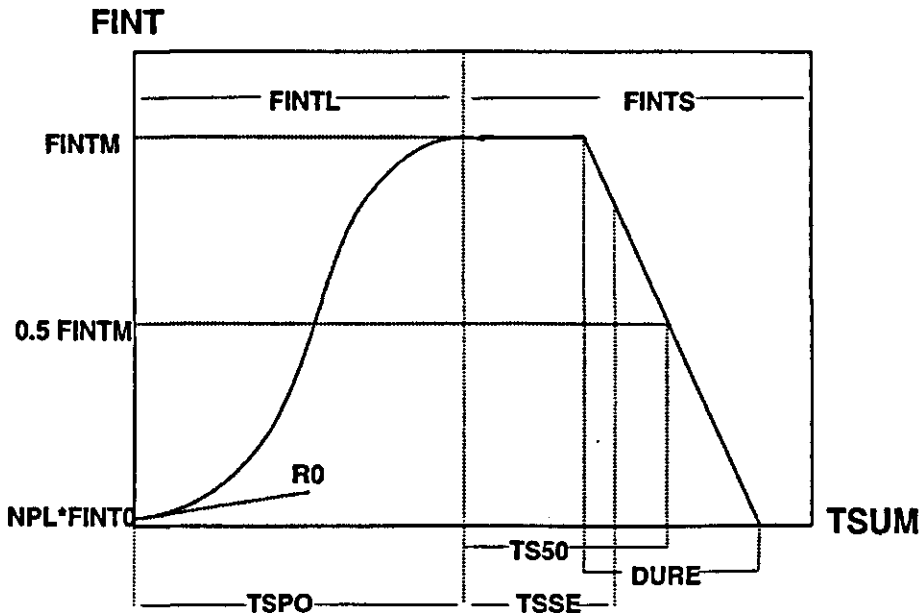
waarin: WPO = weight of the pods ($g m^{-2}$)
 HIG = harvest index based on green crop dry matter
 CONVPO = conversion factor pods ($\frac{CRPO}{CRG}$ zie 3.1.2.)
 WOIL = weight of the oil ($g m^{-2}$)
 POIL = percentage of oil in the pods
 WERA = weight of the erucic acid ($g m^{-2}$)
 PERA = percentage of erucic acid in the oil

De waarde van de modelparameters (HIG=0.40, POIL=36 en PERA =55) is het gemiddelde van de gemeten waarden van de drie zaaitijden van proef 1146.

3.1.4. Ontwikkeling

De ontwikkeling van *Crambe* beïnvloedt de drogestofproductie zoals blijkt uit de afname van de RUE bij begin houwvorming. De invloed van de omgevingsfactoren temperatuur en daglengte op de ontwikkeling is in een kasproef onderzocht. De daglengte bleek geen bepalende factor voor de ontwikkeling. De temperatuur was wel een factor van betekenis: de bloei werd door hogere temperaturen vertraagd (Kreuzer, 1993). De resultaten van veldproef 1147 (Bijlage I) sluiten daarbij aan. Zowel de gemiddelde temperaturen van twee uiteenlopende zaaitijden als de bijbehorende temperatuursommen (van opkomst tot begin bloei) waren lager dan in de kasproef. Dat wijst op de aanwezigheid van een vernalisatiebehoefte.

Bij de modellering van *Crambe* is in zoverre met dit effect rekening gehouden, dat de temperatuursommen die het begin van de houwvorming (TSPO=temperaturesum from emergence till first pods) en het einde van de gewasgroei (TSSE=temperaturesum from first pods till senescence) bepalen, werken met een basistemperatuur van 0 °C in plaats van de 5 °C die voor de berekening van de fractie interceptie wordt gebruikt.



Figuur 4 Het modelmatig verloop van de fractie interceptie van *Crambe* gedurende de gewasgroei. Het verschil met de oorspronkelijke LINTUL-versie zijn de parameters TSPO, TSSE en TS50. Zie voor toelichting de tekst.

De waarde van TSPO is vastgesteld op grond van de twee zaaitijden van proef 1147 waarin de ontwikkeling nauwkeurig is gevolgd. Die van TSSE is berekend uit de gemiddelde temperatuursom van opkomst tot eind oogst van de drie zaaitijden van proef 1146, verminderd met de waarde van TSPO. TSPO en TSSE zijn respectievelijk 874 en 795 °Cd (basis=0 °C).

Ook LINTM, de subroutine waarin de fractie interceptie (FINT) wordt berekend is gewijzigd. FINT krijgt nu de waarde van FINTL totdat TSPO is bereikt. Op dat moment begint de afsterfingsfase, wordt FINTM gelijk aan de maximale waarde die FINTL heeft bereikt, en FINT gelijk aan FINTS. De waarde van FINTS ligt tussen FINTM en 0 (Fig. 4).

De parameter TS50 is in deze versie van LINTUL anders gedefinieerd dan in de oorspronkelijke, namelijk de temperatuursom vanaf begin houwvorming(TSPO) tot het moment dat 50 % van de maximale fractie interceptie(FINTM) is bereikt. De waarde TS50 is vastgesteld op 3240 °Cd (basis 5 °C).

3.2. Modeluitkomsten en praktijkresultaten

Voor evaluatie van het model zijn onafhankelijke data-sets nodig van gewassen die evenals de proefgewassen waarop het is geparameteriseerd, onder niet-limiterende omstandigheden zijn gegroeid. Deze sets waren niet voorhanden. Om die reden is het model alleen getoetst aan de drie gewassen van de zaaitijdenproef 1146. Daarnaast is het model getoetst aan een aantal praktijk- en proefgewassen die in 1993 en 1994 zijn geteeld.

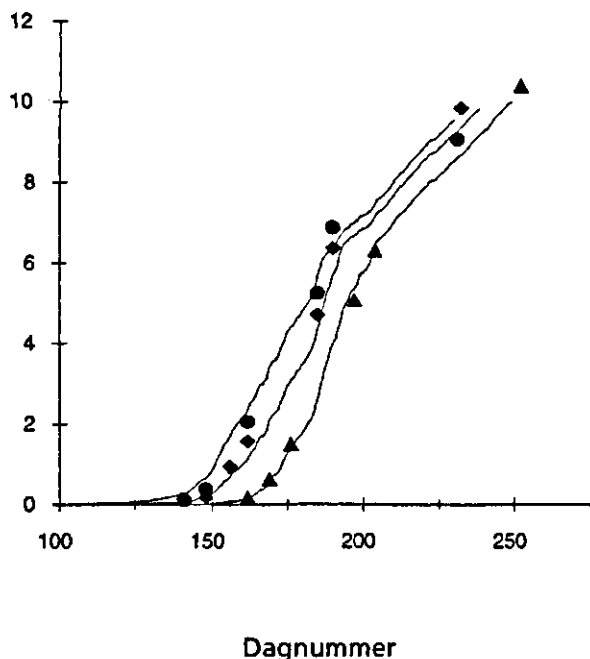
Met gebruikmaking van de modelparameters zoals die zijn gevonden in de vorige paragrafen, zijn de totale drogestof- en houwopbrengsten van proef 1146 gesimuleerd (Tabel 3 en Fig. 5).

Tabel 3 De gemeten en gesimuleerde zaadopbrengsten (WPO), drogestofopbrengsten (WDM) en de oogstdagnummers (DAYHAR) van drie zaaitijden van Crambe in 1991. In het model zijn per zaaitijd de waargenomen opkomstdag (DAYEM) en het waargenomen aantal planten bij opkomst (NPL) ingevoerd.

DAYEM	NPL (per m ²)	GEMETEN			GESIMULEERD		
		DAYHAR	WPO (ton ha ⁻¹)	WDM (ton ha ⁻¹)	DAYHAR	WPO (ton ha ⁻¹)	WDM (ton ha ⁻¹)
102	90	231	2,49	8,04	230	2,72	8,44
121	109	232	2,91	8,67	238	2,80	8,68
143	137	252	2,97	9,19	249	2,85	8,84

De vroegste zaai wordt in houwopbrengst circa 10 % overschat. Waarschijnlijk een gevolg van de lagere temperaturen in het vroege voorjaar, waardoor de bloei is vervroegd en het gewas sneller dan in de simulatie in de fase met de lagere efficiëntie terecht is gekomen. In het model is beperkt rekening gehouden met dit effect van vernalisatie (zie 3.1.4.). Het lijkt zinnig om in verdere studies aan Crambe de invloed van temperatuur op ontwikkeling nader te onderzoeken en ook te kijken of er rasverschillen zijn op dit punt. De overige gesimuleerde zaadopbrengsten benaderen de gemeten waarden goed. Ook de totale drogestofopbrengsten van tussentijdse- en eind oogsten worden goed gesimuleerd. Die overeenstemming tussen metingen en simulatie is te verwachten, omdat de functies en parameters in het model afgeleid zijn uit proef 1146.

Door het ontbreken van uitgebreidere data-sets is een beperkte evaluatie van het model uitgevoerd aan de hand van proeven van CPRO-DLO en PAGV en van een praktijkperceel. Het praktijkgewas Crambe is in 1993 geteeld in Slijk-Ewijk (Bijlage I). De zaadopbrengst is zowel na machinale als na handmatige oogst bepaald. In 1994 zijn in Lelystad door het CPRO en door het PAGV Crambe-proeven (van Dijk et al., 1994) op verschillende tijdstippen gezaaid.

Totale drogestof (ton ha⁻¹)

Figuur 5 Gemeten (symbolen) en gesimuleerde (lijnen) drogestofproductie van Crambe-gewassen bij drie zaaitijden in proef 1146. Zie Figuur 2 voor de betekenis van de symbolen.

Deze proeven zijn allemaal met proefveldoogstmachines geoogst. In alle gevallen is het ras Bel Ann gebruikt. Dit ras heeft een zaadopbrengst die ca. 5 % hoger is dan die van Bel Enzian, het ras waarop het model is geparаметeriseerd (pers.med. Mastenbroek). De HIG is in de simulaties om die reden met 5 % verhoogd. In het geval dat geen opkomstdatum is bepaald, is deze berekend met een temperatuursom van 120 °Cd (basis 0 °C) vanaf de zaaidatum. Wanneer het aantal planten bij opkomst niet bekend was, is de modelparameter gebruikt (NPL=112).

De belangrijkste gemeten en gesimuleerde resultaten van de genoemde gewassen staan in Tabel 4. In alle gevallen wordt de zaadopbrengst door het model overschat. De mate waarin verschilt per gewas: de opbrengsten van Slijk-Ewijk en het CPRO resp. 32 en 15 %, die van het PAGV resp. 64, 60, 65 en 153 %.

De teeltduur van opkomst tot oogst wordt in de meeste gevallen redelijk goed geschat (afwijking kleiner dan 10 %), maar met name bij de laatste twee zaaitijden van de PAGV-gewassen is de afwijking groot tot zeer groot (11 en 25 %). De teeltduur van opkomst tot begin houwvorming wordt in de meeste gevallen iets overschat, maar is met een afwijking van maximaal 7 % en gemiddeld 3 % gering.

Een deel van de verklaring van het verschil tussen modeluitkomsten en praktijkopbrengsten, die geldt voor elk van de hier getoetste gewassen, is het verschil tussen handmatig uitgevoerde proefoogsten (de basis van het model) en machinaal oogsten (van de getoeste gewassen). Machinaal oogsten geeft altijd grotere verliezen. Daarnaast zorgen de weers- en/of veldomstandigheden er soms voor dat een oogst wordt uitgesteld en de verliezen nog groter worden. Dat was met name het geval in 1993 in Slijk-Ewijk: de machinale oogst vond 16 dagen later plaats dan de handmatig uitgevoerde proefoogst in hetzelfde gewas op het moment van zaadrijpheid. De zaadopbrengst bij de proefoogst was 8 % hoger dan de opbrengst bij machi-

nale oogst. Het gewas in Slijk-Ewijk was goed ontwikkeld en gezond gedurende een groot deel van de groeiperiode, maar ongeveer halverwege de periode van houwvorming werd het gewas aangetast door *Sclerotinia* en *Botrytis*, waardoor er versnelde afrijping plaats vond en veel zaden loos bleven.

De zaadopbrengsten van het CPRO zijn bepaald aan veldjes van 6 m². Bij de oogst zijn geen randrijen onderscheiden waardoor de gemeten opbrengsten waarschijnlijk aan de hoge kant zijn in vergelijking met opbrengsten afkomstig van netto-velden.

De modeluitkomsten van de PAGV-gewassen wijken het sterkst af van de gemeten resultaten. Om de oorzaak van de afwijking op te sporen zijn de geteelde gewassen en de simulatie met elkaar vergeleken op het punt van ontwikkeling, harvest index, totale drogestofproductie, het verloop van de fractie interceptie en de RUE.

De teeltduur van de vroegste twee zaaidata wordt goed geschat, die van de laatste twee wordt sterk overschat. Deze overschatting zit in de periode van houwvorming, die bij de derde en vierde zaaitijd in werkelijkheid 30 en 23 dagen duurde en niet 40 en 41 dagen zoals in de simulatie. Waarschijnlijk hebben de extreem hoge temperaturen tijdens de periode van houwvorming de ontwikkeling van het gewas versneld en heeft het gewas gedurende die periode aanmerkelijke stress ondervonden, waardoor de simulatie die is gebaseerd op ongestoorde groei, sterk afwijkt van de gemeten opbrengst. De ontwikkeling van de gewassen van de eerste twee zaaitijden die bij normale temperaturen zijn gegroeid wordt door het model wel goed geschat. Desondanks is de gesimuleerde zaadopbrengst ruim 60 % te hoog.

De zaadopbrengst wordt in het model via een vaste harvest index uit de totale drogestofproductie berekend. De harvest index van de geteelde PAGV-gewassen varieerde van 0,29 tot 0,43 wat vooral werd veroorzaakt door variatie in de totale drogestofproductie. Uit eigen proeven en uit proeven van het CPRO (diverse jaren, rassen, dichtheden) blijkt juist een erg vaste harvest index. Omdat de opbrengst zaad van een groot oppervlak (35 m²) en de totale drogestofopbrengst van een klein oppervlak (0,25 m²) is vastgesteld, is het waarschijnlijk dat deze laatste opbrengsten minder betrouwbaar zijn en daarmee de gevonden variatie in harvest index verklaren.

Tabel 4 De gemeten (M) en gesimuleerde (S) teeltduur in dagen van opkomst tot begin houwvorming en tot oogst en de zaadopbrengsten van diverse Crambe-gewassen geteeld in 1993 en 1994. Slijk-Ewijk is een praktijkgewas, CPRO en PAGV zijn proefgewassen geteeld in Lelystad. De gemeten zaadopbrengsten zijn bepaald na machinale oogst en zijn omgerekend naar 100 % drogestof. Het geteelde ras is Bel Ann.

omschrijving	jaar	dagnummer		aantal dagen van opkomst tot:				zaad (ton ha ⁻¹)	
		zaai	opkomst	begin houw		oogst		M	S
				M	S	M	S		
Slijk-Ewijk	1993	105	115 (s)	56	59	118	109	2,47	3,27
CPRO	1994	124	130 (s)	61	62	104	100	2,84	3,55
PAGV	1994	111	121	64	65	101	102	2,10	3,45
		119	127	58	62	95	100	2,15	3,45
		133	141	58	58	88	98	2,02	3,32
		144	153	53	54	76	95	1,29	3,27

Een andere belangrijke produktiebepalende factor is het verloop van de fractie interceptie. Wanneer de toename daarvan in werkelijkheid langzamer verloopt dan het model simuleert, dan wordt in het model de totale hoeveelheid onderschepte straling overschat en daarmee de hoeveelheid drogestof en de zaadopbrengst. In de proeven is niet de lichtonderschepping gemeten maar de bodembedekking geschat. In het vervolg wordt aangenomen dat deze aan elkaar gelijk zijn. Als referentiepunt voor de vergelijking is de dag gekozen waarop bij de vier zaaitijden de bedekking 90 % of hoger is geschat (respectievelijk 93, 95, 95 en 90 %). Dezelfde lichtonderschepping wordt door het model 21 tot 27 dagen eerder bereikt. De geschatte bedekking van het CPRO-gewas dat onder vergelijkbare omstandigheden is geteeld, wordt wel goed gesimuleerd. Dat doet vermoeden dat elk van de vier PAGV-gewassen op één of andere wijze geremd is in de bladontwikkeling. Mogelijk is het gebruik van de bodemherbiciden Stomp en Ramrod daarvan de oorzaak. PAGV-proeven uit 1993 laten een reductie van de zaadopbrengst van 13 % zien bij gebruik van deze middelen op klei. Bovendien werd vanaf de vroegste waarneming lichte schade aan het gewas geconstateerd (Van Dijk et al., 1993).

Met dezelfde formule en uitgangspunten die zijn gebruikt voor het fitten van de modelparameter R_0 voor de beschrijving van FINTL (formule 3), is een R_0 gefit voor de waargenomen bedekking als functie van de temperatuursom (basis=5 °C). Door de data van de vier zaaitijden van de PAGV-proef is één curve gefit. Met de gevonden R_0 ($2,06 \cdot 10^{-2} \text{ °C dag}^{-1}$) is het model nogmaals gedraaid. De afwijking van de gesimuleerde zaadopbrengsten ten opzichte van de gemeten opbrengsten is dan voor zaaitijd 1 t/m 4 respectievelijk 28, 25, 30 en 104 %. De vierde zaaitijd blijft daarmee sterk afwijken van de eerste drie zaaitijden.

Op basis van bovenstaande berekeningen kan geconcludeerd worden dat onder normale omstandigheden het verloop van de ontwikkeling en lichtonderschepping van een gewas Crambe goed gesimuleerd wordt. De zaadopbrengsten worden consequent ca. 30 % te hoog berekend. Dat houdt verband met de wijze van oogsten maar ook met het feit dat in de praktijk gewassen vrijwel nooit groeien zonder enig moment enige vorm van stress te ondervinden.

4. Crambe en koolzaad als erucazuur-producenten

4.1. Materiaal en methoden

Erucazuur kan zowel geproduceerd worden door Crambe als door erucazuur-rijk koolzaad. Welk van de twee gewaskundig het meest efficiënt is voor de produktie van erucazuur en waarom, is geanalyseerd door de belangrijkste eigenschappen voor de gewasgroei van beide gewassen te vergelijken. Voor de analyse is gebruik gemaakt van het in hoofdstuk 3 beschreven CRAMBE-model en van de resultaten van veldproeven met winterkoolzaad (ras Jet Neuf) die in 1988/89 en 1989/90 zijn uitgevoerd door Habekotté op proefboerderij "De Bouwing" te Randwijk (Habekotté et al., 1992). De proeven waarop het CRAMBE-model is gebaseerd zijn in 1991 uitgevoerd op dezelfde proefboerderij. In beide koolzaadproeven heeft een volledige gewasanalyse plaatsgevonden, waren de gewassen vrij van ziekten en plagen en zijn ze zonodig berekend. Voor de vergelijking met Crambe zijn de resultaten van de standaard-behandelingen gebruikt (resp. exp1, behand2, oogst 14 en exp2, behand1, oogst 7) Voor koolzaad is aangenomen dat de gewas- en zaadproduktie van Jet Neuf overeenkomen met het recent geïntroduceerde erucazuur-ras Ascari. Het oliepercentage is van het ras Ascari en de erucazuurpercentages zijn gebaseerd op binnenkort haalbare waarden (pers.med. dr.Klein). Het CRAMBE-model is toegepast met weerdata van Wageningen van 1989 en 1990, de jaren waarin de koolzaadproeven zijn geoogst. Er is gesimuleerd met opkomst-dag 121 (1 mei).

4.2. Resultaten en discussie

In 1989 is de gesimuleerde biomassa van Crambe 84 % en in 1990 71 % van de gemeten biomassa van koolzaad. De gesimuleerde zaadopbrengst is in beide jaren resp. 82 % en 98 % van de gemeten koolzaadopbrengst. Het product van olie- en erucazuurpercentage van Crambe en koolzaad is resp. 21 % en 20 %, zodat de opbrengst aan erucazuur van Crambe per kg zaad 5 % lager is dan die van koolzaad. De lagere zaadopbrengst en de lagere erucazuuropbrengst per kg zaad resulteren in een erucazuuropbrengst van Crambe die in 1989 en 1990 resp. 77 % en 91 % is van die van koolzaad (Tabel 5).

Het voorjaar van 1990 was warmer dan dat van 1989, waardoor koolzaad in 1990 vroeger een gesloten gewas vormde. De afsterving vond in beide jaren vrijwel gelijktijdig plaats, zodat de totale hoeveelheid onderschepte straling en daarmee de biomassa-productie in 1990 hoger was dan in 1989 (Fig. 6 en 8). De biomassa van Crambe is vanwege de hoge temperaturen in 1990 juist lager dan in 1989. Crambe komt dan sneller in de fase van houwvorming, en daarmee in de fase van een lage RUE. De totale groeiduur wordt eveneens bepaald door een temperatuursom, maar die is in beide jaren nauwelijks verschillend (Fig. 6, 7 en 8).

De hoeveelheid onderschepte straling door koolzaad is gemeten vanaf de eerste drogestof-oogst in het voorjaar. Op dat moment was in 1989 en in 1990 al resp. 1,4 en 4,1 ton drogestof aanwezig. Door de punten in Figuur 8 is voor beide jaren een lineaire regressie gefit en geëxtrapoleerd naar 0 ton drogestof per ha. De cumulatieve hoeveelheid onderschepte straling vanaf dit punt tot de laatste oogst komt daarmee op 789 MJ m⁻² in 1989 en 917 MJ m⁻² in 1990. Gerekend met deze stralingssom is de geabsorbeerde straling door koolzaad hoger dan die van Crambe.

Tabel 5 De opbrengst aan biomassa, zaad in- en exclusief houwwand, olie en erucazuur van winterkoolzaad (Jet Neuf) en Crambe (Bel Enzian) in 1989 en 1990. De biomassa is omgerekend naar gemiddelde gewassamenstelling (Green Crop Units) vanwege de hogere koolhydraatbehoefte voor de productie van oliehoudend zaad. Het olie- en erucazuurpercentage van koolzaad is niet gemeten en daarom hier vervangen door waarden van respectievelijk het ras Ascari en binnenkort haalbare gehaltenes.

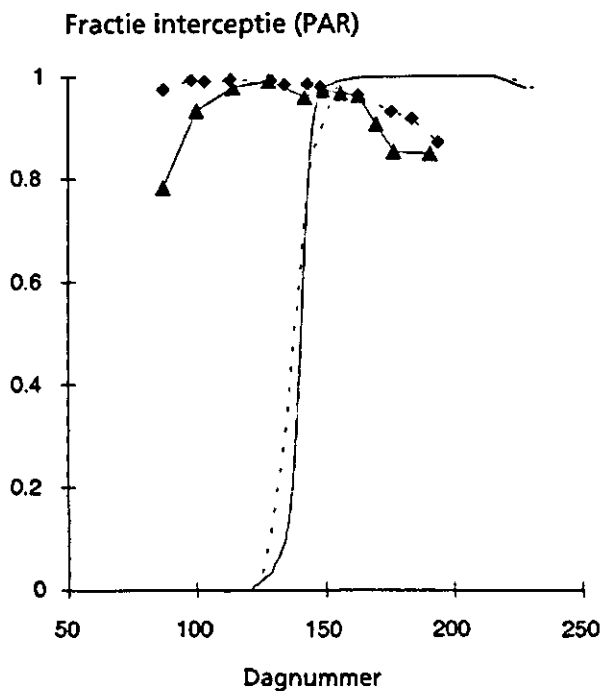
	biomassa GCU (ton ha ⁻¹)	zaad +/- houwwand		olie		erucazuur	
		+	-	%	(ton ha ⁻¹)	%	(ton ha ⁻¹)
koolzaad proeven							
1989	15.8	7.04	4.62	41	1.89	52	0.98
1990	17.7	7.32	3.64	41	1.49	52	0.78
Crambe simulatie							
1989	13.3	3.79	-	36	1.36	55	0.75
1990	12.5	3.58	-	36	1.29	55	0.71

De RUE van koolzaad tijdens de vegetatieve fase is op basis van geabsorbeerde straling lager dan die van Crambe. Het grote verschil in drogestofopbrengst wordt echter vooral veroorzaakt door de lage RUE van Crambe gedurende de fase van houwvorming. Waarschijnlijk doordat een aanmerkelijk deel van de straling bij Crambe wordt opgevangen door minder efficiënt producerende gewasdelen (Kreuzer et al., 1995). Als de RUE van Crambe net als bij koolzaad pas zou afnemen bij een CINT van ca. 600 MJ m⁻² in plaats van de ca. 400 MJ m⁻² nu, dan zou de zaadopbrengst 1,08 ton ha⁻¹ hoger zijn.

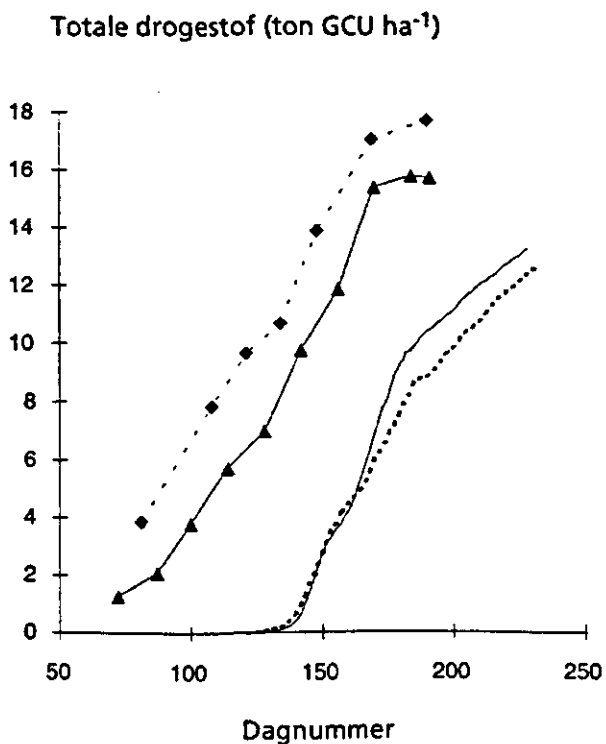
De zaadopbrengst van Crambe wordt in het model bepaald door de totale biomassa: hoe groter de biomassa hoe groter de zaadopbrengst. Uit de proefresultaten van koolzaad blijkt een minder vaste verdeling tussen biomassa en zaadopbrengst. In Tabel 5 staat de biomassa uitgedrukt in green crop units (GCU). Als ook het zaad wordt omgerekend naar GCU's (= drogestof zaad · 1,4) dan is de gecorrigeerde harvest index (HIG) van koolzaad 41 % in 1989 en 29 % in 1990. Crambe heeft een HIG van 40 % in beide jaren (modelparameter). De zaadopbrengst en het oliepercentage van Crambe worden bepaald aan zaad inclusief houwwallen, die van koolzaad aan zaad exclusief houwwallen. Als deze ook bij de berekening van de HIG van koolzaad worden betrokken, dan wordt die 58 % in 1989 en 50 % in 1990. Veel hoger dus dan die van Crambe.

Een mogelijke oorzaak van het verschil in HIG tussen Crambe en koolzaad is het verschil in houwoppervlakte. Dat van koolzaad is maximaal 2 m² per m² grond (Habekotté et al., 1992), van Crambe 0,5 (Kreuzer et al., 1995). Crambe maakt ca. 50.000 zaden per m², koolzaad 100.000. Per zaadje is daarmee voor Crambe maximaal 0,1 cm² en voor koolzaad 0,2 cm² houwoppervlak beschikbaar. Bij koolzaad is de houw in de vullingsperiode de belangrijkste bron van assimilatie. Wanneer dat ook bij Crambe het geval is, dan vormt het geringe houwoppervlak mogelijk een beperking voor de zaadproductie.

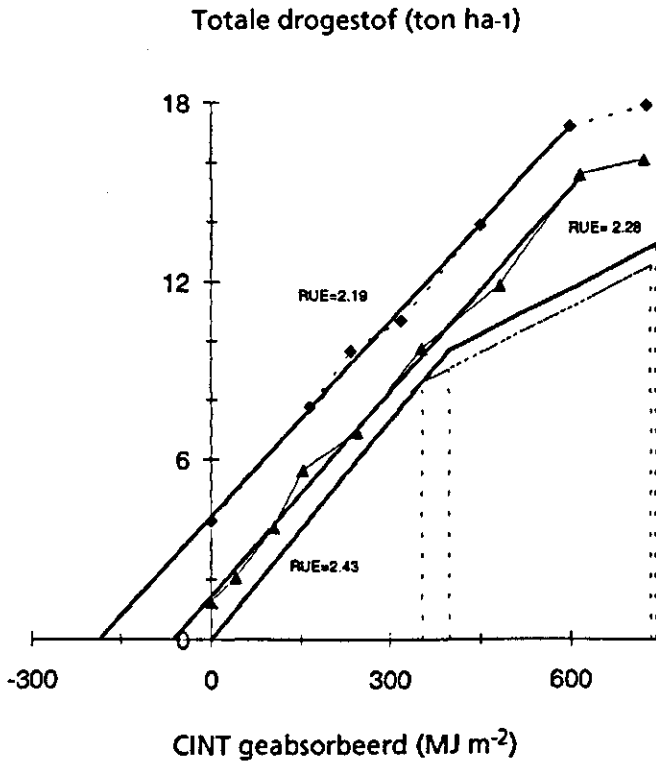
De periode van het jaar waarin de houw aanwezig zijn is voor koolzaad ook gunstiger dan voor Crambe. Koolzaad houw zijn er van begin juni tot half juli, dus rond de langste dag. De eerste Crambe houwjes komen begin juli en het maximum aantal wordt ongeveer 50 dagen later bereikt (Fig. 9a en b).



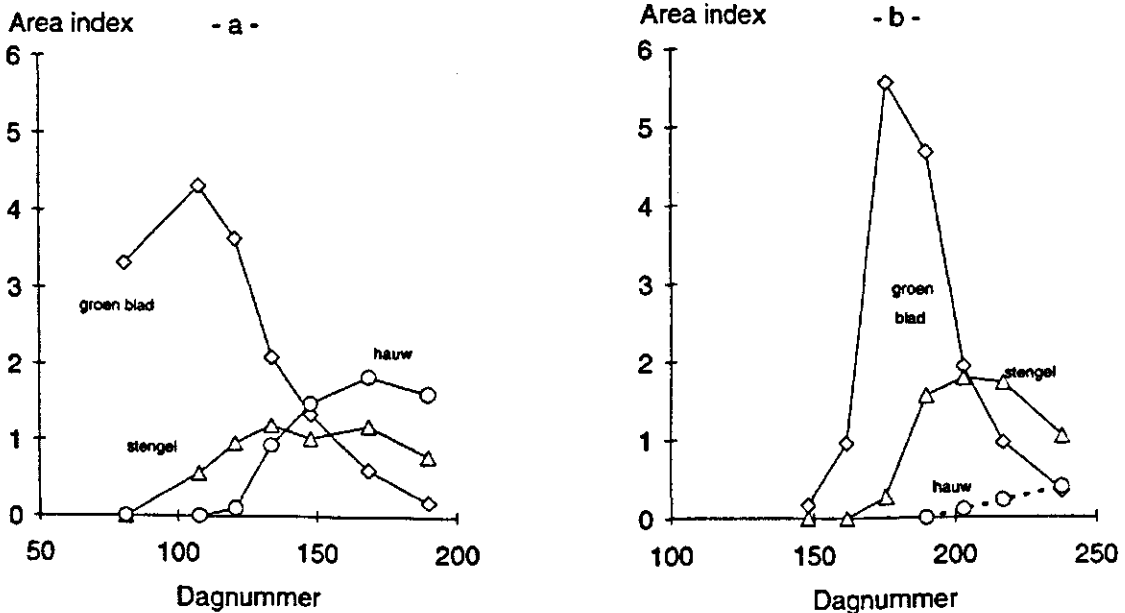
Figuur 6 De gemeten fractie interceptie van koolzaad (symbolen) en de gesimuleerde fractie interceptie van Crambe (geen symbolen) in 1989 (—) en 1990 (- - -).



Figuur 7 De gemeten drogestof productie van koolzaad (symbolen) en de gesimuleerde drogestof-productie van Crambe (geen symbolen) in 1989 (—) en 1990 (- - -). De opbrengsten zijn omgerekend naar gemiddelde gewassamenstelling (GCU).



Figuur 8 De gemeten drogestofproductie van koolzaad (symbolen) en de gesimuleerde drogestofproductie van Crambe (geen symbolen) in 1989 (—) en 1990 (- - -), uitgezet tegen de geabsorbeerde cumulatieve onderschepte straling (CINT). Door de punten van koolzaad is een lineaire regressie gefit.



Figuur 9 De area index van groen blad, stengel en hauw van koolzaad (a) en Crambe (b). De area index van Crambe hauen is geschat, de overige indices zijn gemeten waarden.

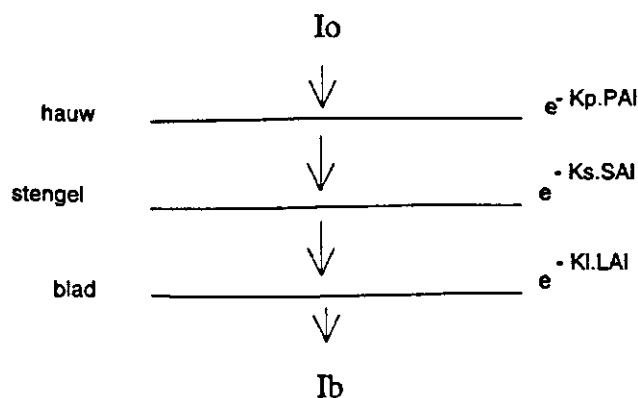
Samenvattend kan gesteld worden dat de erucazuuropbrengst van winterkoolzaad in beide proefjaren hoger was dan die van het zomergewas Crambe. De belangrijkste reden daarvoor is de lage drogestofproductie per hoeveelheid opgevangen straling gedurende de hele fase van houwvorming van Crambe.

5. Discussie en conclusies

Nadat bij *Crambe* de houwvorming begint, neemt de efficiëntie waarmee licht in drogestof wordt omgezet met bijna 60% af. Bij koolzaad wordt een duidelijke afname van de RUE pas aan het einde van de teelt gevonden als de hawen gaan verkleuren en de zaden bijna rijp zijn (Fig. 8). Bij hennep, een gewas dat eveneens oliehoudende zaden produceert, wordt ook een afname van de RUE gevonden na de bloei maar de afname is kleiner (Meijer et al., 1994).

De scherpe daling van de RUE na het begin van de zetting kan samenhangen met de wijze waarop de RUE wordt berekend. De RUE is een rekenkundige resultante van de totale drogestof en de cumulatieve interceptie. In proef 1146, de basis voor de modelberekeningen, is de totale drogestof gemeten door het gewas bij de grond af te knippen en te drogen. Het is mogelijk dat een deel van het blad dat eerder gedurende het groeizeizoen is gevormd, al weer is afgevallen en verteerd en daardoor niet wordt meegemeten in de totale drogestof bepaling. De hoeveelheid blad die gedurende de teelt wordt verloren is geschat uit proef 1145, waar het gewas bij de tussentijdse oogsten in verschillende gewasonderdelen is gesplitst. Bij het begin van de bloei was de hoeveelheid blad nog maximaal (ca. 1,8 ton ha⁻¹), bij de eind oogst was deze gedaald tot 0,6 ton ha⁻¹. Als in deze proef bij de eind oogst met de maximale hoeveelheid blad wordt gerekend, dan neemt de totale hoeveelheid drogestof met 16 % toe. Dat betekent een stijging van 0.9 naar 1.04 van de RUE, nog steeds ongeveer de helft van de RUE voor begin zaadzetting.

De cumulatieve interceptie is afgeleid uit de fractie interceptie (formule 1). Deze wordt berekend uit gemeten waarden van de invallende PAR boven het gewas (I_0) en gemeten waarden van de hoeveelheid PAR die onder het gewas nog de grond bereikt (I_b), volgens $FINT = 1 - (I_b/I_0)$. De aldus berekende interceptie neemt vanaf begin houwvorming slechts weinig af van 1 tot circa 0,9. De samenstelling van het gewas verandert in die tijd echter belangrijk. Vóór de bloei bestaat het gewas vooral uit groen blad. Bij begin bloei zijn er vooral groen blad en groene stengels. En tijdens de fase van houwvorming neemt de hoeveelheid groen blad af tot bijna nul, blijft de hoeveelheid stengel gelijk en neemt de hoeveelheid hawen toe (Fig. 9a). Waarschijnlijk is de efficiëntie van blad, stengels en hawen verschillend door de andere morfologische samenstelling van de organen en verschilt de extinctiecoëfficiënt door de andere stand ten opzichte van het invallende licht (Kreuzer et al., 1995).



Figuur 10 Schematische voorstelling van de lichtonderschepping door een gewas *Crambe*.

Op grond van de gemeten interceptie en de oppervlaktes van blad en stengel zoals vastgesteld in proef 1145, en de hauwoppervlaktemetingen in kasproef 1993 (Bijlage I) is een schatting gemaakt van de extinctiecoëfficiënt van de verschillende gewasonderdelen. Een Crambe-gewas is schematisch voorgesteld als zou het bestaan uit een laag blad, een laag stengels en een laag hauwen. Elke laag heeft zijn eigen dikte en extinctiecoëfficiënt, die samen bepalen hoeveel licht er door het gewas gaat (Fig. 10). Een maat voor de dikte van de bladlaag is de LAI (= Leaf Area Index; m² blad per m² grond). Naar analogie daarvan is voor de stengellaag een SAI (= Stem Area Index) en voor de hauwen een PAI (= Pod Area Index) geïntroduceerd. Als een gewas uit alleen blad bestaat, is de relatie tussen interceptie en LAI de volgende:

$$(13) \quad \text{FINT} = 1 - (I_b/I_0) = 1 - e^{-K_l \cdot \text{LAI}}$$

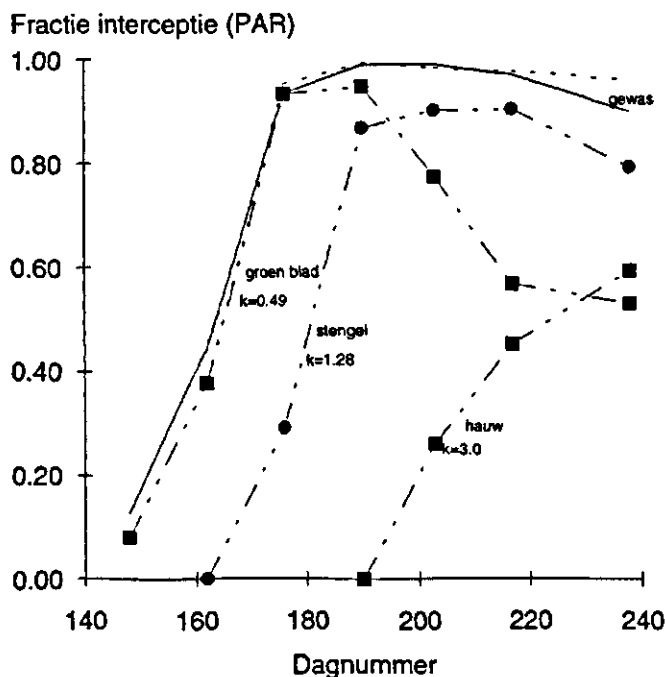
waarin K_l de extinctiecoëfficiënt voor blad is. Dezelfde relaties kunnen voor de stengellaag en de hauwlaag worden opgesteld. De relaties tussen de drie lagen en de interceptie kan als volgt worden geformuleerd:

$$(14) \quad \text{FINT} = 1 - (I_b/I_0) = 1 - (e^{-K_l \cdot \text{LAI}} \cdot e^{-K_s \cdot \text{SAI}} \cdot e^{-K_p \cdot \text{PAI}})$$

De extinctiecoëfficiënt van het blad is bepaald uit de eerste oogsten waar alleen blad is gevonden. De oogsten met blad en stengel in het gewas en de eerder gevonden K_l zijn gebruikt om K_s te berekenen. Op analoge wijze is K_p berekend uit de laatste oogsten. Per oogst werden verschillende waarden voor K_l , K_s en K_p gevonden. Via optimalisatie met Genstat zijn de best passende K 's geschat, uitgaande van een K_l van 0,5. De gevonden waarden voor K_s en K_p zijn respectievelijk 1,3 en 3,0. Met de gevonden k -waarden en de gemeten groene oppervlaktes is het verloop van de interceptie door elk gewasonderdeel berekend alsof er geen andere gewasonderdelen aanwezig waren. Ook is de gehele gewasinterceptie berekend (Fig. 11).

Bij de berekening van de fractie interceptie is geen rekening gehouden met gewasreflectie. Dat is niet ongebruikelijk bij de berekeningen van de RUE, maar het is mogelijk dat tijdens de bloei van Crambe een meer dan een normale hoeveelheid licht wordt gereflecteerd. I_0 wordt in dat geval te hoog gewaardeerd en daarmee ook de cumulatieve interceptie. Bij metingen in een bloeiend gewas Crambe is een lichtreflectie van 10 % vastgesteld. Een vuistgetal voor de reflectie van een groen gewas is eveneens 10 % (Goudriaan, 1977). De bloei van Crambe is daarmee geen factor van betekenis voor de lage RUE tijdens de fase van hauwvorming.

De basistemperatuur voor de ontwikkeling van Crambe is 0 °C, die voor het lichtonderscheppend vermogen 5 °C. Het verschil in basistemperatuur voor beide processen heeft consequenties voor de drogestofproductie als de temperaturen beneden 5 °C komen. Immers dan staat de bladontwikkeling stil, terwijl de ontwikkeling doorgaat (en zelfs sneller verloopt als er werkelijk sprake is van vernalisatie). De totale hoeveelheid onderschepte straling wordt daarmee kleiner, juist in een periode dat de RUE het grootst is. Met een genotype waarin die basistemperatuur voor lichtonderschepping 0 °C is, zou bij lage temperaturen in het voorjaar een potentieel hogere productie mogelijk moeten zijn.



Figuur 11 De berekende fracties lichtonderschepping (gestippelde lijnen met symbolen) door groen blad, stengels en hauwen van *Crambe* op grond van gemeten oppervlaktes en schattingen van de extinctiecoëfficiënt. De fractie interceptie van elk gewasonderdeel is berekend alsof er op dat moment geen andere gewasonderdelen zijn en de fractie interceptie van het totale gewas (gestippelde lijnen zonder symbolen) is berekend volgens formule 14 (zie tekst). De extinctiecoëfficiënten (k) zijn geschat op basis van de gemeten fractie interceptie van het gewas en de gemeten oppervlaktes van elk gewasonderdeel (Proef 1145).

Om deze stelling te toetsen is een hypothetisch modelgewas gemaakt op de volgende wijze. In proef 1146 zijn op drie tijdstippen gewassen gezaaid. De derde zaai was zo laat (opkomst dag 143) dat er zich gedurende de teelt geen dagen met temperaturen beneden $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ voordeden. In dat geval kan de lichtonderschepping net zo goed tegen een temperatuursom met basis $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ als met basis $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ worden beschreven. Het enige wat dan verandert is de grootte van parameter R_0 . Gefit tegen een temperatuursom met basistemperatuur van $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ werd een R_0 van $0,0311\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{dag}^{-1}$ (99.5% verklaard) gevonden en een R_0 van $0,017427\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}\text{dag}^{-1}$ (99.7% verklaard) bij een basistemperatuur van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Met het echte gewas en met het hypothetische gewas zijn vervolgens drie zaaitijden gesimuleerd (opkomstdagen als Proef 1146). Uit de simulatieresultaten blijkt dat met een dergelijke gerichte verbetering van het gewas de potentiële opbrengst bij vroeg zaaien (opkomst dag 101) zo'n 14% toeneemt (Tabel 7).

Tabel 7 De gesimuleerde cumulatieve interceptie (CINT), totale drogestofopbrengst (WDM), houw-opbrengst (WPO) en het aantal dagen van opkomst tot begin houwvorming (fase 1) en van begin houwvorming tot eindooft (fase 2) van twee Crambe-gewassen op drie uiteenlopende opkomstdagen (DAYEM) in 1991. De parameter R0 voor het verloop van FINTL (zie 2.1.) van het normale gewas is bepaald op grond van de interceptiegegevens van zaaitijdstip 3 van proef 1146 bij een temperatuursom met een basistemperatuur (TBASE) van 5 °C; die van het hypothetische gewas op basis van een temperatuursom met een basis van 0 °C. De overige modelparameters zijn niet gewijzigd.

DAYEM	TBASE (°C)	R0 (°C ⁻¹ dag ⁻¹)	CINT (MJ m ⁻²)	WDM (ton ha ⁻¹)	WPO (ton ha ⁻¹)	aantal dagen	
						fase 1	fase 2
normaal gewas							
101	5	0,0311	302	8,68	2,80	86	42
121	•	•	296	8,53	2,75	73	44
143	•	•	296	8,62	2,78	62	44
hypothetisch gewas							
101	0	0,00174	372	9,90	3,19	86	42
121	•	•	332	9,07	2,93	73	44
143	•	•	296	8,48	2,74	62	44

Op grond van de simulaties in dit verslag zijn de volgende conclusies getrokken:

1. Indien het model wordt gebruikt onder normale Nederlandse omstandigheden en de zaaidatum niet extreem vroeg of laat wordt gekozen, wordt de groei, ontwikkeling en potentiële productie van Crambe goed geschat.
2. Gerealiseerde opbrengsten zijn onder overigens goede omstandigheden al gauw zo'n 30 % lager dan potentieel mogelijk is. Wordt het gewas geteeld onder minder optimale omstandigheden, bijvoorbeeld op droogtegevoelige zand- en dalgronden of treden ziekten op, dan kunnen praktijkopbrengsten nog lager uitvallen.
3. Het model kan een nuttig instrument zijn bij de analyse van de resultaten van praktijk- en proefgewassen, als minimaal de volgende waarnemingen aan het gewas worden gedaan:
 - datum van zaai, opkomst, begin houwvorming, rijp zaad, oogst;
 - het wekelijks verloop van opkomst tot sluiting van de grondbedekking door het gewas (beter: de lichtinterceptie meten);
 - zaadopbrengst en vochtpercentage van het zaad (beter: plus de totale opbrengst drogestof bij begin houwvorming en bij zaadrijpheid);
 - dagelijkse minimum en maximum temperatuur en globale straling van een nabij gelegen weerstation (beter: plus dagelijkse neerslag).
4. Potentieel zijn hogere opbrengsten met Crambe mogelijk bij genotypen zonder basistemperatuur voor bladontwikkeling.
5. De erucazuuropbrengst van winterkoolzaad was in twee proefjaren hoger dan de gesimuleerde opbrengst van Crambe in diezelfde jaren. De belangrijkste reden daarvoor is de lagere lichtbenutting gedurende de hele fase van houwvorming van Crambe.

Literatuur

- Dijk, N. van & G. Borm, 1994.
Teeltproeven Crambe 1993. PAGV, Interne mededeling 1061, 114 pp.
- Dijk, N. van & G. Borm, 1994.
Teeltproeven Crambe 1994. PAGV, Interne mededeling 1117, 42 pp.
- Genstat 5 Committee, 1987.
Genstat 5. Reference manual. Clarendon Press, Oxford, 749 pp.
- Goudriaan, J. 1977.
Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen.
- Habekotté, B. & H. Smid, 1992.
Growth analysis and pod and seed set of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.).
Experimental results. Verslag 166, CABO-DLO, Wageningen, 74 pp.
- Kooman, P.L., M. Fahem, P. Tegera, & A.J. Haverkort, 1995.
Genotype-environment interaction in potato 1: Light interception, total dry matter production and tuber yield. In thesis: Yielding ability of potato crops as influenced by temperature and daylength, 49-70.
- Kooman, P.L. & C.J.T. Spitters, 1995.
A coherent set of models to simulate potato growth. In thesis: Yielding ability of potato crops as influenced by temperature and daylength, 8-31.
- Kraalingen, D.W.G. van, 1991.
The FSE system for crop simulation, 1995. Wageningen, Simulation Report Cabo-TT, 23, 77 pp.
- Kreuzer, A.D.H., 1993.
De invloed van daglengte en temperatuur op de ontwikkeling van zeven oliezaadsoorten. Verslag 180, CABO-DLO, Wageningen, 18 pp.
- Kreuzer, A.D.H., E.W.J.M. Mathijssen & W.J.M. Meijer, 1995.
Gewasgroei en zaadvorming van Crambe. Experimenteel onderzoek 1990-1993. Verslag in prep, AB-DLO, Wageningen.
- Küchler, M., 1963.
Der Einfluss klimatischer Faktoren auf den Entwicklungsverlauf von Krambe (*Crambe abyssinica* Hochst). Albrecht Thaer Archiv 7 (4), 355-365.
- Meijer, W.J.M., H.D. Mastebroek & E.W.J.M. Mathijssen, 1994.
Influence of temperature and radiation on components of seed yield in Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst.) In: S. Hennink, L.J.M. van Soest, K. Pithan & L. Hof (Eds.). Alternative oilseed and fibre crops. EU-COST, Brussels, 122-129.
- Meijer, W.J.M., H.M.G. van der Werf, E.W.J.M. Mathijssen & P.M.W. van den Brink, 1995.
Constraints to dry matter production in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). European Journal of Agronomy 4, 109-118.
- Monteith, J.L., 1969.
Light interception and radiative exchange in crop stands. In: J.D. Easton, F.A. Haskins, C.Y. Sullivan & C.H.M. van Bavel (Eds.). Physiological aspects of crop yield. American Society of Agronomy, Madisin, Wisconsin, 89-111.
- Oijen van, M., 1994.
Groeimodellen. Natuur & Techniek 62(4), 281-291.
- Penning de Vries, F.W.T., 1983.
Modeling of growth and production. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol.12D. Springer Verlag, Berlin, 117-150.
- Penning de Vries, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge & A. Bakema, 1989.
Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29. Pudoc, Wageningen, 271 pp.
- Spitters, C.J.T., 1987.
An analysis of variation in yield among potato cultivars in terms of light absorption, light utilization and dry matter partitioning. Acta Horticulturae, 214, 71-84.

Spitters, C.J.T., 1990.

Crop growth models: their usefulness and limitations. *Acta Horticulturae* 267, 349-368.

Steg, A., V.A. Hindle & Yong-Gang Liu, 1994.

By-products of some novel oil-seeds for feeding: Laboratory Evaluation. In thesis: Crambe meal: evaluation, improvement and comparison with rapeseed meal, 27-38.

Rode, J.C., G. Gosse & M. Chartier, 1983.

Vers une modelisation de la production de graines du colza de printemps. *Information Techniques CETIOM* 82, 10-20.

Bijlage I

Proefschema's en behandelingen van diverse proeven met Crambe

Tabel 1. Doel, behandelingen, zaaitijdstip en plantdichtheid van de Crambe-proeven in 1990, 1991 en 1993

Proef	Jaar	Doel en behandelingen	Zaaitijdstip (dagnr.)	Gerealiseerd aantal planten / m ²
Kas '90	1990	Plantontwikkeling onder geconditioneerde omstandigheden		
		13/10 °C (D/N**)	334	*
		18/14 °C (D/N)	334	*
		23/17 °C (D/N)	334	*
1147	1991	Gewasontwikkeling in het veld		
		Z1 = vroege zaai	88	46
		Z2 = late zaai	122	128
1145	1991	Gewasanalyse en mechanisme van de zaadvorming		
		B1 = 25 cm rijenafstand	101	51
		B2 = 12,5 cm rijenafstand (=standaard)	101	63
		B3 = deel blad verwijderd	101	62
		B4 = deel bloemen verwijderd	101	63
1146	1991	Lichtinterceptie en drogestofproductie		
		Z1 = vroege zaai	88	65
		Z2 = normale zaai	101	79
		Z3 = late zaai	133	129
Slijk-Ewijk	1993	Drogestof en zaadproductie Praktijkgewas	105	*
Kas '93	1993	Aantal en doorsnede hauwen in de tijd	172	110

* niet bepaald of niet van toepassing

** dag-/nachttemperatuur

Tabel 2. Proefschema, aantal parallellen, veldgrootte en proeffactoren van de *Crambe*-proeven in 1990, 1991 en 1993

Proef	Proefschema	Aantal parallellen	Bruto veld (m ²)	Netto veld (m ²)	Factoren
Kas '90	Split-split-plot proef	1	0,8*0,8	0,8*0,8	Temperaturen (3) * Daglengten (2) * Soorten (7)
1147	Split - plot proef	1	12,4*12,0	8,0*1,5	Soorten (6) * Zaaitijden (2)
1145	Blokkenproef	4	3,0*3,0	1,0*1,0	Behandelingen (4) * Oogsttijden (7)
1146	Split - plot proef	4	4,0*3,0 (01 t/m 3) 6,0*3,0 (04 t/m 6)	1,0*1,0 3,0*1,0	Zaaitijden (3) * Oogsttijden (6)
Slijk - Ewijk	Blokkenproef	4	7,0*3,8	5,0*1,6	Oogsttijden (3)
Kas '93	-	1	1,4*1,8	1,4*1,8	-

Bron: Kreuzer et al., 1995

Bijlage II

Listing CRAMBE-model

```

-----
SUBROUTINE LINTUL CRAMBE
* Author: E.W.J.M. Mathijssen & W.J.M.Meijer after LINTUL-POTATO by
*       P.L. Kooman.
* Date: 20 April 1995
*
* Purpose : Simulating the total dry matter and seed production of a
*           Crambe crop grown under non-limiting conditions.
*
* Method :  Intercepted radiation as f(TSIDNE)
*           Development as f(TSUNE)
*           Radiation Use Efficiency
*           Harvest Index
*
* Subroutines called: LINTM
* Data-files called: see CONTROL.DAT
* This model uses FSE 2.0
*
* References: C.J.T. Spitters,1990. Crop growth models: their usefulness
*            and limitations. Acta Horticulturae.267:349-368.
*            Kooman, P.L.,1995. Yielding ability of potato crops as
*            influenced by temperature and daylight
-----
PROGRAM LINTUL
CALL PSE
STOP
END

SUBROUTINE CRAMBE (ITASK, IUNIT0, IUNITO, IUNITL,
& FILEP, OUTPUT, TERML,
& DAY, DELT,
& LAT, NSTAT, WRTTER,
& DTRT, DTMIN, DTMAX)

IMPLICIT REAL (A-Z)

*FORMAL PARAMETERS

INTEGER ITASK,IUNITP,IUNITO,ITOLD
LOGICAL OUTPUT, TERML, NEWYR, WRTTER
CHARACTER FILEP*(*), NSTAT*7

INTEGER ITABLE
PARAMETER (ITABLE=400)

SAVE

DATA ITOLD /4/

*Check the new task against the old task, check the value
*of DELT and check weather data
CALL CHKTSK ('LINTUL', IUNITO, ITOLD, ITASK)

IF (DELT.LT.1.0) CALL ERROR
& ('LINTUL', 'DELT too small for LINTUL')

IF (ITASK.EQ.1) THEN
*INITIALISATION SECTION
CALL RDINIT(IUNITO,IUNITO, FILEP)
*Initialisation of states
CALL RDSREA ('CINTI', CINTI)
CINT = CINTI
CALL RDSREA ('FINTLI', FINTLI)
FINTL = FINTLI
CALL RDSREA ('FINTSI', FINTSI)
FINTS = FINTSI
CALL RDSREA ('WDMI', WDMI)
WDM = WDMI
TDM = WDMI
CALL RDSREA ('WPOI',WPOI)
WPO = WPOI
CALL RDSREA ('WOILI',WOILI)
WOIL = WOILI
CALL RDSREA ('WERAI',WERAI)
WERA = WERAI
CALL RDSREA ('TSI',TSI)
TSUNE0 = TSI
TSUNE = TSI
TSUNS = TSI
*READING PARAMETERS
*Light interception parameters
CALL RDSREA ('FINTO',FINTO)
CALL RDSREA ('FINTH',FINTH)
CALL RDSREA ('RO',RO)
CALL RDSREA ('DURE', DURE)
CALL RDSREA ('TS50',TS50)
*Field parameters
CALL RDSREA ('DAYEM',DAYEM)
CALL RDSREA ('DAYSO', DAYSO)
CALL RDSREA ('NPL',NPL)
*Plantparameters
CALL RDSREA ('TBASE',TBASE)
CALL RDSREA ('TSSE',TSSE)
CALL RDSREA ('TSPO',TSPO)
CALL RDSREA ('RUE1',RUE1)
CALL RDSREA ('RUE2',RUE2)
CALL RDSREA ('HIG', HIG)
CALL RDSREA ('POIL',POIL)
CALL RDSREA ('PERA',PERA)
CALL RDSREA ('CONVPO',CONVPO)

NEWYR = .FALSE.
CPAR = 0.
CPARE = 0.
D90 = 365.
D50 = 365.
D5H = 365.
D9H = 365.
LAD = 0.
LATT = 0.
PHOTP=0.
DVSSE = 0.
DVSPO = 0.

CLOSE (IUNITP, STATUS='DELETE')

ELSE IF (ITASK.EQ.2) THEN

```

```

* CALL ASTRO (DAY,LAT, SC,DSO,SINLD,COSLD,DAYL,DSINB,DSINBE)
* IF (DAY.EQ.DAYEM) PHOTP=DAYL

```

```

*Daily average temperature ('C)
DAVTMP = 0.5 * (DTMAX+DTMIN)

IF (.NOT.NEWMYR.AND.DAY.EQ.1.)THEN
  NEWMYR = .TRUE.
ENDIF

IF (NEWMYR) THEN
  LDAY = DAY + 365.
ELSE
  LDAY = DAY
ENDIF

```

```

*Temperature sums after planting for development of foliage (TSUM*)
PUSHSO = INSW(DAY-DAYSO,0.,1.)
PUSHEM = INSW(DAY-DAYEM,0.,1.)
DTSUM = INSW(DAVTMP-TBASE,0.,DAVTMP-TBASE)
DTSUM0 = INSW(DAVTMP,0.,DAVTMP)
DTSUMS = DTSUM + PUSHSO
DTSUME = DTSUMS + PUSHEM
DTSUM0 = DTSUM0 + PUSHEM

```

*Weather calculations

```

*Daily photosynthetically active radiation (PAR, MJ/m2)
PAR = DTWT/166 * 0.50 * PUSHSO
PARE = PAR * PUSHEM

```

*PLANT GROWTH

*Light interception

```

CALL LINTW(TSUME, WPL, FINT0, R0, TS50, DURE,TSPO,
& FINT, FINTL, FINTS, FINTM)

```

*Total growth rate (kg DM/ha/d) from intercepted PAR (MJ/m2/d)

```

PARINT = FINT * PARE
RUE = INSW(0.5-DVSP0,RUE2,RUE1)
GDM = RUE * PARINT * 10

```

*Calculate DVSP0 for starting RUE2

```

IF (DAY.EQ.DAYEM) THEN
  DVSP0 = 0.
  DVSE = 0.
ELSE
  DVSP0 = INSW((TSUM0-TSPO),0.,1.)

```

*Calculate DVSE for finish conditions

```

DVSE = INSW(TSUM0-(TSPO+TSSE),0.,1.)
ENDIF

```

*Determine the finish conditions of the simulation

```

IF (DVSE.EQ.1.) THEN
  WPO = NIG * WEM * 1/CONVPO * DVSP0
  WOIL = WPO * FOIL/100 * DVSP0
  WERA = WOIL * PERA/100 * DVSP0

```

*Calculate total crop dry matter (TDM) on dry matter basis

```

TDM = WEM - (WPO*CONVPO)*WPO
TERMDL = .TRUE.
ENDIF

```

*Output states and rates only if required

```

IF (OUTPUT) THEN
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DAY',DAY)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TBASE',TBASE)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TSUM0',TSUM0)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TSUMS',TSUMS)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TSUME',TSUME)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DVSP0',DVSP0)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DVSE',DVSE)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'GDM',GDM)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'WDM',WDM)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TDM',TDM)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'RUE1',RUE1)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'RUE2',RUE2)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'RUE',RUE)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'NIG',NIG)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'WPO',WPO)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'WOIL',WOIL)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'WERA',WERA)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'PHOTP',PHOTP)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'CINT',CINT)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'FINT',FINT)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'FINTL',FINTL)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'FINTS',FINTS)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'FINTM',FINTM)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'PAR',PAR)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'CPAR',CPAR)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'CPARE',CPARE)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'LAD',LAD)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'LATT',LATT)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DTWT',DTWT)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DTMIN',DTMIN)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DAVTMP',DAVTMP)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'DAYL',DAYL)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'TEMPAV',TEMPAV)
  CALL OUTDAT (2, 0, 'RADAV',RADAV)

```

ENDIF

ELSE IF (ITASK.EQ.3) THEN

*INTEGRATION SECTION

*Temperature sums after planting for development of foliage

```

TSUMSO = INTGRL(TSUMSO, DTSUMS, DELT)
TSUME = INTGRL(TSUME, DTSUME, DELT)
TSUM0 = INTGRL(TSUM0, DTSUM0, DELT)

```

*Total intercepted radiation.

```

CINT = INTGRL(CINT, PARINT, DELT)
CPAR = INTGRL(CPAR, PAR, DELT)
CPARE = INTGRL(CPARE, PARE, DELT)
LAD = INTGRL(LAD, FINT, DELT)
LATT = INTGRL(LATT, FINT, DELT)

```

*Dry weights of total biomass, seeds, oil and erucic acid (kg DM/ha)

```

WDM = INTGRL(WDM, GDM, DELT)

```

ELSE IF (ITASK.EQ.4) THEN

```

* CONTINUE
ENDIF
ITOLD = ITASK

RETURN
END

```

```

-----
* Subroutine LIMTM
* Author: E.W.J.M.Mathijssen after Spitters and Kooman
* Date: 24 November 1994
* Purpose: calculation of seasonal course of fractional light
*         interception
* TSUM  Temperature sum after plant emergence      'Cd   I
* NPL   Plant density                             plants/m2 I
*       Light interception: logistic increase (FINT0, R0):
* FINT0 Initial interception capacity per plant    m2/plant I
* FINTM Maximum light interception                I
* R0    Initial rel.growth rate of interception capacity 1/'C/d I
*       Light interception: linear decrease (TSS0, DURE):
* TSPO  Time from emergence till start pods      'Cd   I
* TSS0  Time from TSPO till 50% reduction of FINT 'Cd   I
* DURE  Duration of phase of decreasing interception 'Cd   I
* FINT  Fractional light interception            -     0
* FINTL Fractional light interception (expansion phase) -     0
* FINTS Fractional light interception (senescence phase) -     0
-----

```

```

SUBROUTINE LIMTM (TSUM,NPL,FINT0,R0,TSS0,DURE,TSPO,
$               FINT,FINTL,FINTS,FINTM)
IMPLICIT REAL(A-Z)

IF (TSUM.GT.0..AND.TSUM.LT.TSPO) THEN
* Light interception during the phase of leaf area expansion
FINTL = NPL * FINT0 * EXP(R0*TSUM) * FINTM /
$ (NPL*FINT0*EXP(R0*TSUM) + FINTM - NPL*FINT0)
FINT = FINTL
ELSE IF (TSUM.GE.TSPO) THEN
* Light interception during the phase of senescence of the foliage
FINTM = FINTL
FINTS = LIMIT (0.,FINTM,(0.5- (TSUM - (TSS0*TSPO))/DURE)*FINTM)
IF (FINTS.LT.0.) FINTS = 0.
IF (FINTS.GT.FINTM) FINTS = FINTM
FINT = FINTS
ELSE
FINT = 0.
ENDIF

RETURN
END

```