

CODEN: IBBRAH (10-87) 1-29 (1987)

ISSN 0434-6793

RAPPORT 10-87

NUTRIENTENBEHOEFTE VAN SLA IN VERSCHILLENDE GROEISTADIA.  
LITERATUURSTUDIE

**With a summary: Nutrient requirement of lettuce in different growth stages. Literature study.**

door

B.J. VAN GOOR

ISM 241666

1987

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Postbus 30003,  
9750 RA Haren (Gr.)

---

Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 10-87 (1987) 29 pp.

## INHOUD

1. Inleiding	3
2. Opnametheorie	5
3. Opnamecurven sla	8
3.1. Opname	8
3.1.1. De N-opname	12
3.1.2. De P-opname	12
3.1.3. De K-opname	12
3.1.4. De Ca-opname	15
3.1.5. De Mg-opname	15
3.1.6. De S-opname	15
3.2. Het verloop van de curven	15
4. Discussie	18
5. Samenvatting	23
6. Summary	24
7. Literatuur	26
8. Bijlage	29

## 1. INLEIDING

Dit rapport bevat een deel van de resultaten van een literatuurstudie in het kader van een project waarin optimalisering van de voeding van gewassen geteeld op kunstmatige substraten (in eerste instantie NFT; Nutrient Film Technique) centraal staat. In deze aan het IB te bouwen installatie zal het mogelijk zijn de concentratie van een aantal hoofdelementen in de recirculerende voedingsvloeistof continu te meten en via een computergestuurd doseersysteem bij te stellen. De hierbij te gebruiken computer kan de concentratie van een bepaald element niet alleen constant houden, maar ook gedurende de groeitijd van het gewas continu veranderen volgens een bepaald patroon. Dit patroon kan worden aangepast aan de specifieke voedingsbehoefte van een gewas. De opname van de planten uit de voedingsoplossing (= de toe te voegen dosis) zal continu worden geregistreerd.

De uiteindelijke bedoeling van het project is om adviezen te geven aan tuinders over de voedingstoevoer bij de NFT-teelt in relatie tot andere groeiomstandigheden zoals licht en temperatuur.

Doelstelling van deze studie is het verzamelen van gegevens, die een basis kunnen vormen voor de "instelwaarden" van het systeem voor een aantal tuinbouwgewassen. Het gaat daarbij om de - op basis van de nu bekende gegevens - beste benadering van de optimale voeding. Deze informatie is nodig om de benodigde capaciteit van het systeem aan te geven. Hierbij moet zowel met de opbrengst als met de kwaliteit van het produkt rekening worden gehouden. Bij dit onderzoek zijn zowel literatuurgegevens (tabel 1) als niet gepubliceerde gegevens binnen het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en andere instellingen van landbouwkundig onderzoek gebruikt. Vaak zijn de betreffende proeven met een andere doelstelling opgezet, zodat vrij uitvoerige berekeningen noodzakelijk waren om de opnamecurven zo goed mogelijk te kunnen tekenen. Ook is niet altijd bekend of werkelijk de optimale groei verkregen is.

In dit rapport zullen ook enkele beschouwingen uit de literatuur worden vermeld die vanuit de plantevoedingstheorie het probleem van de optimale voeding benaderen.

TABEL 1. Overzicht van de geraadpleegde literatuur en de gebruikte trefwoorden.

TABLE 1. Survey of the literature studied and the keywords used.

---

**Geraadpleegde samenvattende tijdschriften**

Horticultural Reviews 1985-1980

Horticultural Abstracts 1987-1978

**Trefwoorden**

lettuce

absorption

uptake

N

P

K

Ca

Mg

} nutrition

soilless culture { nutrition

{ nutrient solution

nutrient film technique

nutrients

---

Daarna zullen in het rapport - voor zover beschikbaar - kwantitatieve gegevens worden verstrekt over de volgende onderwerpen.

\* De opname van voedingsstoffen door de plant (absorptiecurve) gedurende de groei van goed groeiende planten. Hieruit kan het gewenste aanbod worden afgeleid. Indien de gehele curve niet bekend is, kan het optimale eindgehalte een belangrijk uitgangspunt zijn voor het berekenen van een globale curve.

\* De optimale verhouding van de verschillende elementen of ionen, eventueel gevarieerd naar groeistadia.

Als eerste gewas voor de NFT-installatie is sla gekozen. In de literatuurstudie zal echter in een later stadium ook aandacht worden geschonken aan andere glastuinbouwgewassen, die mogelijk in de toekomst in de proeven betrokken zullen worden. Gedacht wordt o.a. aan tomaat, komkommer en paprika.

## 2. OPNAMETHEORIE

Van Noordwijk en De Willigen (1987) vatten in hun dissertatie opname-theorieën en de relatie tussen de opname en de concentratie in het wortelmilieu samen. Zij baseren zich daarbij o.a. op werk van Van Der Honert, Epstein, Nye en Tinker, Clarkson, De Jager, Loneragan, en Sonneveld en Voogd. Hun conclusie is dat de plantewortel de voor de plant benodigde hoeveelheid voedingsstoffen ook uit oplossingen met lage concentraties kan onttrekken. Voorwaarde is dan wel dat door voldoende aanbod van de voedingsvloei stof uitputting daarvan voorkomen wordt. Minimale concentraties per liter zouden kunnen zijn 1  $\mu\text{M}$  P, 10  $\mu\text{M}$  K en 100  $\mu\text{M}$  N. Beneden deze concentraties treedt afhankelijkheid van de opname van de concentratie op. Overigens kunnen er wat dit betreft tussen plantesoorten verschillen bestaan. De concentraties die bijvoorbeeld in de NFT-teelt van sla gebruikt worden zijn aanzienlijk hoger (tabel 2). Het gevaar bestaat dat te hoge concentraties echter remmend werken op de

TABEL 2. Concentratie van voedingselementen in de voedingsoplossing bij de teelt van sla, zoals aangegeven door Sonneveld en De Krey (1986).

TABLE 2. Nutrient concentration in nutrient solutions for lettuce, as indicated by Sonneveld and De Krey (1986).

Voedingselement	Concentratie (mmol/l)
Nitraat	19
Ammonium	0,5
Fosfaat	2
Sulfaat	1
Kalium	11
Calcium	4,75
Magnesium	1

plantegroei. De plant schijnt de opname van de elementen calcium en magnesium minder goed te kunnen regelen dan de hierboven geconstateerde goede regeling voor N, P en K. In het gebied van 1-5 mmol/l bestaat voor de opnamesnelheid bij deze elementen een zekere concentratieafhankelijkheid.

De Jager (1985) en Van Noordwijk en De Willigen (1987) geven een aan-

tal mogelijke verklaringen voor de regeling van de opname door de wortel. Uitgangspunt hierbij is dat de opnamesnelheid bepaald wordt door een signaal vanuit de scheut, al naar de behoefte aan een bepaalde voedingsstof daar. Het signaal kan plaatsvinden via assimilaten transport, het niveau van bepaalde hormonen of via ioncirculatie. Het signaal kan in de wortel worden omgezet in een gewijzigde activiteit van bepaalde "ion carriers".

De Zweedse onderzoeker Ingestad heeft een vrij groot aantal publicaties aan optimale voeding gewijd (Ingestad, 1970; Ingestad, 1972; Ingestad, 1974; Ingestad, 1977; Ingestad and Lund, 1979; Ingestad and Agren, 1984; Ingestad and Lund, 1986; en Ingestad, 1987).

Er zijn ten aanzien van de voeding twee strategieën mogelijk, namelijk:

- a. de concentratie (en de verhoudingen) worden tijdens de groei constant gehouden, of
- b. de hoeveelheid voedingsstoffen wordt exponentieel volgens de groei-curve aangeboden (ook bij een optimale verhouding).

In beide gevallen kan de concentratie laag gehouden worden.

Ingestad kiest voor de tweede mogelijkheid en gaat daarbij uit van een "steady state" voor het gehalte aan voedingsstoffen. Dit betekent dat de relatieve groeisnelheid ( $R_G$ )\* = relatieve opnamesnelheid ( $R_U$ )\* = relatieve additiesnelheid ( $R_A$ )\*. De redenering gaat alleen op indien geen verandering in de efficiëntie van het lichtgebruik (b.v. bij kropvorming) optreedt, en verder dat geen "dry matter sinks", zoals vruchten, ontstaan. In het laatste geval kunnen de optimale verhoudingen tussen de elementen zich wijzigen.

Ingestad heeft nu voor de voedingsbehoefte op dag  $t$  gedurende één uur -  $n_t$  - de volgende formule afgeleid (bijlage 1):

$$n_t = n_0 \cdot e^{R_A \cdot t} \left( e^{R_A \cdot 1/24} - 1 \right),$$

waarin  $n_0$  de hoeveelheid aanwezige voedingsstof op tijdstip  $t_0$  is.

---

\* Onder **relatieve** groeisnelheid, opnamesnelheid, additiesnelheid verstaat men deze grootheden uitgedrukt op de **reeds aanwezige** plantmassa, hoeveelheid of additie van een element per tijdseenheid (g per g per dag)

Uit experimenten kunnen de parameters uit de formule van Ingestad nu worden afgeleid. In proeven met een aantal gewassen, zoals berk en komkommer, laat hij nu  $R_A$  variëren, ook in het niet-optimale gebied.

Licht kan een belangrijke factor zijn bij de benutting van voedingsstoffen. Zo bleek in het gebied van 50-150 J per dag per  $\text{cm}^2$  (hoeveelheden die in de winter voorkomen) licht een beperkende factor te worden (Evans, 1972).

Onderzoekers uit Denemarken, zoals Willumsen (1984) en Nielsen (1984), hebben een wat ander uitgangspunt om de optimale voedingsoplossing te berekenen. Willumsen neemt aan dat bij een vegetatief gewas als sla het eindgehalte als basis voor de berekening van de voedingsopname mag gelden. Hierbij wordt dus eigenlijk lineaire groei aangenomen. Men werkt met een gemiddelde opnamesnelheid, wat niet in overeenstemming met de werkelijkheid is. Nielsen gaat uit van een ander principe. Hij gebruikt de samenstelling van de bodemoplossing als basis voor de samenstelling van de voedingsoplossing. Gezien de sterke wisselingen in samenstelling van deze oplossing in de tijd is deze aanpak aanvechtbaar.

Soms wordt het optimum voor een bepaalde nutriënt op andere wijze bepaald. Zo is in het verleden de activiteit (gerekend per gram droge of verse plantmassa) van bepaalde element-specifieke enzymen wel eens als maatstaf gebruikt (Ågren, 1985). Naast minerale voeding kunnen factoren als licht en koolzuur ook limiterend zijn.

Gezien de gecompliceerdheid van de systemen is een theoretische aanpak om de optimale voeding aan de plant te geven nog moeilijk. De praktijk is dan vaak ook dat men experimentele opnamecurven (opname tegen tijd) onder optimale omstandigheden bepaalt. Deze curven kan men dan eventueel trachten wiskundig te beschrijven.

De opname van ionen is in een technisch zeer geavanceerde installatie ook uitgebreid bestudeerd door een Engelse groep in Hurley en Reading (Breeze et al., 1982). Hun interesse ligt echter meer op het gebied van de plantenfysiologische achtergrond en wijzigingen in de opname gedurende kortere perioden tijdens een dag.

In het volgende hoofdstuk is een aantal opnamecurven voor sla, onder verschillende omstandigheden, weergegeven. Voorlopig zijn de gegevens beperkt tot een aantal macro-elementen.

### 3. OPNAMECURVEN SLA

Opnamecurven kunnen worden berekend uit proeven op NFT-teelt of watercultuur, en grondproeven. In het eerste geval is zowel periodiek onderzoek van de voedingsoplossing als van het gewas mogelijk, in het laatste geval alleen periodieke gewasanalyse. Daarnaast moet men onderscheid maken tussen kas- en veldproeven. In het volgende is een beperkt aantal proeven op watercultuur, geaëreerde voedingsoplossing in potten, NFT-teelt en grond vergeleken.

Zo is de opname berekend uit een voorjaars- en winterproef met kassla van Voogd en Sonneveld (pers. meded.) en Sonneveld (1985). Daarnaast is de opname berekend uit proeven van Van der Boon en Steenhuizen, 1984; Steenhuizen, 1985; Van der Boon en Steenhuizen, 1987 (pers. meded.). In bovengenoemde proeven werd de opname afgeleid uit de veranderingen in de samenstelling van de voedingsoplossing. Beide proeven waren niet direct gericht op de bepaling van opnamecurven.

De verkregen gegevens worden vergeleken met die uit proeven in de volle grond van Zink en Yamaguchi (1962) onder omstandigheden van veel licht en warmte (Californië) en met praktijkbemonsteringen van vollegrondssla in de herfst in Nederland van Slangen et al. (1987). De opname werd bij deze experimenten berekend uit gewasanalyse van het bovengronds gewas. In tabel 3 zijn de groeiomstandigheden voor de diverse experimenten aangegeven. Belangrijk voor ons doel zijn vooral de NFT-proeven.

#### 3.1. Opname

De opnamegegevens zijn samengevat in de figuren 1-5. Daar worden de cumulatieve opname per plant en de opnamesnelheid vermeld. De figuren geven een globale indicatie van de nutriëntenopname gedurende de groei. Minimum- en maximum-waarden voor de opnamesnelheid zijn in tabel 4 samengevat. In tabel 5 zijn voor genoemde proeven de coëfficiënten voor de opnamesnelheid bepaald behorend bij de exponentiële groeivergelijking. Het steilste stuk van de curve is hierbij als maatstaf genomen.



TABEL 3. Enkele aanvullende gegevens over de gebruikte slaproeven. (Zie verder het bijschrift van figuur 1).

TABLE 3. Some additional information about the lettuce trials studied. (See also legends to figure 1).

Onderzoek van:	Bijzonderheden teelt	Ras	Versgewicht per krop (g) aan het eind van de proef
Voogd en Sonneveld	NFT/voorjaar/kas	Salina, Sitonia	272
	NFT/winter/kas	Norden, Miranda	218/278
Van der Boon/ Steenhuizen	NFT/kas	Salina	315
Letey et al.	watercultuur potten/kas	Petoseed	240
Zink/Yamaguchi	buiten, Californië!	Soledad	920
Slangen et al.	praktijksla buiten, Nederland	Capitan	460

\* Gestart werd met zeer kleine planten.

TABEL 4. De minimale en maximale dagelijkse opname aan macro-elementen in de proeven van Voogd en Sonneveld (1987), en Zink en Yamaguchi (1962).

TABLE 4. Minimum and maximum daily uptake of macro-elements in the trials of Voogd and Sonneveld (1987), and Zink and Yamaguchi (1962).

Onderzoek van:	mg per plant per dag											
	minimum						maximum					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Voogd/Sonneveld, voorjaar	10	1,0	30	15,0	0,75	1	40	8,0	80	15,0	2,5	5,5
Voogd/Sonneveld, winter	2	0,3	6	1,5	neg.		20	3,5	25	3,5	0,9	
Zink/Yamaguchi	15	1,0	15				85	14,5	160			

Onderzoek van:	mmol. element plant per dag											
	minimum						maximum					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Voogd/Sonneveld, voorjaar	0,7	0,03	0,80	0,35	0,04	0,03	2,7	0,25	2,0	0,35	0,10	0,17
Voogd/Sonneveld, winter	0,1	0,01	0,15	0,04	neg.		1,5	0,12	0,7	0,08	0,03	
Zink/Yamaguchi	1,0	0,03	0,40				6,0	0,48	4,0			

TABEL 5. Coëfficiënten van de vergelijking\* voor de opnamesnelheid uitgezet tegen de tijd. Log  $y = a.t + b$ , hierin is:  $y =$  de opnamesnelheid in mg per plant per dag en  $t =$  de tijd in dagen na het begin van de proef.

TABLE 5. Coefficients of the equation for the uptake rate plotted against time. Log  $y = a.t + b$ , in which  $y$  is the uptake rate in mg per plant per day, and  $t$  is the time in days after the start of the experiment.

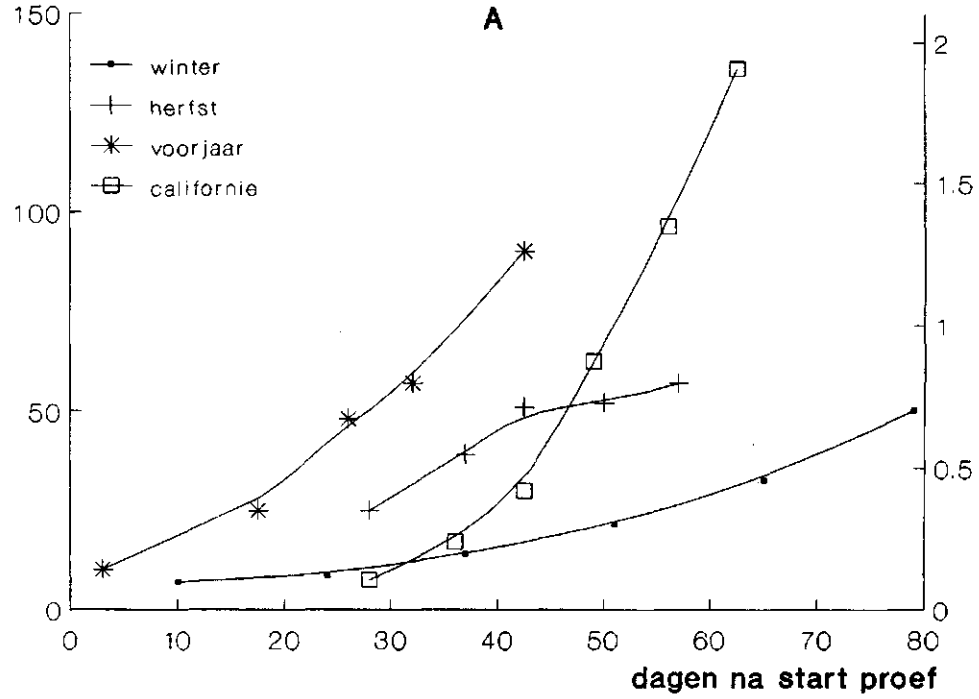
Onderzoek van:	N		P		K	
	a	b	a	b	a	b
Voogd en Sonneveld, voorjaar	0,028	0,83	0,03	-0,13	0,019	1,16
Voogd en Sonneveld, winter	0,017	0,16	0,014	-0,54	0,017	0,21
Zink en Yamaguchi	0,025	0,51	0,029	-0,60	0,041	0,13
Letey	0,063	0,041				

\* De lijn is bepaald bij maximale toename van log  $y$

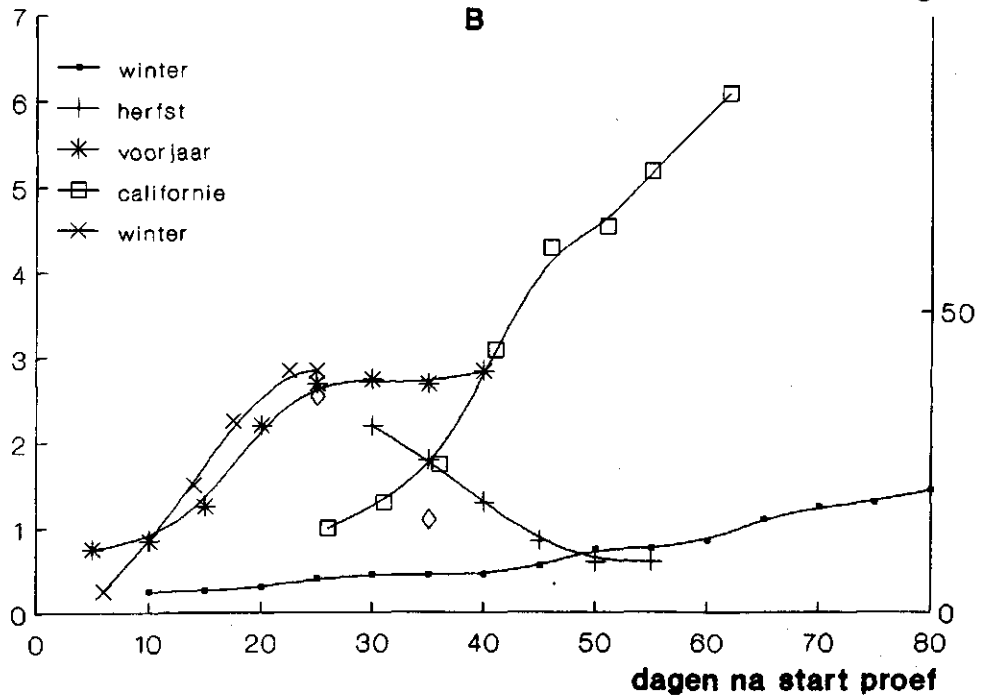
- Figuur 1. Het verloop van de N-opname gedurende de groei van sla.
- A = is totale opname per plant, B = opname per plant per dag.
- \* NFT - geplant 14 maart, geoogst 25 april 1985\* (naar gegevens van Voogd en Sonneveld, 1987)
  - NFT - geplant 7 december 1984, geoogst 5 maart 1985\* (naar gegevens van Voogd en Sonneveld, 1987)
  - ◇ NFT - geplant 29 juli, geoogst 7 september 1983\* (naar gegevens van Van der Boon en Steenhuizen, pers.meded.)
  - × watercultuur - februari-maart 1981 (naar gegevens van Letey et al., 1982)
  - grond - geplant 5 augustus, geoogst 25 oktober 1957\* (naar gegevens van Zink en Yamaguchi, 1962)
  - + grond - geplant 27 augustus, geoogst 23 oktober 1980 (naar gegevens van Slangen et al., 1987)
- \* Start met 3-4 weken oude plant, de gegevens van Yamaguchi werden hierop omgerekend.

- Figure 1. Course of N uptake during the growth of lettuce. A = total uptake per plant, B = uptake per plant per day.
- \* NFT - planted 14 March, harvested 25 April 1985\* (data from Voogd and Sonneveld, 1987)
  - NFT - planted 7 December 1984, harvested 5 March 1985\* (data from Voogd and Sonneveld, 1987)
  - ◇ NFT - planted 29 July, harvested 7 September 1983\* (after data from Van der Boon and Steenhuizen, pers. comm.)
  - × water culture - February-March 1981\* (after data from Letey et al., 1982)
  - soil - planted 5 August, harvested 29 October 1957\* (after data from Zink and Yamaguchi, 1962)
  - + soil - planted 27 August, harvested 23 October 1980 (after data from Slangen et al., 1987)
- \* Start with 3-4 week-old plant, data from Yamaguchi were calculated accordingly.

**N-opname per plant  
mmol N**



**N-opname per plant per dag  
mmol N**



### 3.1.1. De N-opname (figuur 1)

Het meestzeggend zijn de curven waarin de opname per dag is weergegeven (figuur 1 B). De opname stijgt in de voorjaarsproef van Voogd en Sonneveld tussen 5 en 25 dagen na het planten vrij snel van 10 naar 40 mg N per plant per dag en blijft dan constant. Er is een goede overeenstemming met de proef van Letey en met enkele resultaten uit het onderzoek van Van der Boon en Steenhuizen. De waarneming dat de N-opname na ruim 20 dagen constant wordt kan alleen verklaard worden als meer groeigegevens bekend zijn. Men kan daarbij denken aan de toenemende onderlinge beschaduwing van de bladeren. In de winterproef van Voogd en Sonneveld stijgt de opname van 10-80 dagen zeer geleidelijk van 2 naar 20 mg per plant per dag. De geringere lichthoeveelheid speelt hier een duidelijke rol. Het is misschien interessant deze resultaten te vergelijken met de voor Nederlandse begrippen zeer grote kroppen die Zink en Yamaguchi in Californië verkregen. Ongeveer omgerekend op de groeidagen uit de proeven van Voogd en Sonneveld verkregen zij de volgende resultaten. Tussen 25 en 60 dagen neemt de opname toe van 10 naar 85 N mg per plant per dag. De waarden in dit Amerikaanse onderzoek liggen dus aanzienlijk hoger. De helling van de lijn in deze proef is echter wel ongeveer gelijk aan die uit de eerder genoemde proeven van Voogd en Sonneveld (voorjaarsproef) en van Letey. De afname van de N-opname in de grondproeven van Slangen *et al.* is o.a. te verklaren uit de afnemende lichtintensiteit (herfst en buiten). Mogelijk speelt ook uitputting van de in de grond beschikbare stikstof een rol.

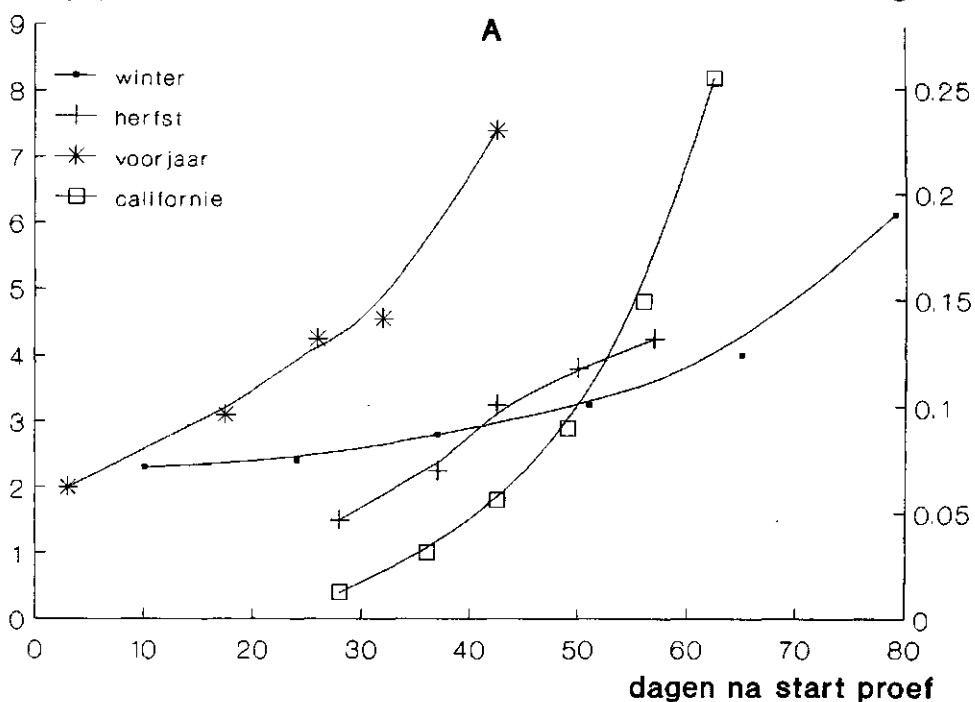
### 3.1.2. De P-opname (figuur 2)

De toename in de voorjaarsproef van Voogd en Sonneveld loopt van 5 tot 40 dagen van 1 naar 8 mg per plant per dag. In tegenstelling tot die bij N en K is deze toename geleidelijk. De toename gaat langer door dan bij N. In de winterproef is de toename eerst gering en na 50 dagen sneller, ze gaat van 0,5 tot 4 mg per plant per dag. De stijging in de Californische proef is wat onregelmatig en loopt van 1 naar 15 mg per plant per dag. De helling is daar groter dan bij de NFT-teelt.

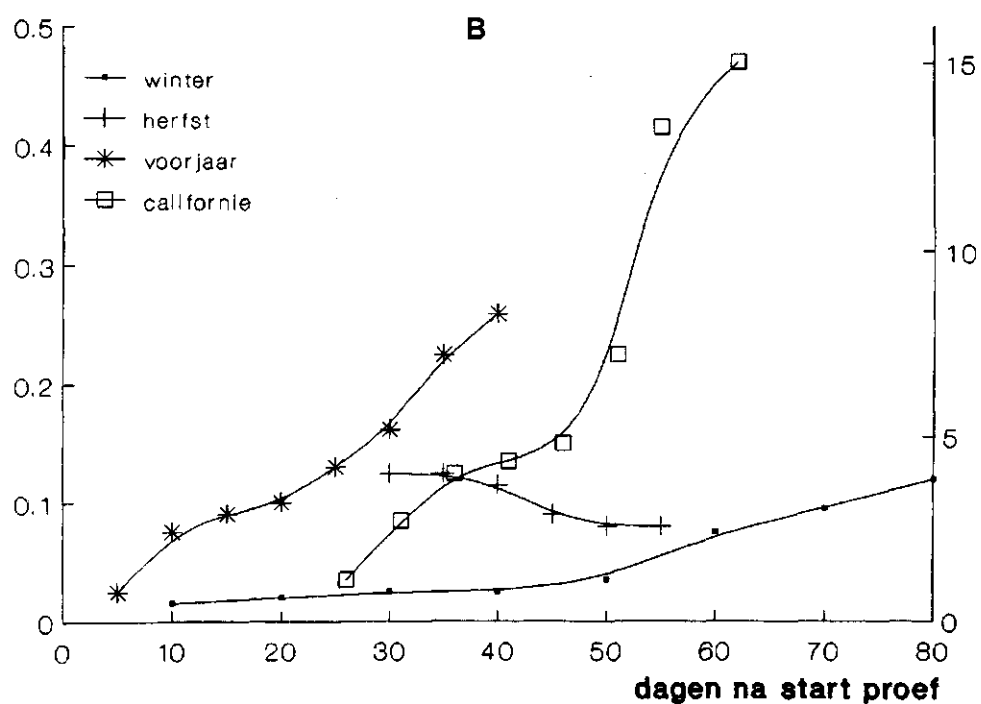
### 3.1.3. De K-opname (figuur 3)

In de voorjaarsproef van Voogd en Sonneveld loopt de dagelijkse K-opname van 5 tot 40 dagen na het planten op van 30 naar 75 mg per plant per dag, nadat deze eerst tot 25 dagen ongeveer constant gebleven is. De

**P-opname per plant**  
mmol P



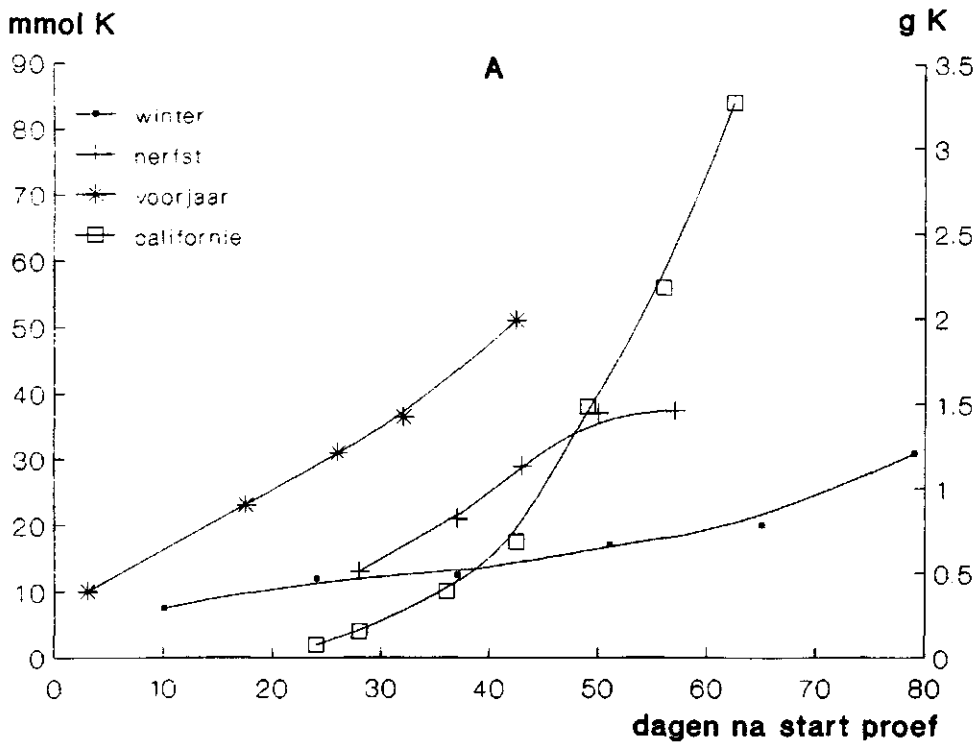
**P-opname per plant per dag**  
mmol P



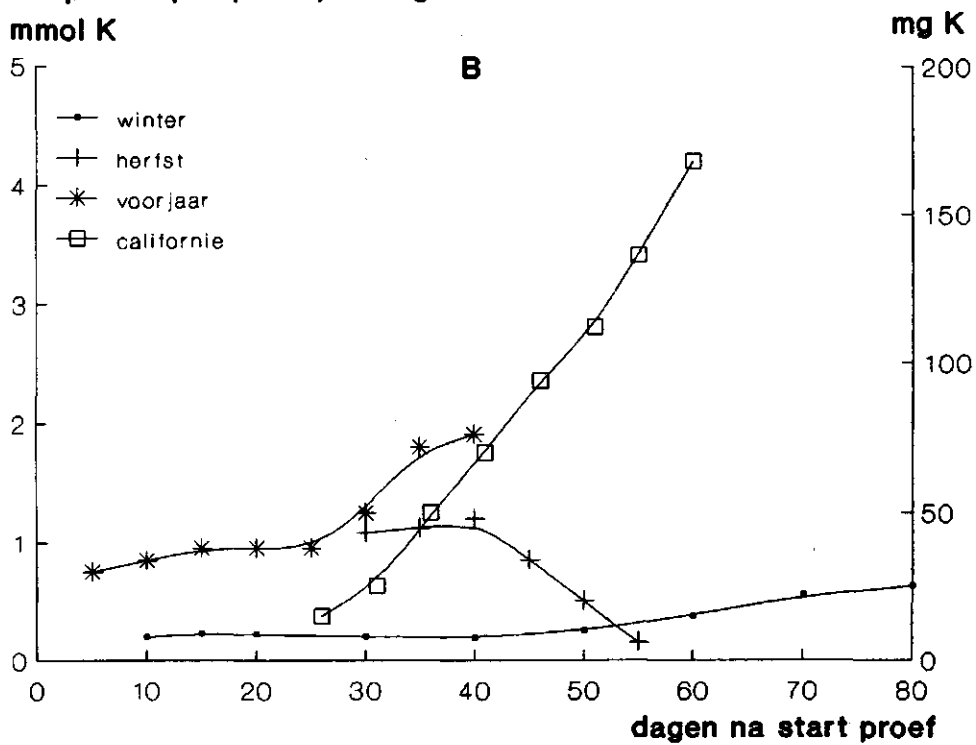
Figuur 2. Het verloop van de P-opname gedurende de groei van sla.  
Zie verder bijschrift figuur 1.

Figure 2. Course of P uptake during the growth of lettuce.  
See legends to figure 1.

**K-opname per plant**  
mmol K



**K-opname per plant per dag**  
mmol K



**Figuur 3.** Het verloop van de K-opname gedurende de groei van sla.  
Zie verder bijschrift figuur 1.

**Figure 3.** Course of K uptake during the growth of lettuce.  
See legends to figure 1.

stijging van de opname per plant per dag in de loop van de tijd is dus minder groot dan bij N en jongere planten nemen relatief meer K op. Het maximum wordt ook later bereikt dan bij N. Bij de wintersla blijft de K-opname in mg per plant per dag vrij lang op een niveau van beneden 10 mg K per plant per dag en neemt dan na 50 dagen toe tot 25 mg K per plant per dag. Ook voor K geeft de proef van Zink en Yamaguchi een aanzienlijk hogere opname. Van 25 tot 60 dagen neemt de K-opname toe van 15 naar 160 mg K per plant per dag. Ook hier is de maximale helling van de curven gelijk aan die in de voorjaarsproef van Voogd en Sonneveld.

#### 3.1.4. De Ca-opname (figuur 4)

De Ca-opname in de voorjaarsproef van Voogd en Sonneveld is merkwaardig constant op een niveau van 15 mg Ca per plant per dag. In de winterproef is de opname aanzienlijk geringer en neemt af van ongeveer 4 naar 2 mg Ca per plant per dag. Ook bij Ca neemt de opname in de herfstproef van Slangen et al. af.

#### 3.1.5. De Mg-opname (figuur 5)

Deze gedraagt zich anders dan de Ca-opname. In de voorjaarsproef neemt de opname toe van 0,75 naar 2,5 mg Mg per plant per dag. In de winterproef zou men zelfs eerst tot een afgifte van Mg aan de oplossing moeten concluderen. Mogelijk is de geringe startgrootte van de planten mede een verklaring. Het is overigens ook niet uitgesloten dat hier sprake is van een artefact. Het kan namelijk zo zijn dat er tijdens de teelt Mg in het systeem gekomen is uit de perspotten die bij het planten worden gebruikt. Na 40 dagen is de opname in de winterproef ongeveer 1 mg Mg per plant per dag. Hierna neemt de opname dan weer af naar 0,25 mg Mg per plant per dag.

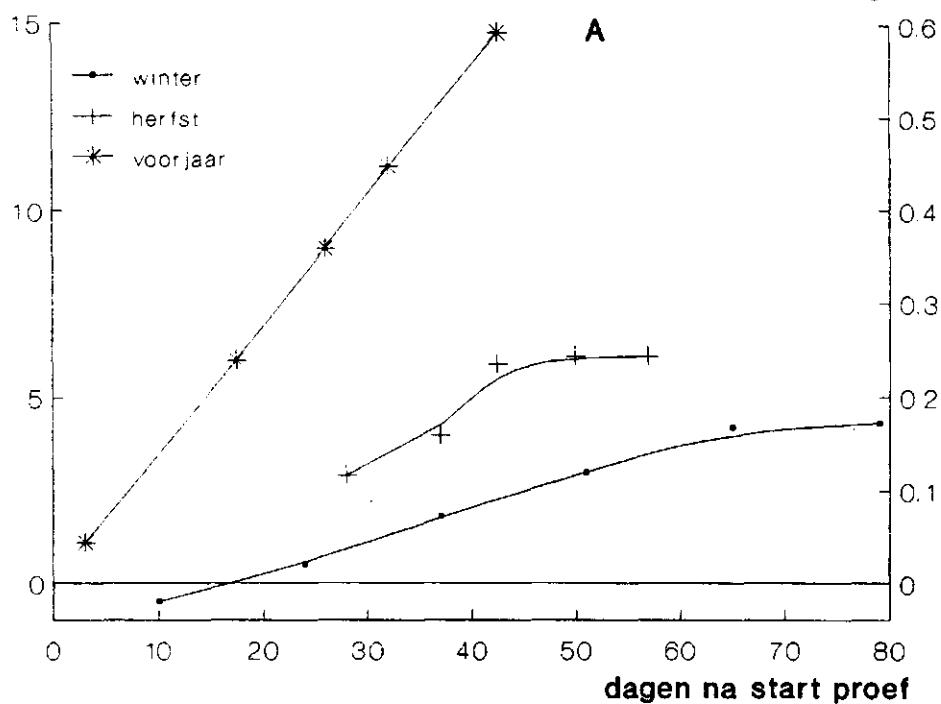
#### 3.1.6. De S-opname (tabel 4)

Deze is alleen in de voorjaarsproef bepaald. De S-opname neemt van 5 tot 40 dagen toe van 1 naar ca. 5 mg S per plant per dag. De orde van grootte is gelijk aan die voor fosfor.

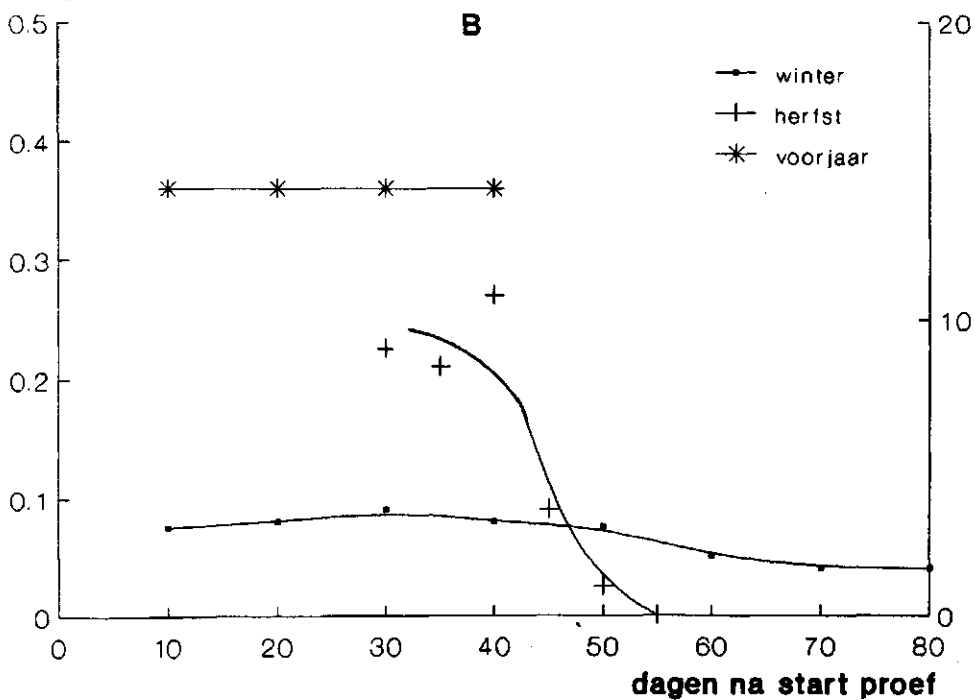
### 3.2. Het verloop van de curven

Het is maar voor een beperkt deel van een curve mogelijk om een exponentiële vergelijking toe te passen (tabel 5). Daarom is in deze tabel het gedeelte van de curve met maximale stijging als maatstaf genomen.

**Ca-opname per plant**  
mmol Ca



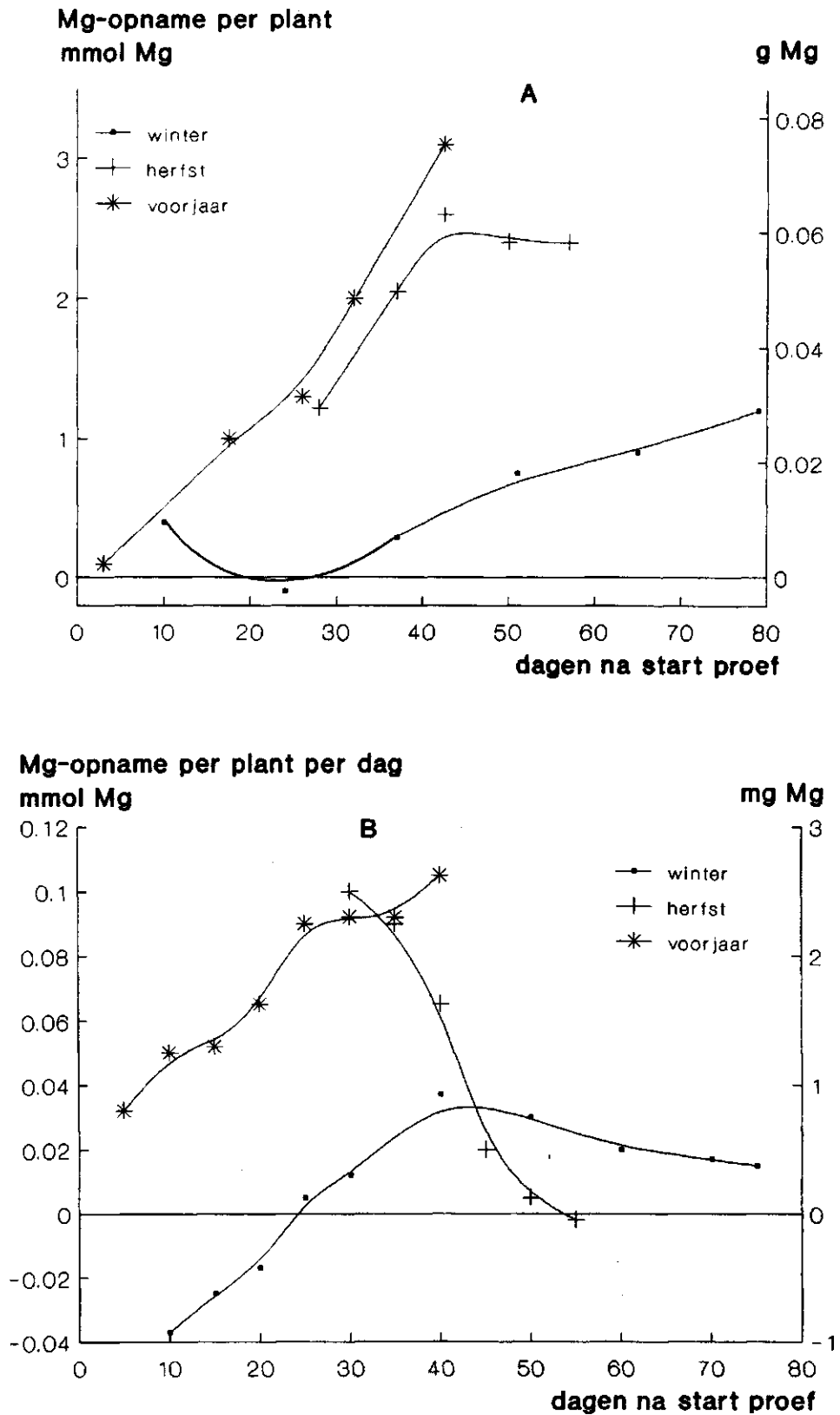
**Ca-opname per plant per dag**  
mmol Ca



**Figuur 4.** Het verloop van de Ca-opname gedurende de groei van sla.  
Zie verder bijschrift figuur 1.

**Figure 4.** Course of Ca uptake during the growth of lettuce.  
See legends to figure 1.





**Figuur 5.** Het verloop van de Mg-opname gedurende de groei van sla.  
Zie verder bijschrift figuur 1.

**Figure 5.** Course of Mg uptake during the growth of lettuce.  
See legends figure 1.

#### 4. DISCUSSIE

Het aantal experimenten waaruit opnamecurven kunnen worden afgeleid is beperkt en de nauwkeurigheid is soms vrij gering vanwege de slechte beheersing van de omstandigheden.

De opname kan bepaald worden door analyse van het totale gewas en in watercultuur ook nog door regelmatige analyse van de voedingsoplossing. Bezwaren van proeven in dit opzicht kunnen gelegen zijn in het op raken van de meststof, verandering van de temperatuur gedurende de teelt en het weglaten van het wortelstelsel bij de analyse. Dit is slechts te ondervangen door experimenten uit te voeren in kassen of klimaatkamers onder geconditioneerde omstandigheden, waarbij regelmatig, en ten aanzien van de doelstelling, op juiste wijze bemonsterd wordt. Zulke experimenten zijn echter nog niet voorhanden.

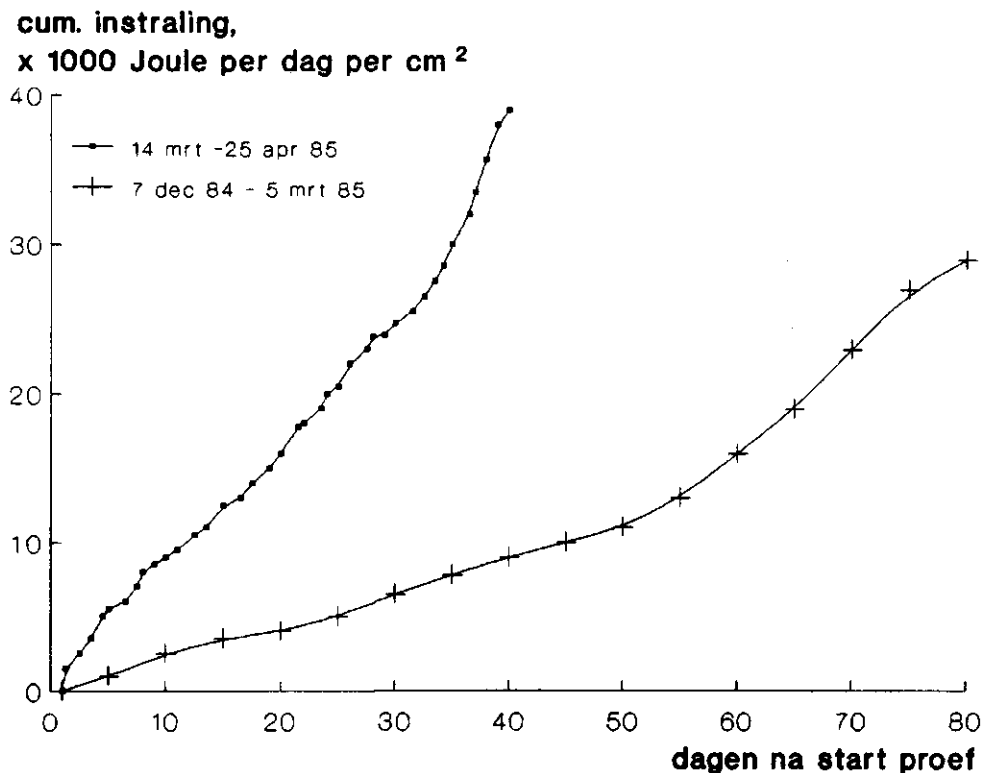
Concluderend kunnen we stellen dat uit de proeven een aantal globale gegevens verkregen kon worden. Deze betreffen de **cumulatieve opname per plant** en de **opname per plant per dag** en het verloop daarvan in de tijd (figuren 1-5). De opname per plant per dag is het belangrijkste voor onze doelstelling ten aanzien van instelwaarden van het NFT-systeem. Verder werden de coëfficiënten berekend van een exponentiële vergelijking voor de opname (tabel 5). Deze gegevens kunnen ook een aanknopingspunt zijn voor de hoeveelheden die in de NFT-teelt automatisch toegevoerd moeten worden en voor de bepaling van de capaciteit van het systeem.

Voor een indicatie over de **optimale concentraties en verhoudingen** tussen de verschillende ionen voor sla kan verwezen worden naar Sonneveld en De Krey (1986). Uitgedrukt in N (= 100%) worden de concentraties (in mol) voor de andere elementen voor P 10%, voor K 56%, voor Ca 24%, voor Mg 5% en voor S 5%. Berekent men hetzelfde voor de maximale opname in tabel 2, dan krijgt men voor P 9%, voor K 74%, voor Ca 13%, voor Mg 4% en voor S 6%. De oplossing van Voogd en Sonneveld bevat dus wat meer calcium en wat minder kalium. Overigens kan de verhouding in de gewenste voedingsoplossing afwijken van de gewenste verhouding in de plant.

Het is uit het verzamelde materiaal niet mogelijk de theorie van Ingestad over **exponentiële opname** te toetsen. Dit zal moeten gebeuren uit proeven die duidelijk als doelstelling opnamebepalingen in de tijd hebben.

Om de benodigde hoeveelheid van de verschillende elementen te relate-

ren aan klimaatomstandigheden is het natuurlijk belangrijk een deel van de spreiding in de figuren 1-5 te verklaren. Het verschil in opname in de voorjaarsproef en de winterproef van Voogd en Sonneveld blijkt grotendeels terug te brengen te zijn tot een verschil in de hoeveelheid ingestraald licht (figuren 6-9). Recent onderzoek van Adams en Grimmeth (1986) toonde bij tomaat in het gebied van 250-2500 J per  $\text{cm}^2$  per dag een sterk lineair verband aan tussen licht en K-opname.



**Figuur 6. Cumulatieve instraling (KNMI-De Bilt) gedurende de proeven van Voogd en Sonneveld.**

**■ proef 14 maart - 25 april 1985**

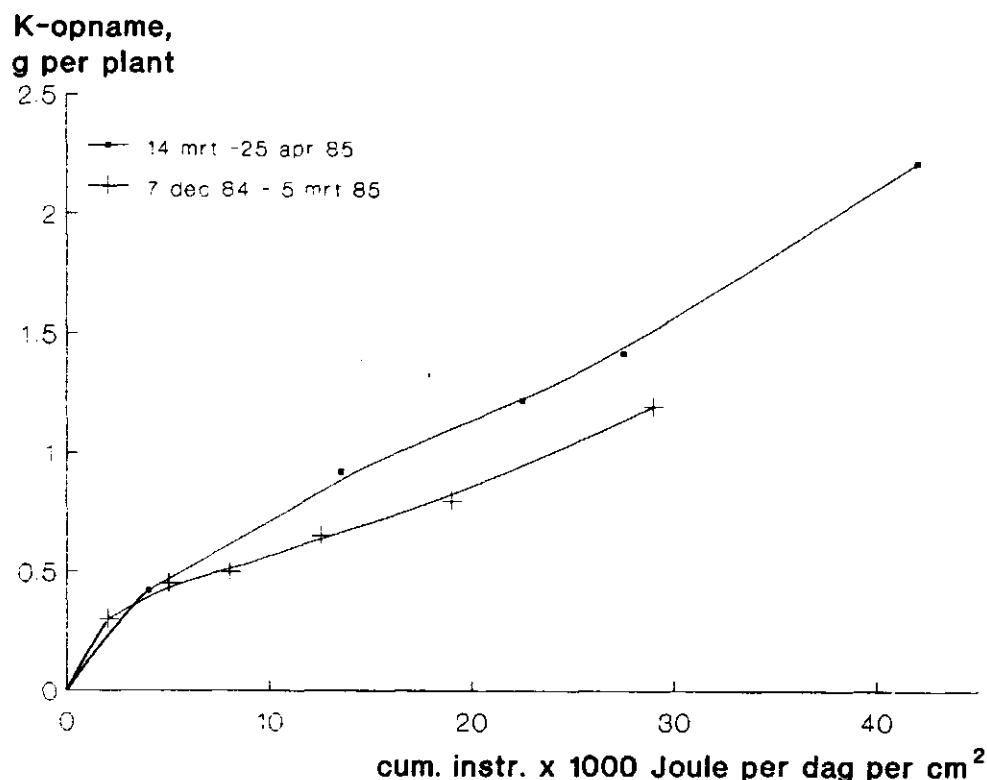
**+ proef 7 december 1984 - 5 maart 1985**

**Figure 6. Cumulative global radiation during the experiments of Voogd and Sonneveld.**

**■ experiment 14 March - 25 April 1985**

**+ experiment 7 December 1984 - 5 March 1985**

Vergelijking van de vorm van de curven voor de opname van N, P en K uitgedrukt in mg of mmol per plant per dag (Figuren 1-5B) geeft weinig essentiële verschillen te zien. In de zomerproef van Voogd en Sonneveld komt de stijging voor K wat later op gang dan voor N en P. Kwantitatief zijn er grote verschillen tussen de vijf onderzochte elementen. Uitgedrukt in mmol voor de opname per plant per dag is  $N \approx K \gg P \approx Ca > Mg$ . De relatieve stijging is voor P het sterkst.



Figuur 7. De relatie tussen de K-opname per slaplant en de cumulatieve instraling (KNMI-De Bilt). NFT-teelt, berekend uit gegevens van Voogd en Sonneveld.

■ proef 14 maart 1984 - 25 april 1985

+ proef 7 december - 5 maart 1985

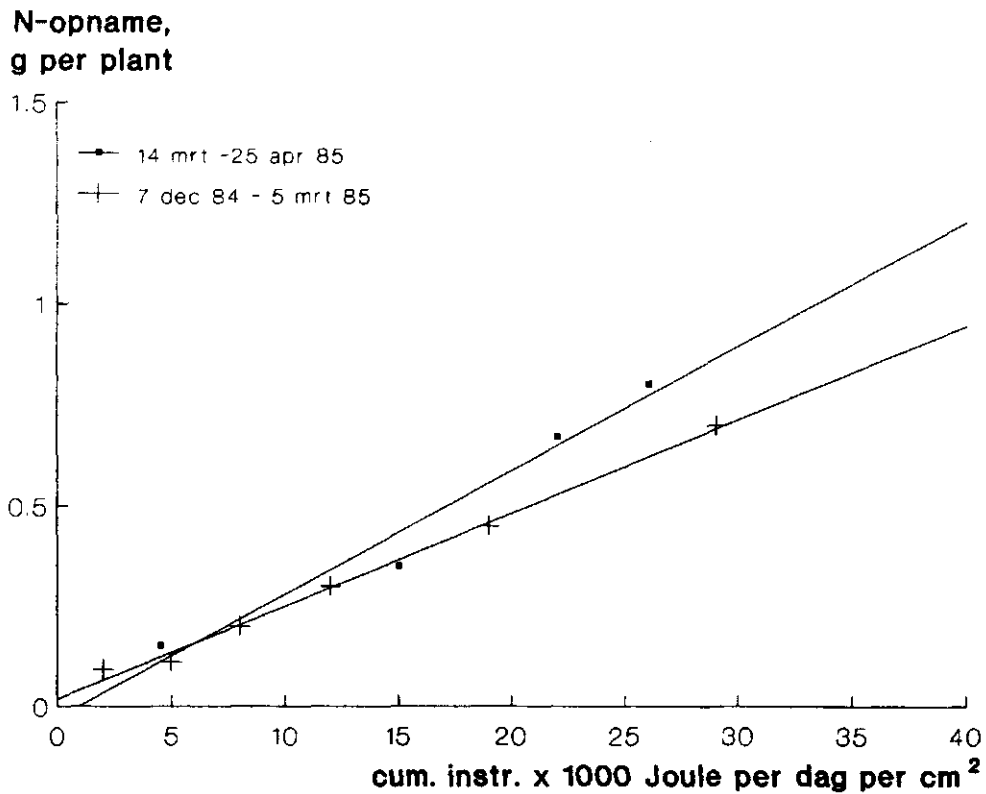
Figure 7. Relation between K uptake per lettuce plant and cumulative global radiation. NFT culture, after data from Voogd and Sonneveld.

■ experiment 14 March - 25 April 1985

+ experiment 7 December 1984 - 5 March 1985

Het afwijkende gedrag van de Mg- en vooral Ca-opnamecurven is opvallend. Het is niet te verklaren uit uitputting van Ca of Mg in de voedingsoplossing. Mogelijk is de regulering door de plant hier onvoldoende en zal in bepaalde perioden van de groei extra toevoer plaats moeten vinden. Het gebrek aan terugkoppeling van het Ca-niveau in het gewas aan de wortelopname zou kunnen samenhangen met de geringe floëemobiliteit van dit element. Het idee bestaat dat Mg wat dit betreft een positie tussen het mobiele K en het immobiele Ca inneemt (Tammes en Van Die, 1966; Van Goor, 1974; Wiersum, 1979).

Het lijkt nuttig in de toekomst aanvullende proeven te doen die duidelijk op de opname gericht zijn. Ook zal het dan interessant zijn meer exacte gegevens te verkrijgen over de relatie tussen drogestofproductie en nutriëntenopname. Op deze manier zou men een idee kunnen krijgen van het optimale gehalte in de verschillende groeifasen.



**Figuur 8.** De relatie tussen de N-opname per slaplant en de cumulatieve instraling (KNMI-De Bilt). NFT-teelt, berekend uit gegevens van Voogd en Sonneveld.

■ proef 14 maart - 25 april 1985

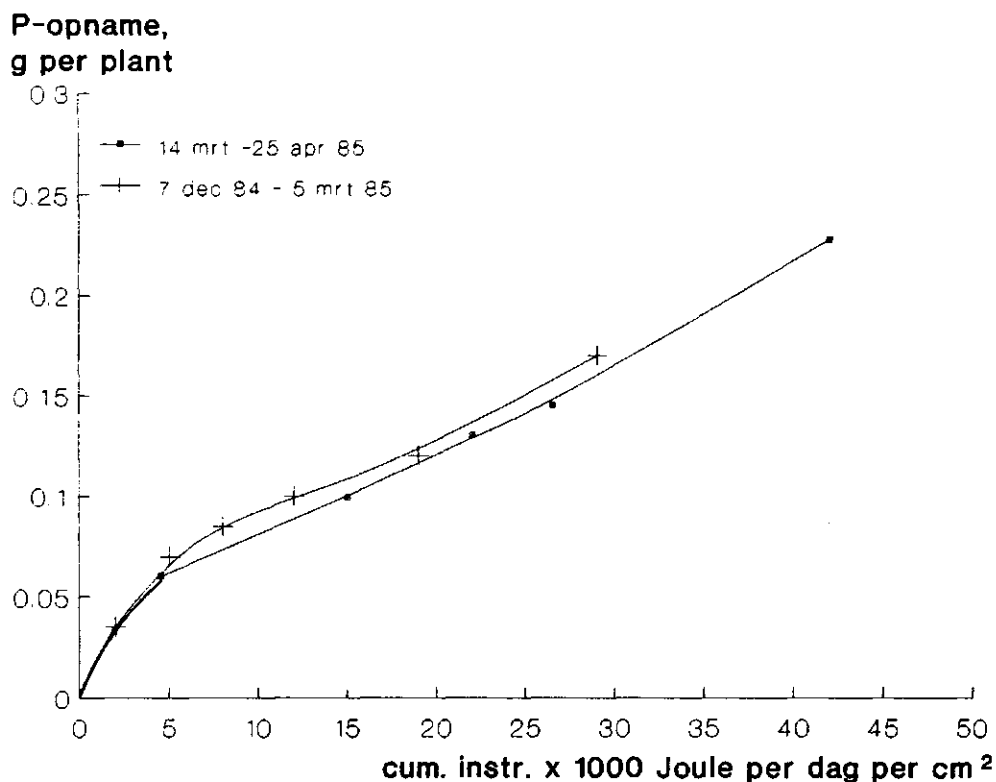
+ proef 7 december 1984 - 5 maart 1985

**Figure 8.** Relation between N-uptake per lettuce plant and cumulative global radiation. NFT culture, after data from Voogd and Sonneveld.

■ experiment 14 March - 25 April 1985

+ experiment 7 December 1984 - 5 March 1985

Voorals de invloed van de factor licht, maar ook de juiste onderlinge verhouding tussen de nutriënten, zijn in de literatuur nog onderbelicht.



**Figuur 9.** De relatie tussen de P-opname per slaplant en de cumulatieve instraling (KNMI-De Bilt). NFT-teelt, berekend uit gegevens van Voogd en Sonneveld.

■ proef 14 maart - 25 april 1985

+ proef 7 december 1984 - 5 maart 1985

**Figure 9.** Relation between P uptake per lettuce plant and cumulative global radiation. NFT culture, after data from Voogd and Sonneveld.

■ experiment 14 March - 25 April 1985

+ experiment 7 December 1984 - 5 March 1985

We willen de heren Voogd en Sonneveld (Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk) en Van der Boon en Steenhuizen (IB) hartelijk danken voor het beschikbaar stellen van hun proefresultaten.

## 5. SAMENVATTING

Een werkgroep binnen het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid houdt zich bezig met de regeling van het nutriëntenaanbod in de teelt van een aantal tuinbouwgewassen op voedingsfilm (NFT). Voordelen van NFT boven teelt in grond of kunstmatig substraat zijn betere mogelijkheden tot regeling van de water- en nutriëntentoevoer en de mogelijkheid tot volledige recirculatie (milieuaspecten).

Een literatuurstudie over de opname-curve van hoofdelementen in sla is verricht om de vereiste capaciteit van het systeem te kunnen berekenen. Daarnaast zijn ook berekeningen uitgevoerd met proefgegevens van het eigen instituut en het Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas. De gegevens zijn geselecteerd op grond van omstandigheden tijdens de groei, en omvatten proeven op grond, maar vooral op watercultuur en voedingsfilm. De laatste soort gegevens is het belangrijkste.

In de figuren 1-5 zijn de tijdsafhankelijke opname-curven weergegeven, zowel cumulatief (mg en mmol per plant) als per dag (mg of mmol per plant per dag). In de NFT-teelt was de opname (in mg per plant per dag) aan N 10-40, aan P 1-8, aan K 30-80, aan Ca 15, aan Mg 0,75-2,5 en aan S 1-5,5 onder omstandigheden van een hoge lichtintensiteit. De opname in een winterproef was aanzienlijk lager. Het is duidelijk dat licht hier een belangrijke rol speelt.

In het rapport wordt kort ingegaan op meer fundamentele aspecten van nutriëntenopname. Uit de literatuur kunnen twee conclusies getrokken worden:

- \* de plant is ook bij zeer lage concentraties in staat de hoofdelementen met voldoende snelheid te onttrekken. Voldoende suppletie is dan wel voorwaarde, en
- \* er zijn aanwijzingen dat de behoefte van een plant over een groot deel van de groeiperiode exponentieel in de tijd verloopt en is gekoppeld aan de exponentiële groei. Wijzigingen in het lichtopvangend oppervlak kunnen echter dit beeld beïnvloeden.

Hoewel globaal informatie over opname-curven bekend is, zijn meer-exacte gegevens noodzakelijk. Dit geldt ook voor de relatie tussen opname en drogestofproductie. Ook zal het verband van de nutriëntenopname met enkele omgevingsfactoren, zoals licht, nader onderzocht dienen te worden, waarbij de groeianalyse als basis moet dienen.

## 6. SUMMARY

Within the Institute for Soil Fertility a working party covering different disciplines studies the regulation of nutrient supply for some horticultural crops on nutrient film (NFT). Advantages of NFT over growth in soil or artificial substrates are the possibility to better regulate the supply of water and nutrients and to reduce environmental pollution (closed system).

This literature study on the absorption curves of macroelements in lettuce is part of that study. The data are important to determine the correct capacity of the NFT system. Absorption curves have also been calculated from results of experiments of the Glasshouse Crops Research and Experiment Station at Naaldwijk and the Institute for Soil Fertility. Selection criteria for the trials were the experimental conditions. The experiments considered were carried out on soil, but especially on water culture in aerated pots and nutrient film; the results of the nutrient film technique were the most relative to our purpose.

In figures 1-5 absorption curves for lettuce are presented. The curves show cumulative uptake (mg or mmol per plant) or absorption per day (mg or mmol per plant per day). In the NFT experiments the absorbed quantities (expressed in mg per plant per day) were: N: 10-40; P: 1-8; K: 30-80; Ca: 15; Mg: 0,75-2,5 and S: 1-5,5 under conditions of high light intensity. Absorption in an experiment in winter was considerably lower than in the above-mentioned experiment in spring. Light plays an important role in uptake.

The more fundamental aspects of nutrient uptake are dealt with very briefly. Two remarks about this can be made. Firstly, the plant only requires very low ion concentrations for uptake. A prerequisite for this is that the absorbed quantity is replenished, and that the concentration in the nutrient solution does not reach zero. Secondly the absorption in time is an exponential function. The relationship, however, is more complex because of alteration of the leaf surface area capable of absorbing radiant energy changes.

More research into the precise nature of the absorption curves of lettuce under optimum circumstances is necessary. More information about the relation between uptake and dry-matter production and the influence



of environmental factors, such as light and temperature on the absorption curves is also required.

## 7. LITERATUUR

- Adams, P. and Grimmeth, M.M., 1986. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in recirculating nutrient solutions. *Acta Hortic.* 178: 29-35.
- Ågren, G.I., 1985. Limits to plant production. *J. Theor. Biol.* 113: 89-92.
- Boon, J. van der en Steenhuizen, J.W., 1984. Het nitraatgehalte van sla op voedingsfilm. 1. Ammonium/nitraatverhoudingen; groter ammonium-aandeel of stikstofvrije oplossing voor de oogst. *Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp.* 13-84, 73 pp.
- Breeze, V.G., Canaway, R.J., Wild, A., Hopper, M.J. and Jones, L.H.P., 1982. The uptake of phosphate by plants from flowing nutrient solution. *J. Exp. Bot.* 33: 183-189.
- Evans, G.C., 1972. The quantitative analysis of plant growth. *Stud. Ecol.*, Vol. I. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 734 pp.
- Goor, B.J. van, 1974. Distribution of mineral nutrients in the plant in relation to physiological disorders. XIXth Intern. Hortic. Congress, Warszawa, II: 217-227.
- Ingestad, T., 1970. A definition of optimum requirements in birch seedlings. *I. Physiol. Plant.* 23: 1127-1138.
- Ingestad, T., 1972. Mineral nutrient requirement of cucumber seedlings. *Plant Physiol.* 52: 332-338.
- Ingestad, T., 1974. Towards optimum fertilization. *Ambio* 3: 48-54.
- Ingestad, T., 1977. Nitrogen and plant growth; maximum efficiency of nitrogen fertilizers. *Ambio* 6: 146-151.
- Ingestad, T., 1987. New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by research on forest trees and stands. *Geoderma* (in press).
- Ingestad, T. and Lund, A-B., 1979. Nitrogen stress in birch seedlings. I. Growth technique and growth. *Physiol. Plant.* 45: 137-148.
- Ingestad, T. and Ågren, G.I., 1984. Fertilization for long-term maximum production. In: K. Perttu (ed.), *Ecology and management of forest biomass production systems*. Dept. Ecol. & Environ. Res., Swed. Univ. Agric. Sci. Rep. 15: 155-165.

- Ingestad, T. and Lund, A-B., 1986. Theory and techniques for steady state mineral nutrition and growth of plants. Scand. J. For. Res.
- Jager, A. de, 1985. Response of plants to a localized nutrient supply. Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht, 137 pp.
- Letey, J., Jarrell, W.M. and Valoras, N., 1982. Nitrogen and water uptake patterns and growth of plants at various minimum solution nitrate concentrations. Plant Nutr. 5: 73-89.
- Nielsen, N.E., 1984. Crop production in recirculating nutrient solution according to the principle of regeneration. Proc. ISOCS, Lunteren: 421-447.
- Noordwijk, M. van and Willigen, P. de, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Dissertatie, Landbouwniversiteit, Wageningen, 282 pp.
- Slangen, J.H.G., Breimer, T. en Roelands, C.J., 1987. Opbrengst en opgenomen hoeveelheden plantevoedingsstoffen bij kropsla (*Lactuca sativa* L. var. *Capitata*), najaarsteelt volle grond. Ad Fundum no. 4, 36-45.
- Sonneveld, C., 1985. Kationen-verhoudingen in de voedingsoplossing bij de teelt van sla in water (onderzoek 1984-1985). Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Intern verslag 45, 14 pp.
- Sonneveld, C. en Krey, C. de, 1986. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen, geteeld in water of substraten. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk en Proefstation voor de Bloemisterij, Aalsmeer, Serie Voedingsoplossingen Glastuinbouw, No. 8, 30 pp.
- Steenhuizen, J.W., 1985. Het nitraatgehalte van sla op voedingsfilm. Ammonium/nitraatverhoudingen, stikstofconcentraties, en Ca-, K- en Mg-verhoudingen van de voedingsoplossing; invloed op het optreden van rand. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 16-85, 105 pp.
- Tammes, P.M.L. and Die, J. van, 1966. Studies on phloem from *Yucca flaccida* Haw. IV. Proc. K. Ned. Akad. Wet., Secr. C, Biol. Med. Sci. 69: 655-659.
- Willumsen, J., 1984. Nutritional requirements of lettuce in water culture. Proc. ISOSC, Lunteren: 777-791.
- Wiersum, L.K., 1979. Ca-content of the phloem sap in relation to Ca-status of the plant. Acta Bot. Neerl. 28: 221-224.
- Zink, F.W. and Yamaguchi, M., 1962. Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce. Hilgardia 32: 471-500.

BIJLAGE 1. Formule volgens Ingestad voor de voedingsbehoefte van een plant op tijdstip  $t$  uitgedrukt in die op tijd 0.

Hieronder zijn de volgende symbolen gebruikt:

$n$  = hoeveelheid van een voedingsstof in de plant,

$n_0, n_{t1}, n_{t2}, \text{enz.}$  = hoeveelheid voedingsstof in de plant op tijdstip 0,  $t_1, t_2, \text{enz.}$ ,

$R_A$  = de in tekst genoemde relatieve additie.

$$\text{Voor } R_A \text{ geldt: } R_A = \frac{1}{n} \frac{dn}{dt}$$

$$\text{Of: } R_A = \frac{d(\ln n)}{dt} = \frac{\ln n_{t2} - \ln n_{t1}}{t_2 - t_1}$$

$$R_A(t_2 - t_1) = \ln(n_{t2}/n_{t1})$$

$$e^{R_A(t_2 - t_1)} = n_{t2}/n_{t1}$$

$$\text{Of: } n_{t2} = n_{t1} \cdot e^{R_A(t_2 - t_1)}$$

Als " $n_t$ " is de opname.plant. $^{-1}\text{uur}^{-1}$  na tijd  $t$ , dan geldt:

$$(n_{t+1/24} - n_0) = n_0 e^{R_A(t+t/24 - 0)}$$

$$(n_t - n_0) = n_0 e^{R_A(t - 0)}$$

$$\frac{(n_{t+1/24} - n_0)}{(n_t - n_0)} = \frac{n_0 e^{R_A \cdot t} (e^{R_A \cdot 1/24} - 1)}{n_0 \cdot e^{R_A \cdot t} (e^{R_A \cdot 1/24} - 1)} =$$