

S P R E N G E R I N S T I T U U T

Haagsteeg 6 , Wageningen

Tel. 08370-19013

RAPPORT NO. : 1853

ONDERWERP : De houdbaarheidsformule

UITGEBRACHT AAN : De Directeur van het
Sprenger Instituut.

SAMENGESTELD DOOR : Dipl. Ing. H.F.Th. Meffert.

Proj. nr. 48

Wageningen, 28 februari 1973

1. Samenvatting

Houdbaarheidsgrafieken zijn een erkend middel om de maximale bewaarduur van een produkt bij verschillende bewaartemperaturen te bepalen.

Kwantificeren van deze grafieken in een houdbaarheidsformule heeft voordelen. De houdbaarheidsformule is:

$$Q = 1 - \frac{\int_0^t (T + T_0) dt}{Hd} \quad \text{als } T \text{ varieert}$$

$$Q = 1 - \frac{(T + T_0)t}{Hd} \quad \text{als } T \text{ constant is.}$$

Het geldigheidsbereik van deze formules wordt bepaald aan de hand van beschikbare informatie.

- 1) Opmerking: nl. over recht. verband — waarde Q-as
- 2) Wanneer beschikbaarheid niet vastligt hangt Hd (productie kenmerk) hier van af.
- 3) Hd: product kenmerk waarschijnlijk per partij, per kenmerk.

2. Inhoud.

Blz.

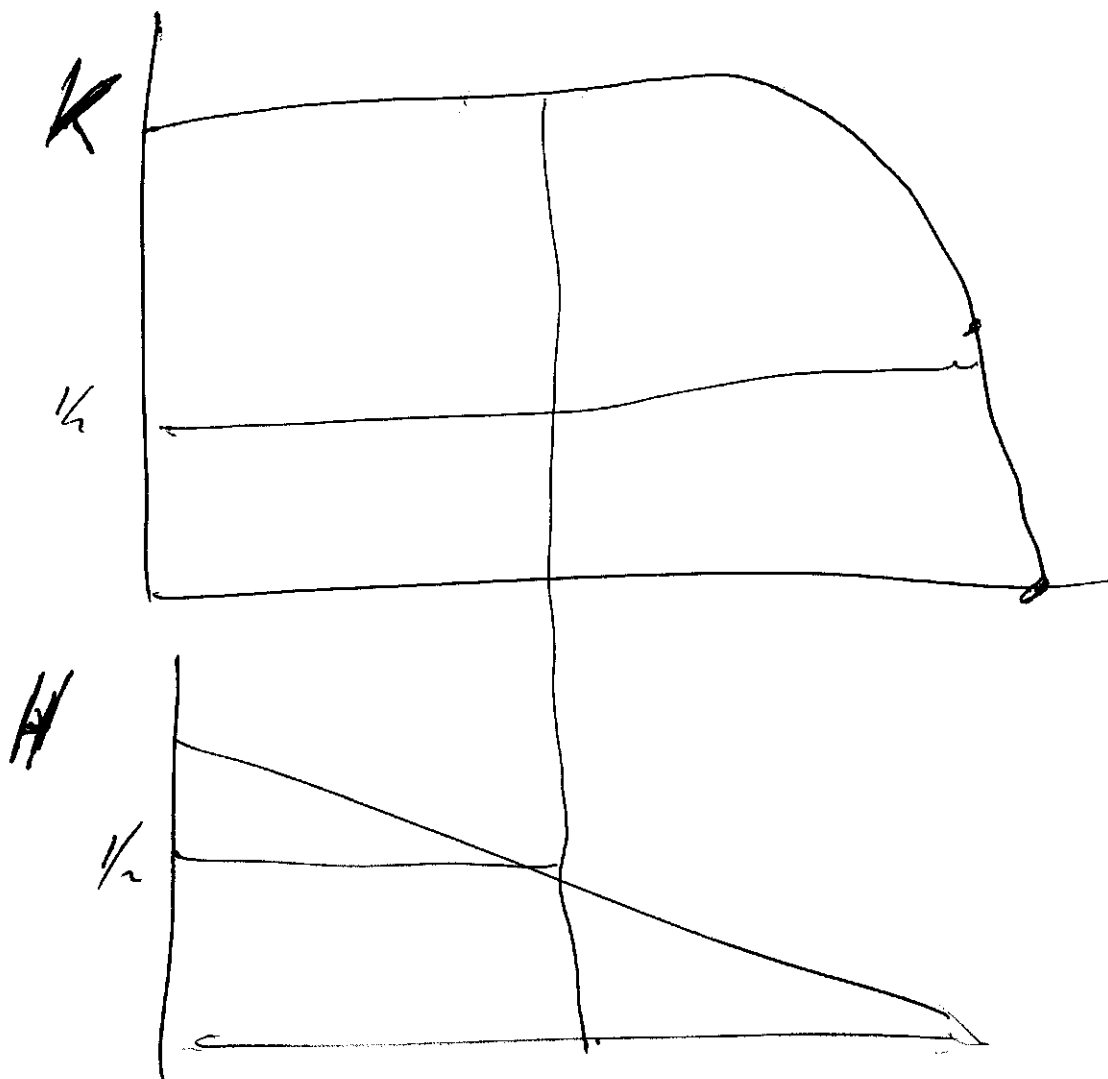
1. Samenvatting	
2. Inhoud	
3. De houdbaarheidsformule	1
3.1 Inleiding	1
3.2 Houdbaarheidsgrafiek	2
4. Fysisch-chemische achtergrond	4
4.1 Vraagstelling	4
4.2 Kwaliteit en reactiekinetiek	4
4.3 Conclusie	7
5. Appendix	7
5.1 Voorbeeld appelsap	7
5.2 Voorbeeld sperciebonen	7
5.3 Voorbeeld	8
5.4 Bepaling van T_0 , H_d en betrouwbaarheid R.	9
6. Tabellen en figuren	10
7. Literatuur	56
8. Symbolen	57

3. De Houdbaarheidsformule.

3.1. Inleiding

Het voordeel van koeling als bewaarmethode voor tuinbouwprodukten, uit zich in een verlengde opslagduur. De snelheid van het kwaliteitsverlies wordt vertraagd. Kennis van het kwaliteitsverloop afhankelijk van de bewaar-temperatuur is van groot belang om de invloed van een spreiding in opslag- en transporttemperatuur te beoordelen. Toch blijkt het moeilijk dit kwalitatieve verband te kwantificeren. De moeilijkheid schuilt daarin, dat men bepaalde eigenschappen met metingen in de tijd wel kan volgen doch dit verschaft nog geen "totaal"-indruk. Deze "totaal"-indruk is echter wel de gewenste informatie.

Denk er om dat houdbaarheid
~~ontstaat~~ q, d, a en niet
 kwaliteit $1/1/1$ Houdbaarheid, wel
lucrat



3.2. Houdbaarheidsgrafieken.

Een empirische benadering van het kwaliteitsverloop afhankelijk van tijd en temperatuur heeft een aantal zogenaamde "Houdbaarheidsgrafieken" opgeleverd, waarin het verloop van de totaalindruk "kwaliteit" in de tijd tot een bepaalde grens is weergegeven, met de opslagtemperatuur als parameter.

De door Tomkins ¹⁾ ²⁾ aangegeven weg volgend kunnen de empirisch gevonden houdbaarheidsgrafieken worden omgezet in een werkelijk hanteerbare formule, die ook de invloed van temperatuurveranderingen in de tijd weer kan geven:

$$Q = 1 - \frac{\int_0^t (T + T_0) dt}{Hd} \quad (1)$$

Temp. waarbij kwaliteit zijn afwijking in kwaliteit.

Of, als $T = \text{constant}$ voor het betrokken tijdsinterval:

$$Q = 1 - \frac{(T + T_0)t}{Hd} \quad (1a)$$

Houdbaarheidsconstante (Houdbaarheidsconstante, constantie of afwijking)

De constanten T_0 , Hd worden door middel van een trial and error methode uit de reeds empirisch ontworpen grafieken bepaald. Tabel 1 en 2 geeft deze waarden weer met de mate van overeenstemming, individueel en samengeperst tot groepen (volgens Tomkins). Het blijkt dat de samenvatting tot groepen een veel slechtere weergave met zich brengt.

Eén produkt valt duidelijk uit de toon : "ongewassen waspeen". In de figuren 1 t/m 18 en bijbehorende tabellen is de oude en de nieuwe presentatie weergegeven. Met uitzondering van ongewassen waspeen zijn de verschillen niet onrustbarend, vooral wanneer men in aanmerking neemt, dat :

1. de ervaring gebaseerd is op normale omstandigheden, dat wil zeggen gekoelde opslag bij lage temperaturen en hoge relatieve vochtigheid; bij hoge temperaturen - kamerklimaat - en lage relatieve vochtigheid (50 à 60%) treden afwijkingen op.

2. de opslagtemperatuur 0°C in vele gevallen bevroingsgevaar betekent en daarom de gegevens voorzichtig zijn gehanteerd. Het valt op dat bij 0°C alleen afwijkingen naar boven voorkomen. De systematische afwijking van maximaal $1,5^{\circ}\text{C}$ naar boven bij een bewaartemperatuur van 0°C is hiervoor de verklaring. Bij een bewaartemperatuur van 5°C is de afwijking $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

3. bij hoge bewaartemperaturen de ongunstige ligging van de kwaliteitslijn veroorzaakt wordt door een temperatuursverhoging als gevolg van groei.

Dit alles in aanmerking genomen menen wij, dat een houdbaarheidsformule een nuttig instrument is voor het beschrijven van kwaliteitsverliezen tijdens opslag.

4. Fysisch-chemische achtergrond.

4.1. Vraagstelling.

De houdbaarheidsgrafiek (figuur 1) legt het verband vast tussen produktkwaliteit, bewaarduur en bewaartemperatuur. Het wordt geconstrueerd door de meetpunten die op de tijd-as van de grafiek liggen, rechtlijnig te verbinden met het kwaliteitspunt voor vers produkt ($Q = 1$, $t = 0$).

De lijnen voldoen bij benadering aan de vergelijking:

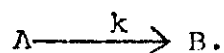
$$Q = 1 - \frac{(T + T_0)t}{Hd} \quad (1a)$$

In het onderstaande wordt nagegaan of houdbaarheidsgrafieken eenvoudig af te leiden zijn uit omzettingssnelheidsmetingen van kwaliteitshepalende stoffen.

4.2. Kwaliteit en reactiekinetiek.

Kwaliteit (Q) van een produkt is een combinatie van factoren als geur, kleur, grootte, aantal aanwezige micro-organismen, vitamine gehalte.

De verandering van een factor met de tijd voldoet vaak aan de omzettingssnelheidsvergelijking (2) voor chemische reacties³). Veronderstel dat de produktkwaliteit wordt bepaald door de concentratie van component A (C_A) in het produkt. De reactievergelijking heeft de vorm



De omzettingssnelheid van A is een functie van de concentratie (C_A), dus :

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^n \quad (2)$$

Integratie van vergelijking (2), met de beëinvoorwaarde

$$C_A = C_{A,1} \text{ voor } t = 0, \text{ geeft :}$$

$$\text{als } n \neq 1 \quad C_A^{1-n} - C_{A,1}^{1-n} = -k(1-n)t \quad (3a)$$

$$\text{als } n = 1 \quad \ln C_A - \ln C_{A,1} = -kt. \quad (3b)$$

Het verband tussen kwaliteit en concentratie is :

$$Q = \frac{C_A^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}}{C_{A,1}^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}} \quad (n \neq 1) \quad (4a)$$

$$Q = \frac{\ln C_A - \ln C_{A,0}}{\ln C_{A,1} - \ln C_{A,0}} \quad (n = 1). \quad (4b)$$

Vergelijking (4) gaat uit van de voorwaarden :

$$Q = 1 \text{ als } C_A = C_{A,1}$$

$$Q = 0 \text{ als } C_A = C_{A,0}.$$

Uit vergelijking (4) volgt door hergroepering :

$$C_A^{1-n} - C_{A,1}^{1-n} = (Q-1)(C_{A,1}^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}) \quad (n \neq 1) \quad (5a)$$

$$\ln C_A - \ln C_{A,1} = (Q-1)(\ln C_{A,1} - \ln C_{A,0}) \quad (n=1). \quad (5b)$$

Substitutie van vergl. (5) in vergl. (3) geeft rechte lijnen in de houdbaarheidsgrafiek voor de bewaartemperatuur (T) waarvoor de reactiesnelheidsconstante (k) geldt, mits de orde van de reactie (n) bekend en constant is.

$$Q = 1 - \frac{k(1-n)t}{C_{A,1}^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}} \quad (n \neq 1) \quad (6a)$$

$$Q = 1 - \frac{kt}{\ln C_{A,1} - \ln C_{A,0}} \quad (n = 0) \quad (6b)$$

$n = \frac{1}{2}?$

Vergelijking (6) komt overeen met vergelijking (1) als de reactiesnelheidsconstante (k) met behulp van de Arrhenius-vergelijking (7) wordt uitgedrukt als functie van de bewaartemperatuur (T).

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RgT}} \quad (7)$$

Vergelijking (7) kan lineair benaderd worden als het beschouwende temperatuurgebied niet groot is ($< 30^\circ\text{C}$) en $\frac{E}{Rg}$ een gunstige waarde heeft :

$$k = k_0 (aT + b)$$

of $k = k_0 a \left(T + \frac{b}{a}\right)$. (8)

Het functieverband, waaraan de kwaliteitslijnen voldoen, volgt uit combinatie van vergl. (6) en (8) :

$$Q = 1 - \frac{k_0 a (1-n) \left(T + \frac{b}{a}\right) t}{C_{A,1}^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}} \quad (n \neq 1) \quad (9a)$$

$$Q = 1 - \frac{k_0 a \left(T + \frac{b}{a}\right) t}{\ln C_{A,1} - \ln C_{A,0}} \quad (n = 1) \quad (9b)$$

Vergelijking (9) is identiek aan vergelijking (1) als :

$$T_0 = \frac{b}{a}$$

$$Hd = \frac{C_{A,1}^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}}{k_0 a (1-n)} \quad (n \neq 1) \quad (10a)$$

$$Hd = \frac{\ln C_{A,1} - \ln C_{A,0}}{k_0 a} \quad (n = 1) \quad (10b)$$

Uit reactiekinetiekmetingen wordt de reactiesnelheidsconstante (k) bij één temperatuur bepaald met behulp van

vergelijking (3). De orde van de reactie (n) wordt bekend verondersteld. De gevonden stellingen k, T, ingevuld in vergelijking (8), leveren ko a en $\frac{b}{a}$ op.

Met vergelijking (10) en (11) kunnen de constanten To en Hd uit vergelijking (1) berekend worden.

4.3. Conclusie .

Het verloop van kwaliteitsbepalende produkteigenschappen monotoon afhankelijk van tijd en temperatuur mag worden geacht aan de wetten van de chemische reactiekinetiek te voldoen. Door transformatie van coördinaten kan dit verloop als een rechte lijn worden weergegeven. Voor het maken van een houdbaarheidsgrafiek is het daarom toelaatbaar rechte lijnen te trekken tussen begin- en meetpunt. To en Hd worden uit de reactiekinetiek bepaald, mits de bepalingen met voldoende nauwkeurigheid zijn uitgevoerd.

5. Appendix.

5.1. Voorbeeld appelsap

De vorming van oxy-methyl-furfurol in geconcentreerd appelsap⁴⁾ is in fig. 19 in beeld gebracht. Een kwaliteitsnorm kan zijn dat $C_{A,0} = 5\left(\frac{mg}{100 g}\right)$ als $Q = 0$, d.w.z. de concentratie van OMF mag niet groter zijn dan $5\frac{mg}{100 g}$.

Uit de meetresultaten (fig. 19) volgt de houdbaarheidsgrafiek (fig. 20). De orde van de reactie is $n = 0,5$ zodat met vergl. (3a) de reactiesnelheidsconstante (k) voor de verschillende temperaturen berekend kan worden (zie tabel 3). De getalwaarden van tabel 3 in fig. 21 uitgezet, levert een rechte lijn op en daarmee kan To en Hd bepaald worden. Fig. 22 vergelijkt de normaal geconstrueerde houdbaarheidsgrafiek (rechte lijnen), met de uit vergl. (4a) berekende houdbaarheidsgrafiek.

5.2 Voorbeeld sperciebonen

Het vitamine C gehalte in bewaarde verse sperciebonen verloopt gedurende de bewaartijd volgens fig. 23.⁵⁾

De orde van de reactie is $n=1$. Met vergl. (3b) en fig. 23 wordt de reactiesnelheidsconstante (k) als functie van de bewaartemperatuur berekend. Het resulteert in fig. 24, waaruit T_0 en H_d te berekenen zijn. In fig. 25 wordt de normale en berekende houdbaarheidsgrafiek met elkaar vergeleken.

5.3. Voorbeeld

Lorentzen ⁶⁾ heeft de bewaartijd van diverse produkten bepaald. Zijn waarnemingen zijn in onderstaande figuur samengebracht.

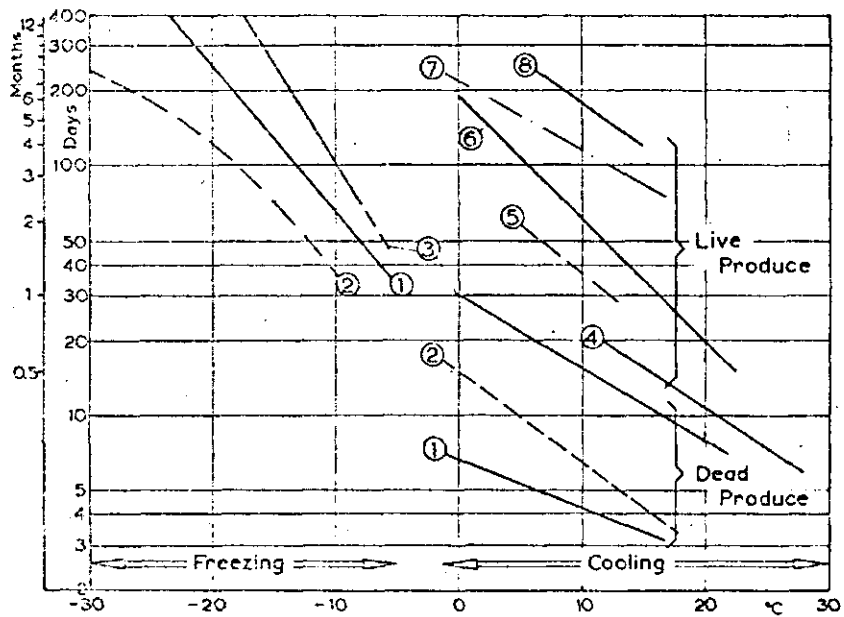


Fig. — Rough draft of keeping time for some food products as a function of temperature. Note the logarithmic scale in judging the magnitude of the variation.

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Raw chicken. | 5. Orange. |
| 2. Lean fish. | 6. Apple, long storage variety. |
| 3. Beef. | 7. Eggs. |
| 4. Banana. | 8. Apple in controlled atmosphere storage. |

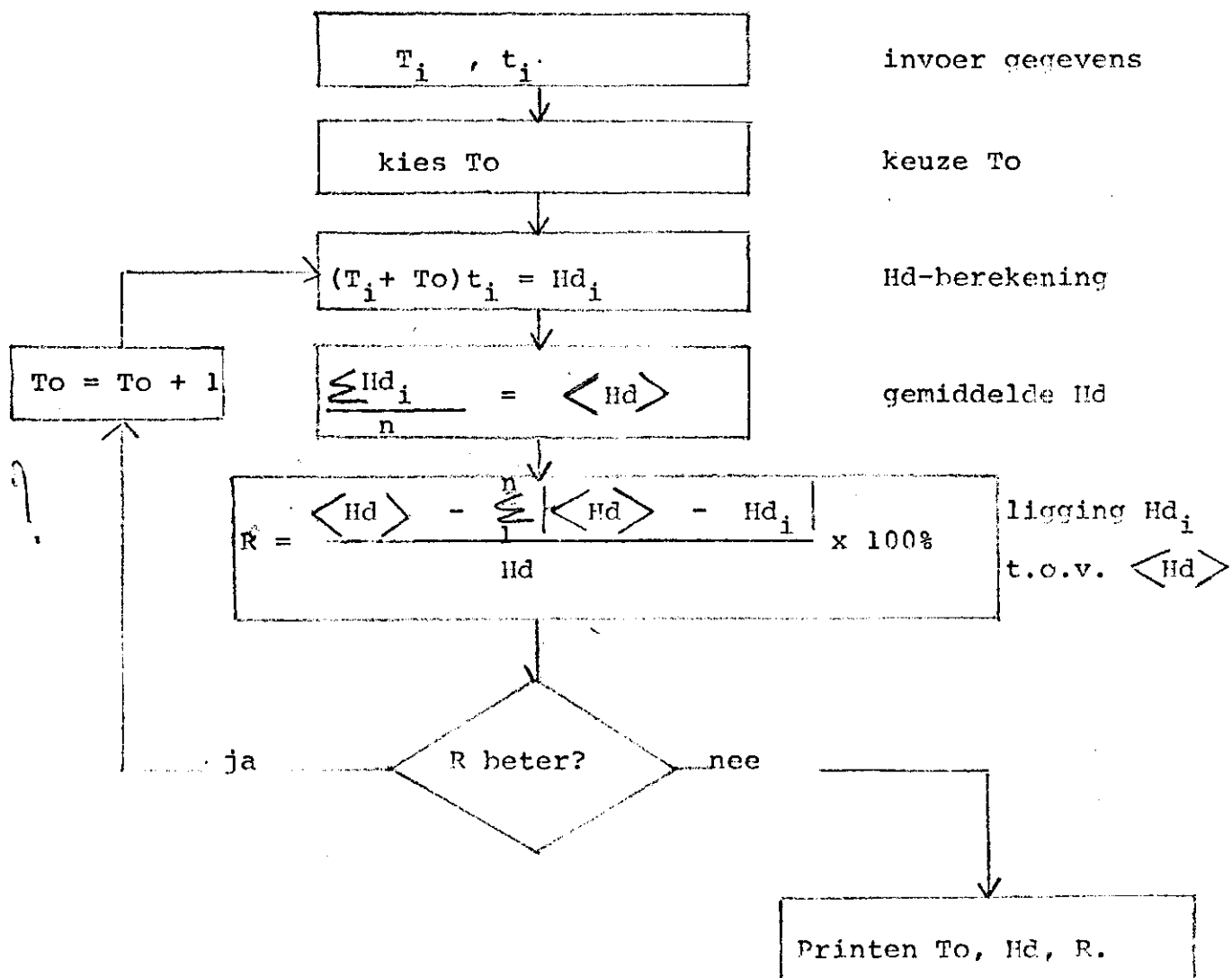
Uit deze informatie is de houdbaarheidsformule bepaald. De waarden van T_0 en H_d zijn in tabel 4 opgenomen, terwijl ook het temperatuurgebied vermeld is.

5.4. Bepaling T_0 , H_d en betrouwbaarheid R .

De gegevens bestaan uit n paren (T, t) . Kies een T_0 en bereken H_d voor ieder paar (T, t) .

Bepaal die T_0 waarvoor de berekende H_d -waarden weinig of niets van elkaar verschillen.

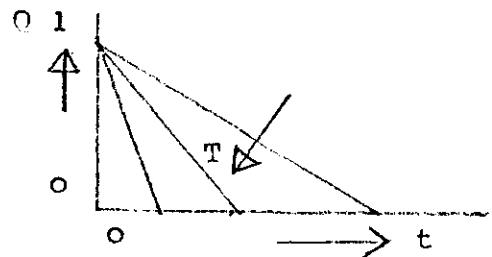
Het blokschema is :



no.	produkt	To (°C)	Hd
1	Groen, licht doorgeslagen, tomaat	-7	100
2	Orange, licht doorgeslagen, tomaat	-8	71
3	Rode tomaat	-2	81
4	Komkommer	-10	25
5	Sla	3	38
6	Andijvie	3	41
7	Bloemkool	1	69
8	Spruitkool	3	71
9	Waspeen (ongewassen)	1	220
10	Waspeen (gewassen)	1	43
11	Postelein	7	40
12	Witlof	1	37
13	Aardbeien	7	40
14	Pruim (victoria)	4	84
15	Pruim (andere rassen)	5	52
16	Champignons	6	38
17	Roos	1	20
18	Narcis	1	22

Tabel 1 : To en Hd voor diverse produkten.

$$Q = 1 - \frac{(T + T_o) t}{Hd}$$



produkt (zie tabel 1)	To (°C)	Hd	R (%)	To gegroepeerd			To + Hd gegroepeerd				
				groep (no)	To (°C)	Hd	R (%)	groep (no)	To (°C)	Hd	R (%)
1	-7	100	94	} 1	-8	100	92	} 1	-8	65	42
2	-8	71	89			71	89				82
4	-10	25	85			25	79				52
3	-2	81	83	2	-2	81	83	2	-2	81	83
5	3	38	87	} 3	1	38	72	} 3	1	43	-190
6	3	41	85			41	74				70
7	1	69	76			69	76				46
8	3	71	80			71	62				42
9	1	193	55	} 4	5	193	55	} 4	5	51	95
10	1	43	87			43	87				87
12	1	37	81			37	81				70
17	1	20	82			20	82				44
18	1	22	92			22	92				45
11	7	40	86	} 4	5	40	84	} 4	5	51	63
13	7	40	86			40	84				65
14	4	84	87			84	85				50
15	5	52	96			52	96				95
16	6	38	85	38	84	63					

Tabel 2 : Betrouwbaarheid bij middeling van Hd en To.

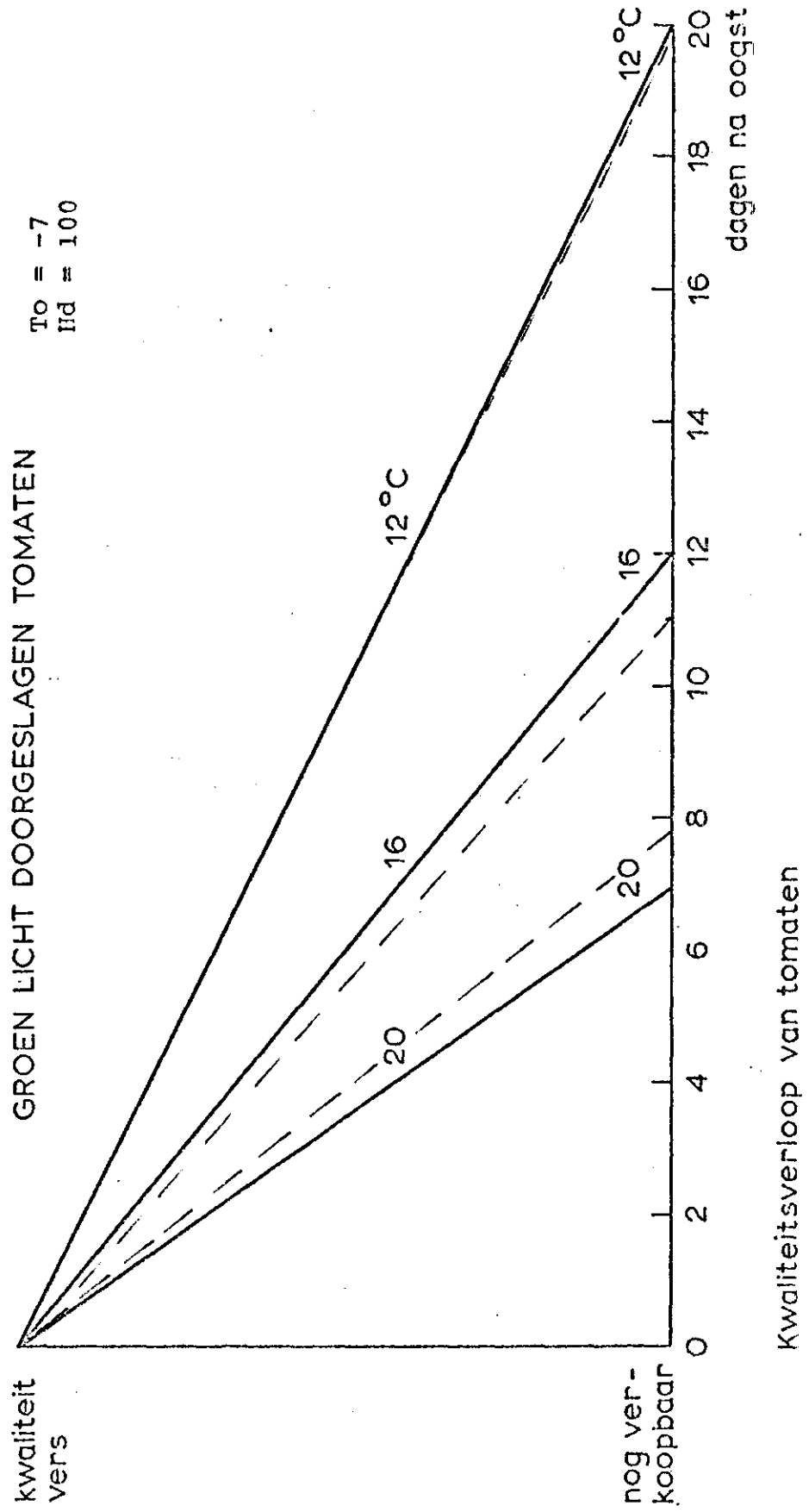
T °C	k
95	0,284
90	0,236
85	0,126
80	0,080

Tabel 3 : De reactiesnelheidsconstante k als functie van de temperatuur voor de vorming van OMF in appelsap.

Tabel 4 : Houdbaarheidsformule constanten voor de waarnemingen van Lorentzen.

produkt	Hd	To (°C)	temperatuur- gebied (°C)	
			min.	max.
kip	1150	27	-23	-10
	120	18	0	17
vis (mager)	1800	40	-30	-15
	90	6	0	18
vlees	800	19	-17	-8
	220	9	0	
banaan	150	-4	12	28
sinaasappel	420	4	5	13
appel (lang houd- baar)	600	1	5	15
ei	2000	10	0	17
appel (CA-bewa- ring)	1920	1	7	15

fig. 1



produkt : Groen licht doorgeslagen tomaten.

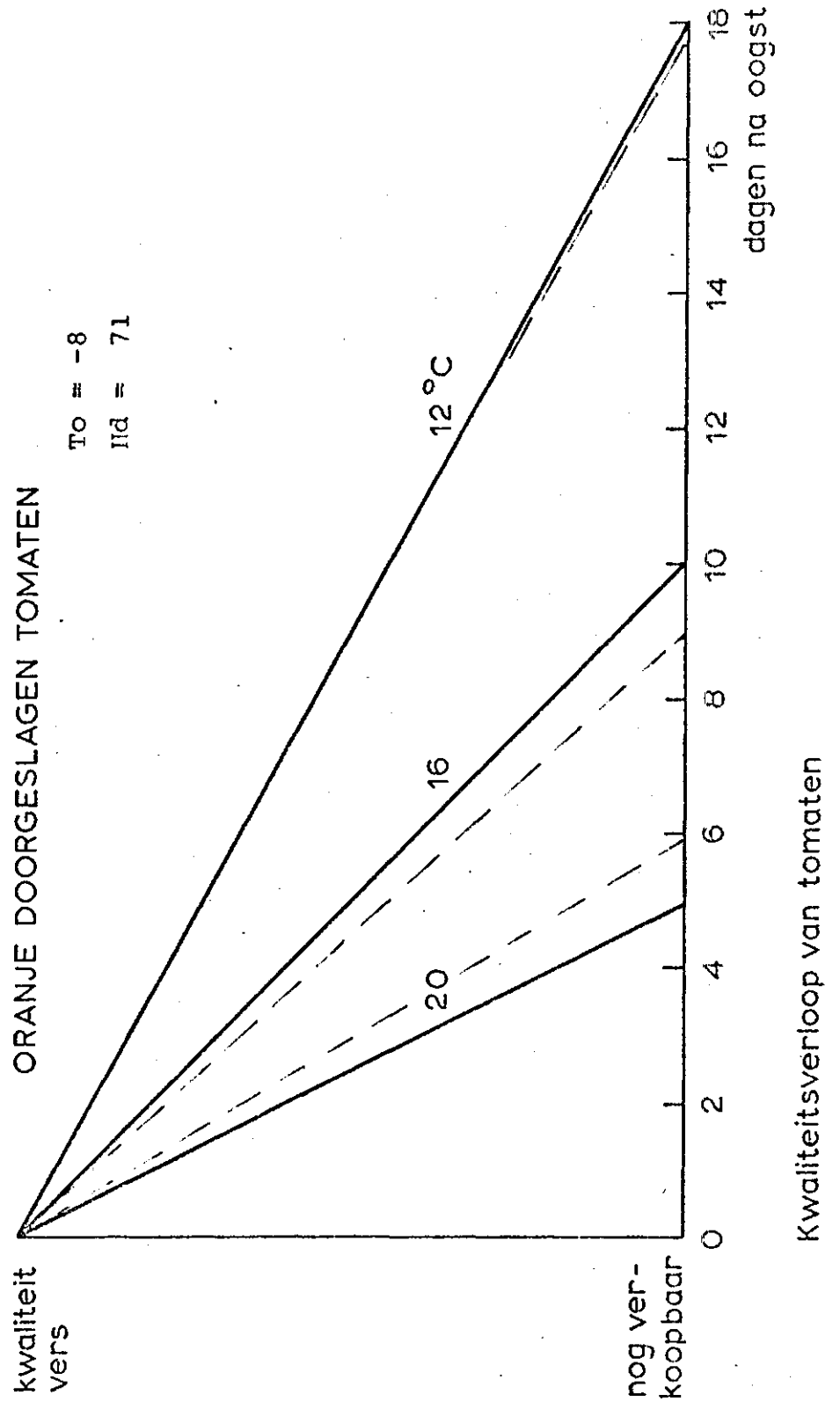
Q = 0 To = -7 Hd = 100

gemeten					formule	
T	t	T.t	(T+To)t	Hd	T	t
20	7	140	91	100	20	7.7
16	12	152	108		16	11.1
12	20	144	100		12	20.0

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : theorie = praktijk



produkt : Orange doorgeslagen tomaten

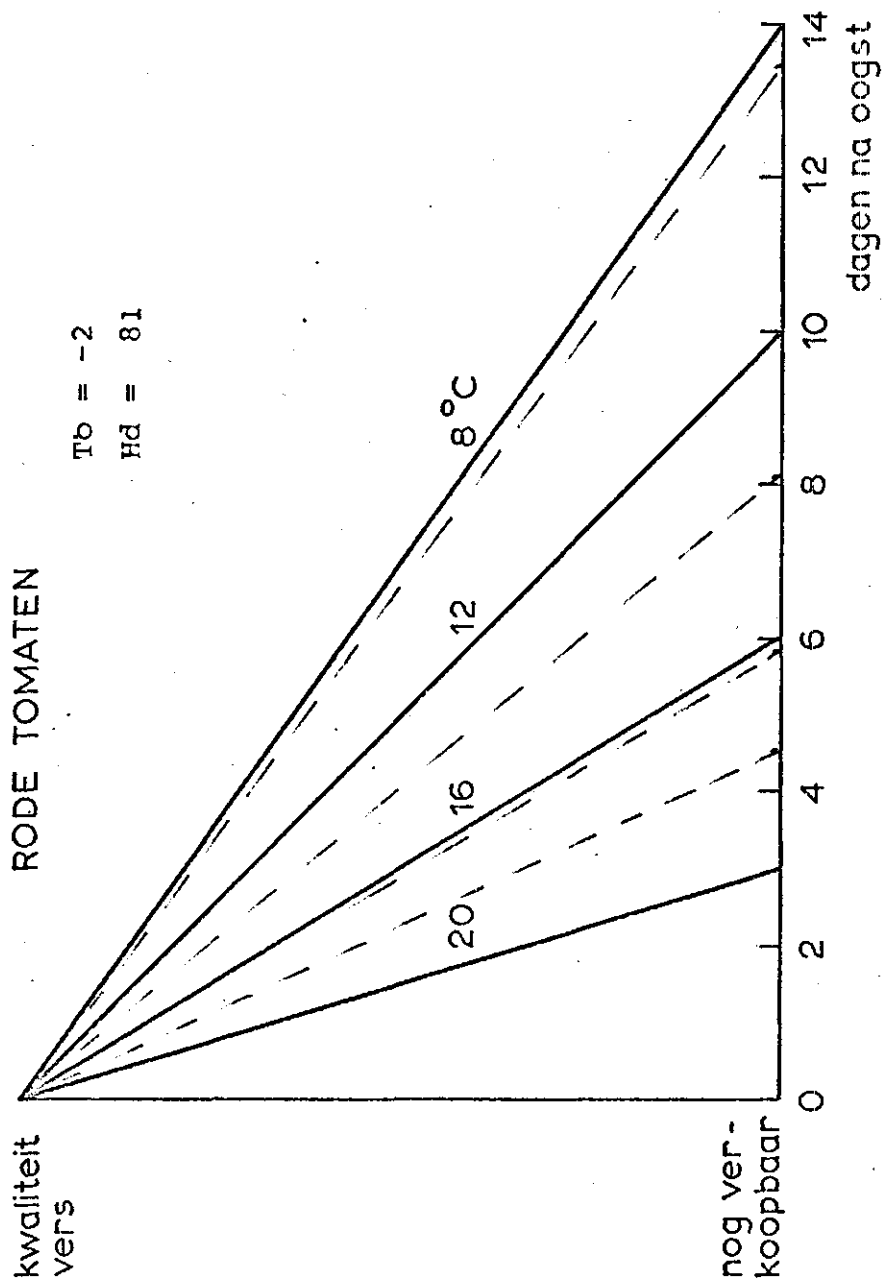
$Q = 0$ $T_0 = -8$ $H_d = 71$

gemeten					formule	
T	t	T.t	$(T+T_0)t$	H_d	T	t
20	5	100	60	71		5.9
16	10	160	80			8.9
12	18	216	72			17.8

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : theorie : praktijk



Kwaliteitsverloop van tomaten

produkt : Rode tomaten

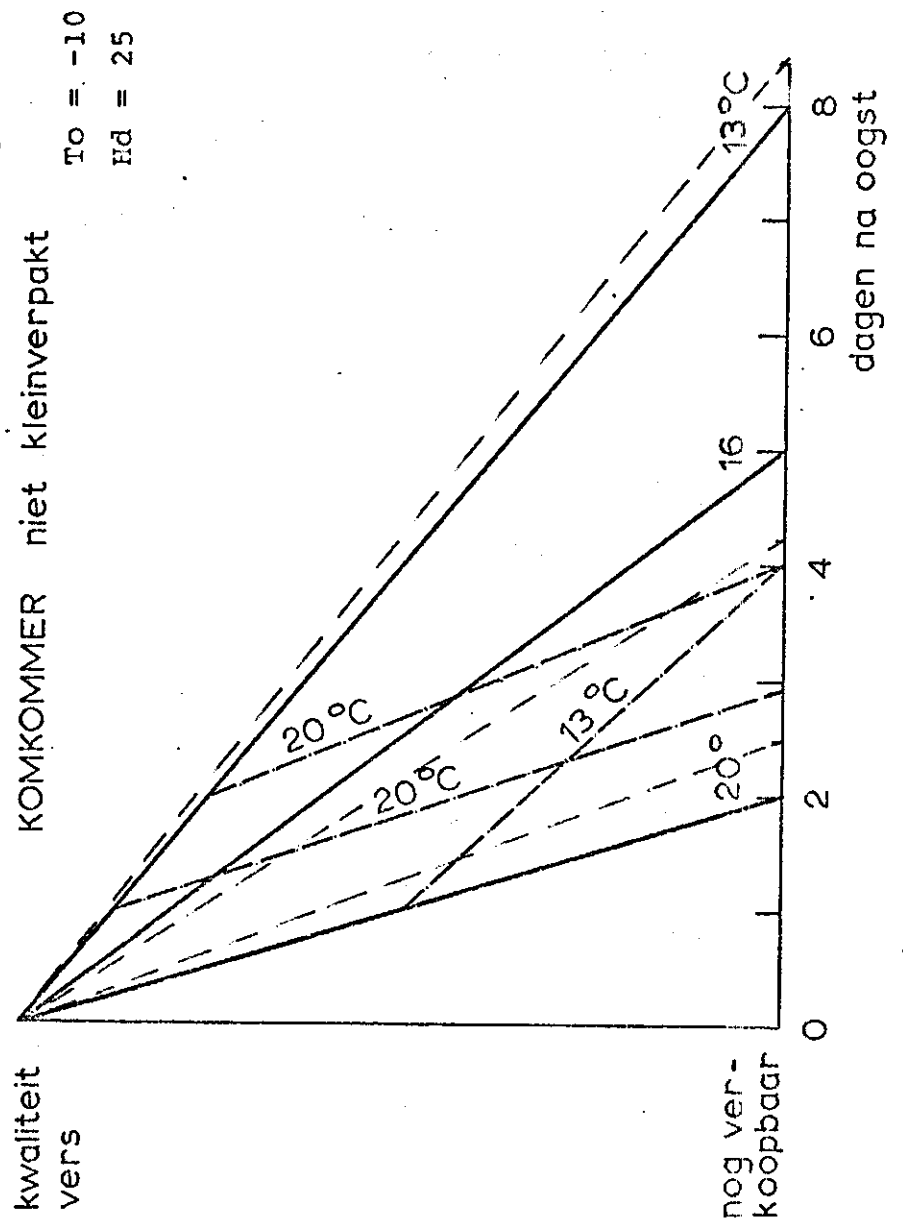
$Q = 0$ $To = -2$ $Hd = 81$

gemeten				formule		
T	t	T.t	$(T+To)t$	Hd	T	t
20	3	60	54	81		4.5
16	6	90	84			5.8
12	10	120	100			8.1
8	14	112	84			13.5

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : de theoretische $t_{20} = 4.5$ is te lang.
 Deze is niet meer evenredig kleiner te maken door To en Hd te variëren, omdat dan t_{16} , t_{12} , en t_8 evenredig slechter worden.

Conclusie : $Q = 1 - \frac{\sum \text{grd} + Tot}{Hd}$
 waarin $\text{grd} = T.t$
 geldt voor $8 \leq T \leq 16$



Kwaliteitsverloop van komkommers

produkt : Komkommer (niet kleinverpakt)

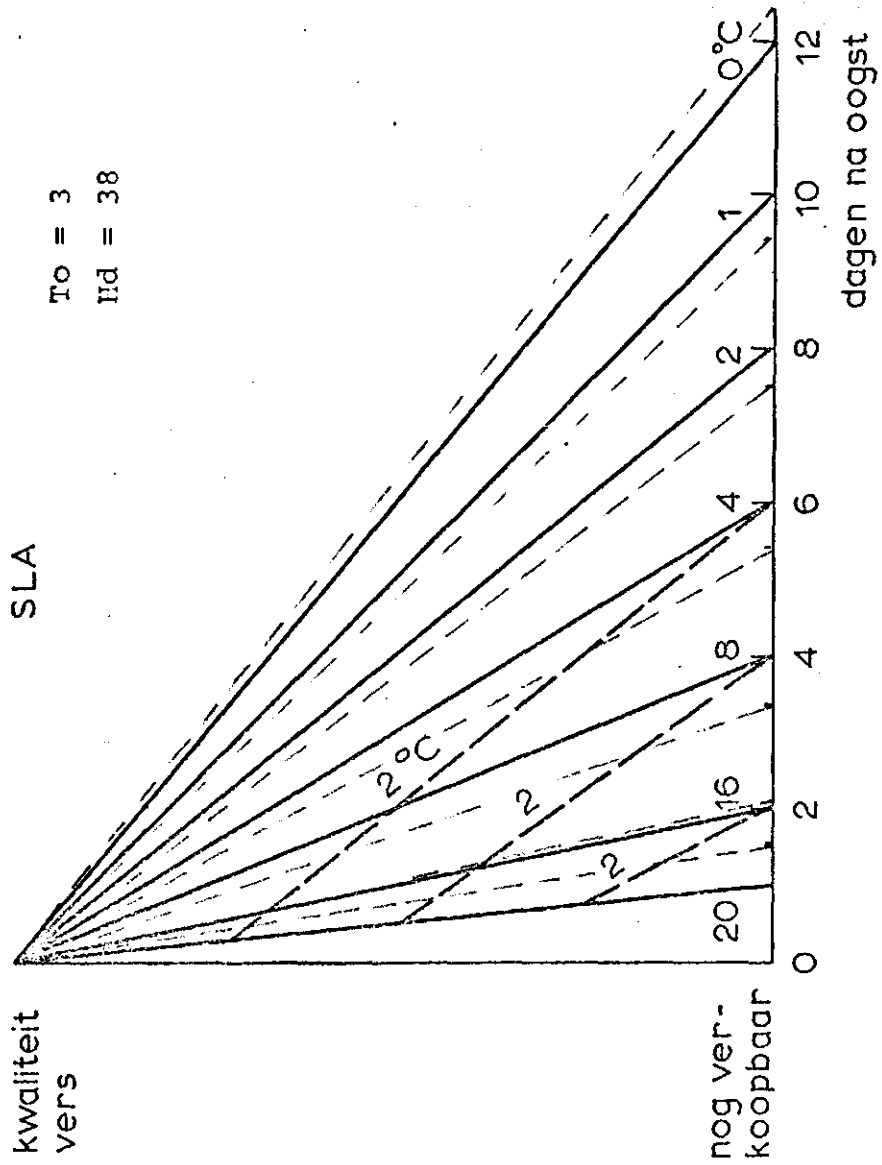
$Q = 0$ $T_0 = -10$ $H_d = 25$

gemeten					formule	
T	t	T.t	$(T+T_0)t$	H_d	T	t
20	2	40	20	25		2.5
16	5	80	30			4.2
13	8	104	24			8.3

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : theorie ≈ praktijk.



produkt : Sla

$Q = 0$ $T_0 = 3$ $H_d = 38$

gemeten					formule	
T	t	T.t	$(T+T_0)t$	H_d	T	t
20	1	20	23	38		1.6
16	2	32	38			2.0
8	4	32	44			3.4
4	6	24	42			5.4
2	8	16	40			7.6
1	10	10	40			9.5
0	12	0	36			12.4

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : theorie = praktijk.

fig. 6

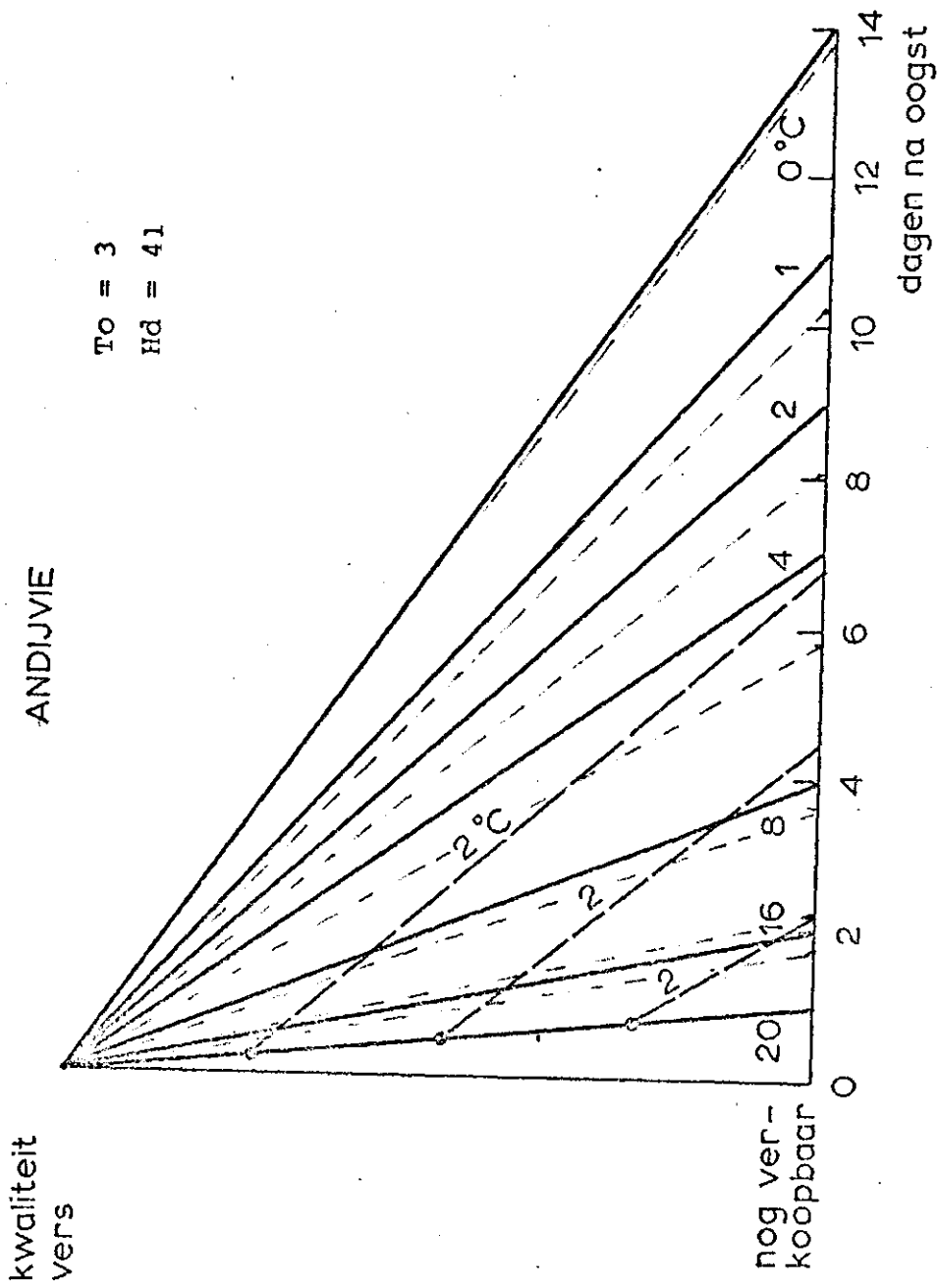


Fig. 8 Kwaliteitsverloop van andijvie

produkt :

$$Q = 0 \quad T_0 = 3 \quad H_d = 41$$

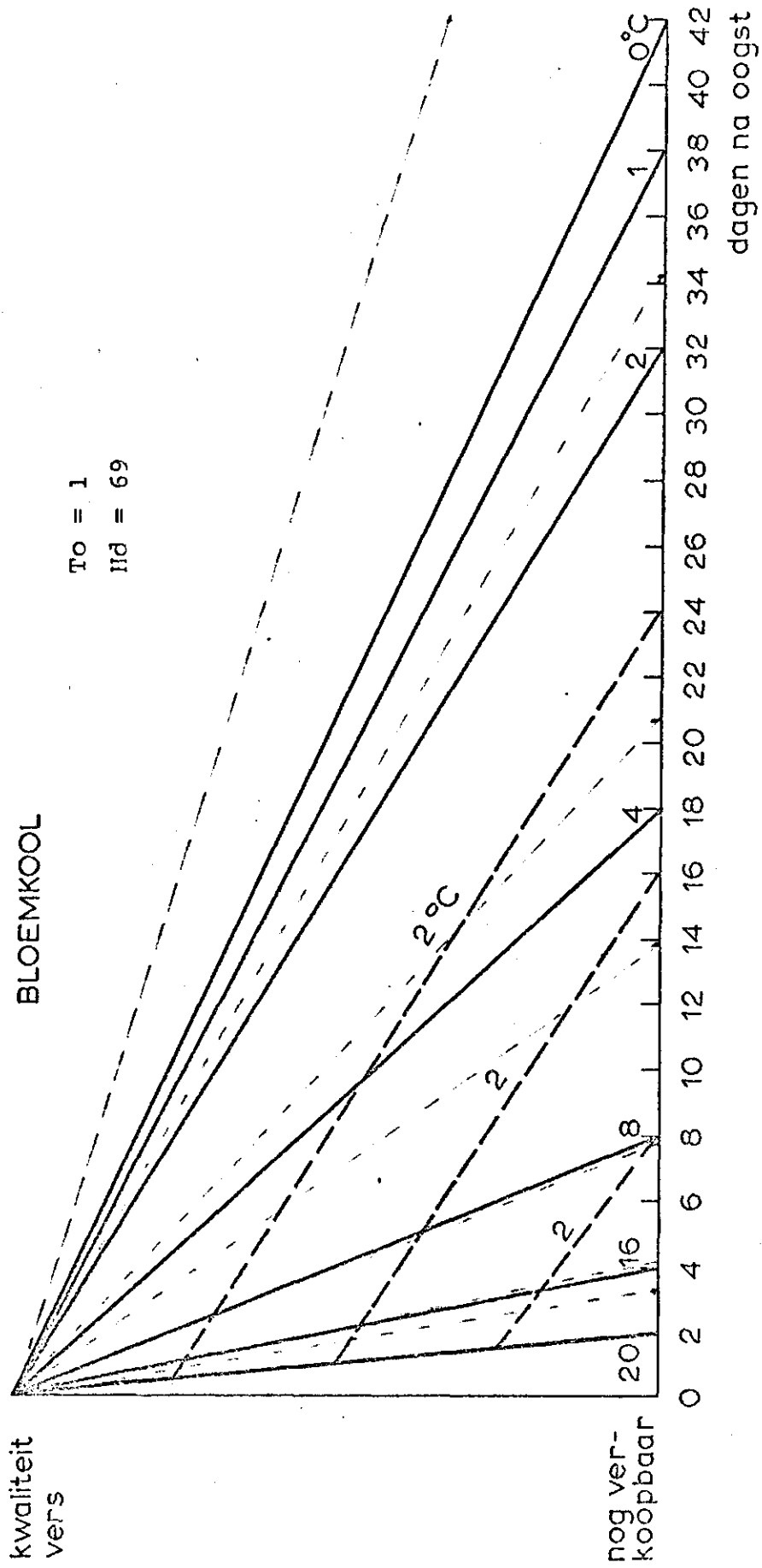
gemeten					formule	
T	t	T.t	(T+T ₀) t	H _d	T	t
20	1	20	23	41		1.8
16	2	32	38			2.2
8	4	32	44			3.7
4	7	28	49			5.9
2	9	18	45			8.2
1	11	11	44			10.3
0	14	0	42			13.7

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : theorie = praktijk.

fig. 7



produkt : bloemkool

$Q = 0$ $T_0 = 1$ $Hd = 69$

gemeten					formule	
T	t	T.t	(T+T ₀)t	Hd	T	t
20	2	40	42	69		3.3
16	4	64	68			4.1
8	8	64	72			7.7
4	18	72	90			13.8
2	32	96	96			23
0	42	0	42			69

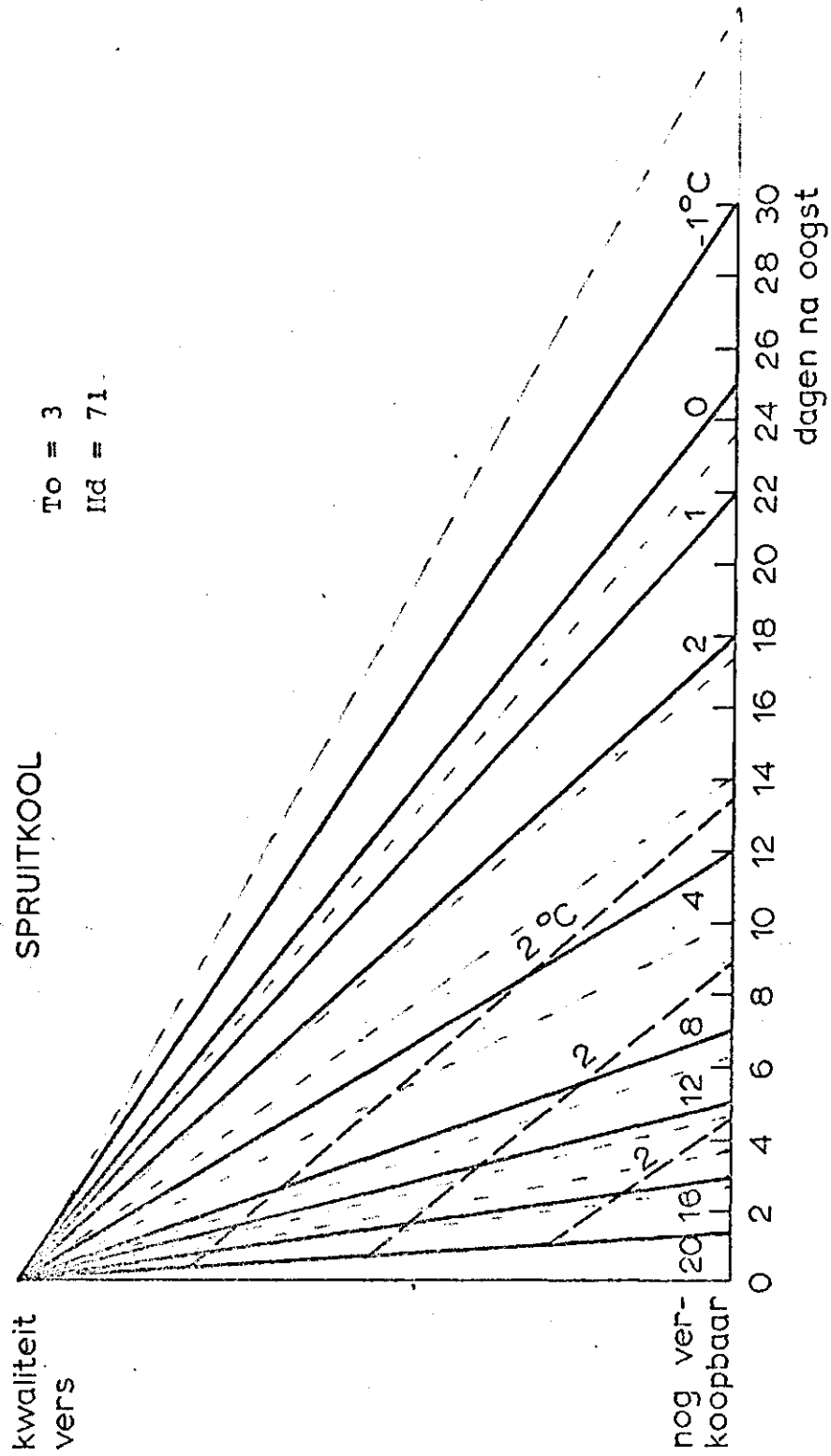
Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : de theoretische $t_0 = 69$ dagen is beslist te lang voor bloemkool. Hier kunnen we zonder de t_{20} , t_{16} , t_8 , t_4 , t_2 , t_1 ongunstiger te maken niets meer aan veranderen door eventueel T_0 en Hd aan te passen.

Conclusie : $Q = 1 - \frac{\sum (T+T_0) t}{Hd}$

geldt voor $1 \leq T \leq 20$

Lezen we voor 0°C de waarde van $0 - 1^\circ\text{C}$ dan is deze waarde (T_0) weer acceptabel.



Kwaliteitsverloop van spruitkool

produkt : spruitkool

$Q = 0$ $T_0 = 3$ $Hd = 71$

gemeten				formule		
T	t	T.t	(T+T ₀)t	Hd	T	t
20	1.5	30	34.5	71		3.1
16	3	48	57			3.7
12	5	60	75			4.7
8	7	56	77			6.5
4	12	48	84			10.1
2	18	36	90			14.2
1	22	22	88			17.8
0	25	0	75			23.7
-1	30	-30	60			35.5

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : t_{20}, t_{-1} te lang

Conclusie : er geldt $Q = 1 - \frac{\sum (T+T_0) t}{Hd}$
 voor $0 \leq T \leq 16$

lezen we echter voor -1°C . van $0 - (-1)^\circ\text{C}$
 dan is de berekende waarde van t_{-1} weer acceptabel.

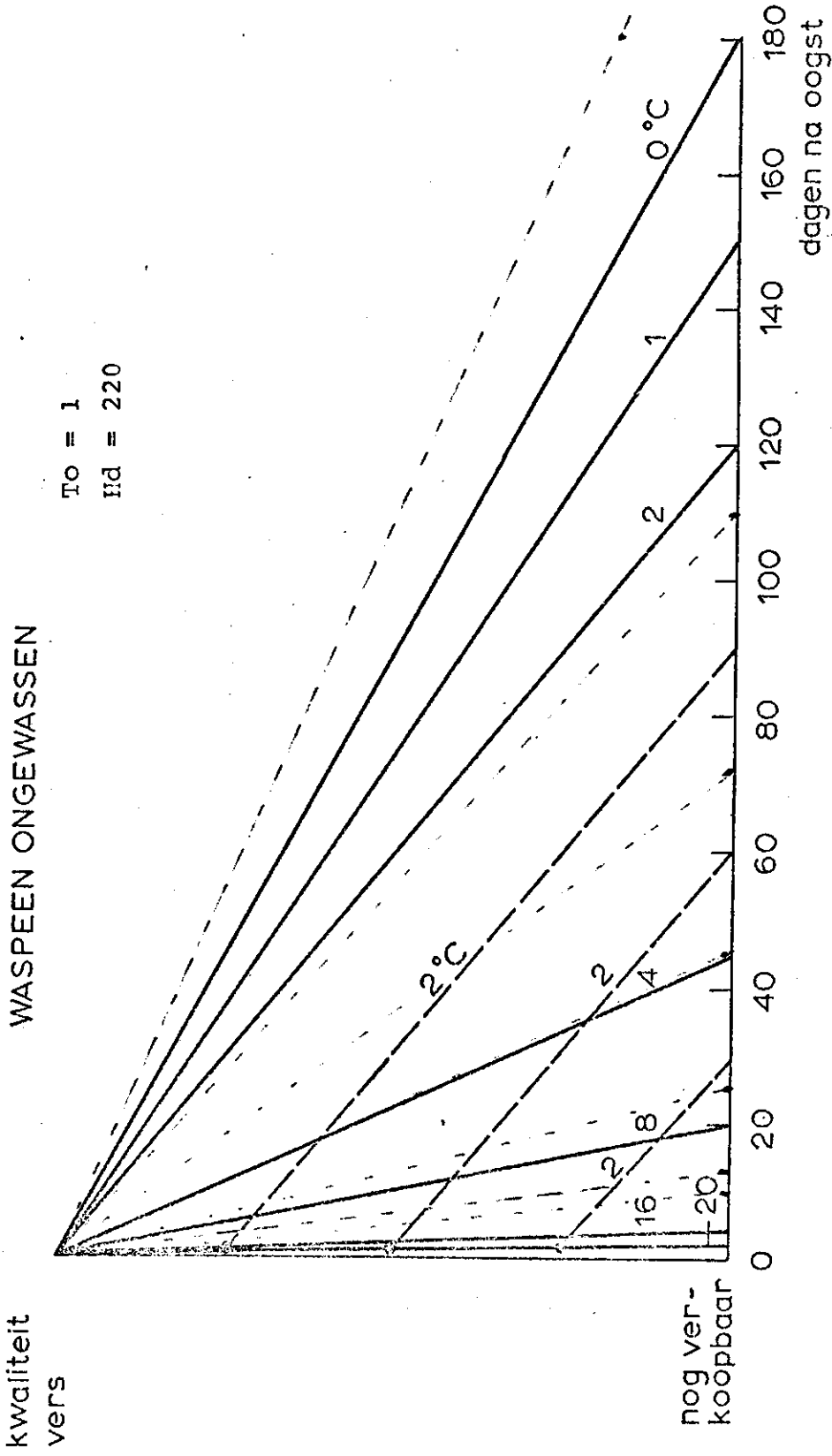


Fig 12 Kwaliteitsverloop van ongewassen waspeen

produkt : waspeen ongewassen

Q = 0 To = 1 Hd = 220

gemeten				formule		
T	t	T.t	(T+To)t	Hd	T	t

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : Het is onmogelijk gebleken, bewaarproeven aan ongewassen waspeen te doen. Daar dit produkt, wat met een laag zand en klei is bedekt, niet goed genoeg zichtbaar is.

Conclusie : Uit de reeks van bewaargrafieken van verschillende produkten, deze grafiek verwijderen.

fig. 10

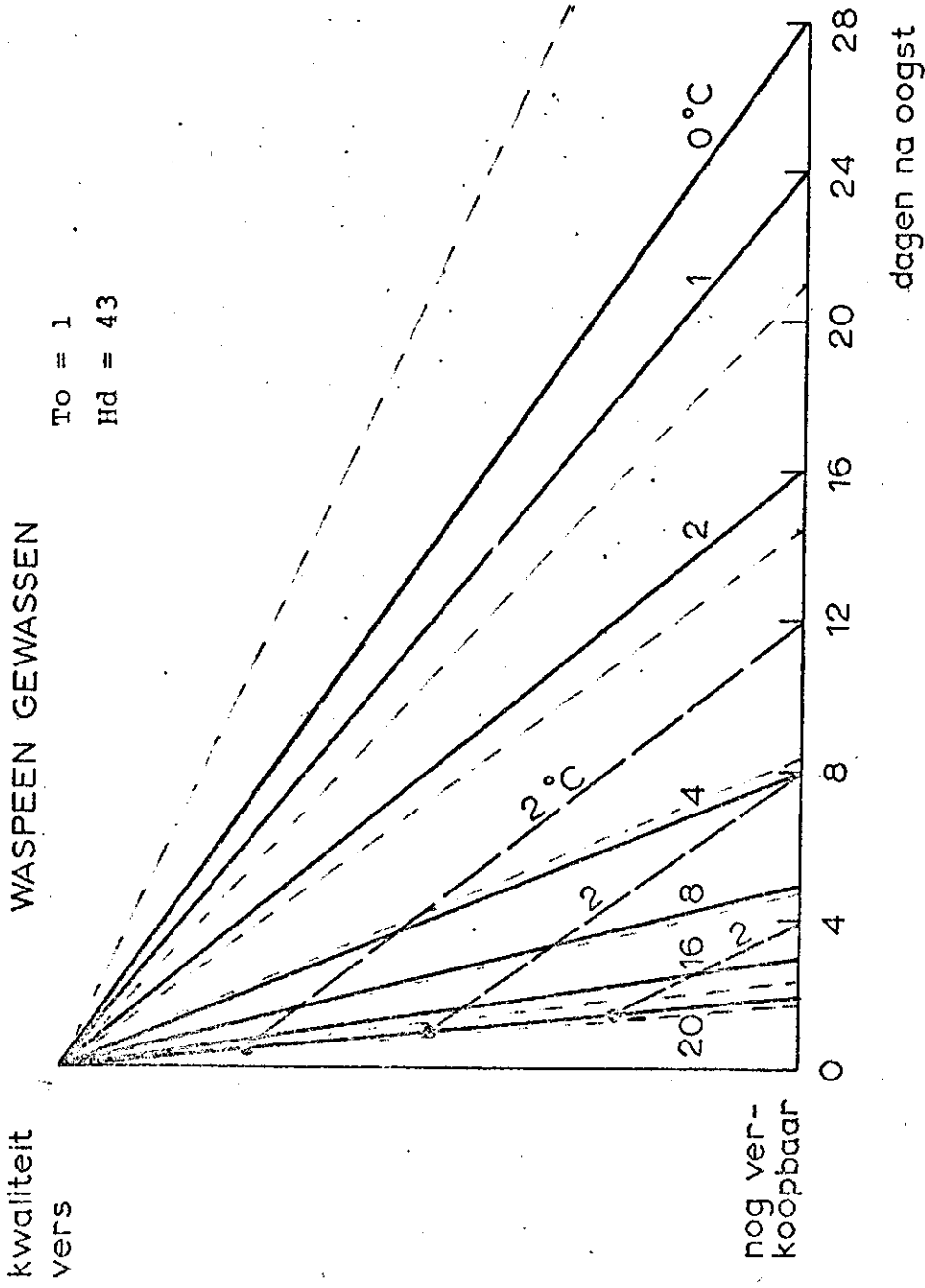


Fig 11 Kwaliteitsverloop van gewassen waspeen

produkt : waspeen gewassen

$\Omega = 0$ $T_0 = 1$ $H_d = 43$

gemeten				formule		
T	t	T.t	(T+T ₀)t	H _d	T	t
20	2	40	42	43		2.0
16	3	48	51			2.5
8	5	40	45			4.8
4	8	32	40			8.6
2	16	32	48			14.3
1	24	24	48			21.5
0	28	0	28			43.0

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : t_0 is te lang

Conclusie : er geldt $\Omega = 1 - \frac{(T+T_0) t}{H_d}$
 voor $1 \leq T \leq 20$

fig. 11

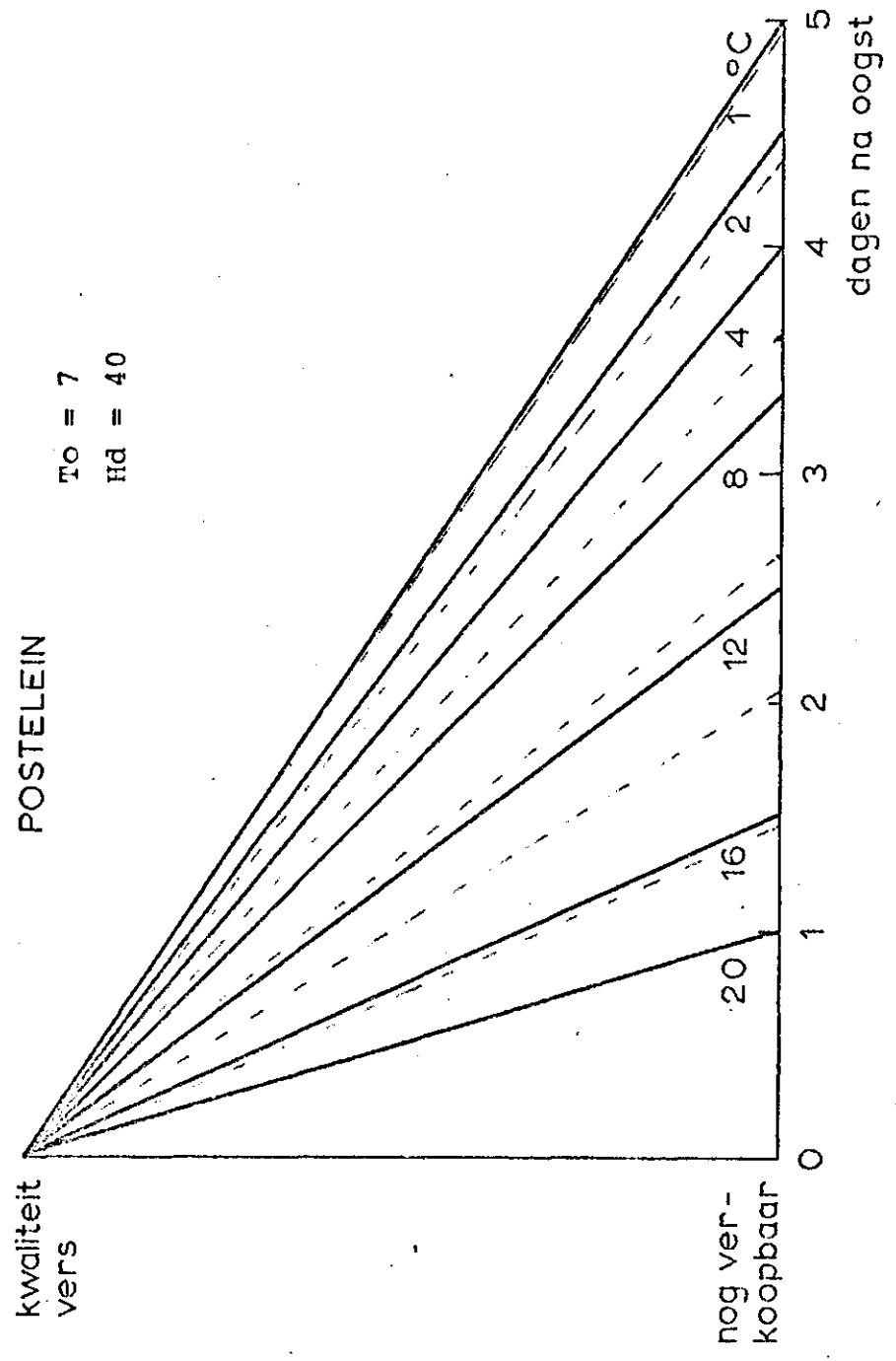


fig. 12

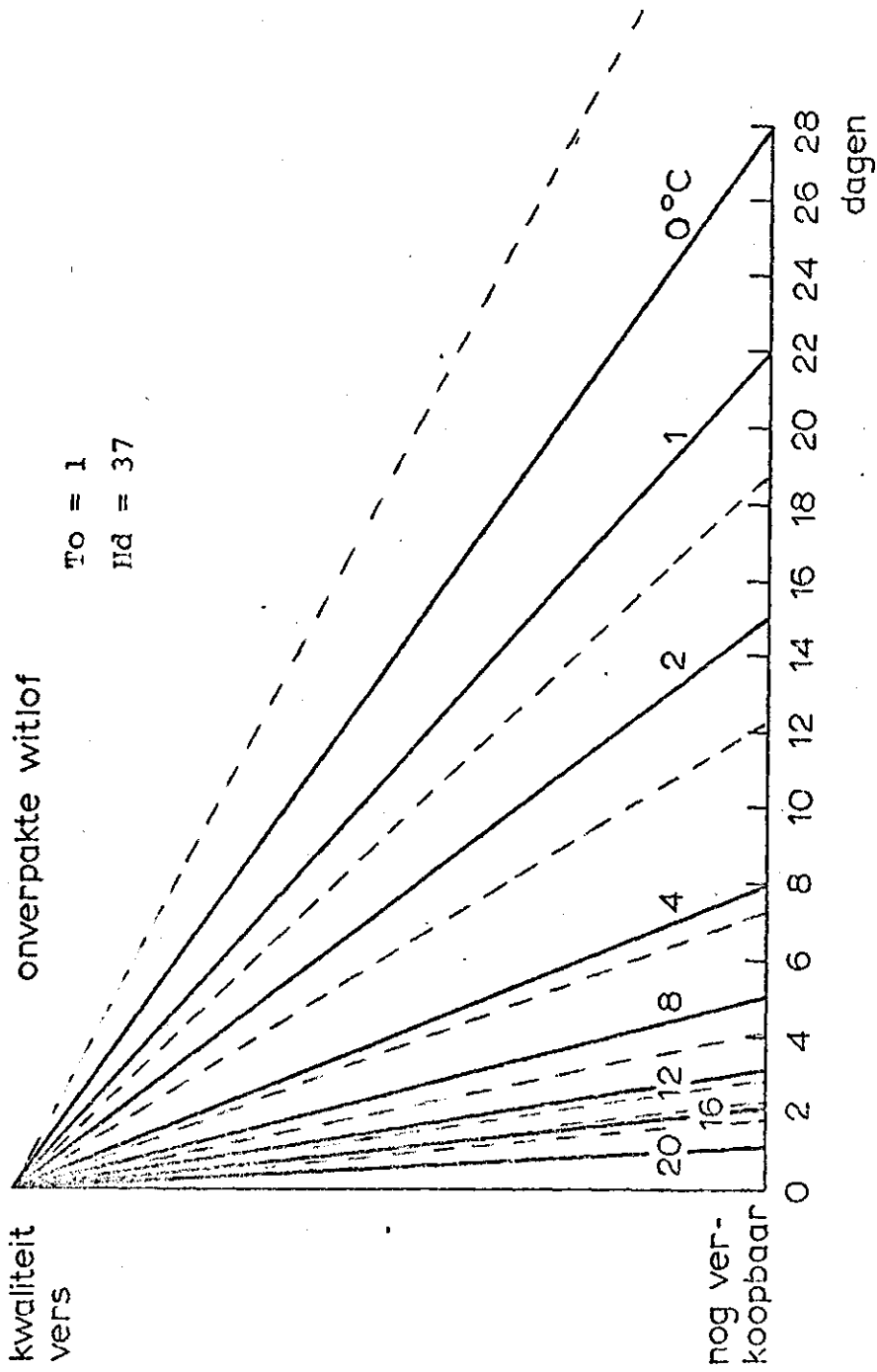


fig. 13

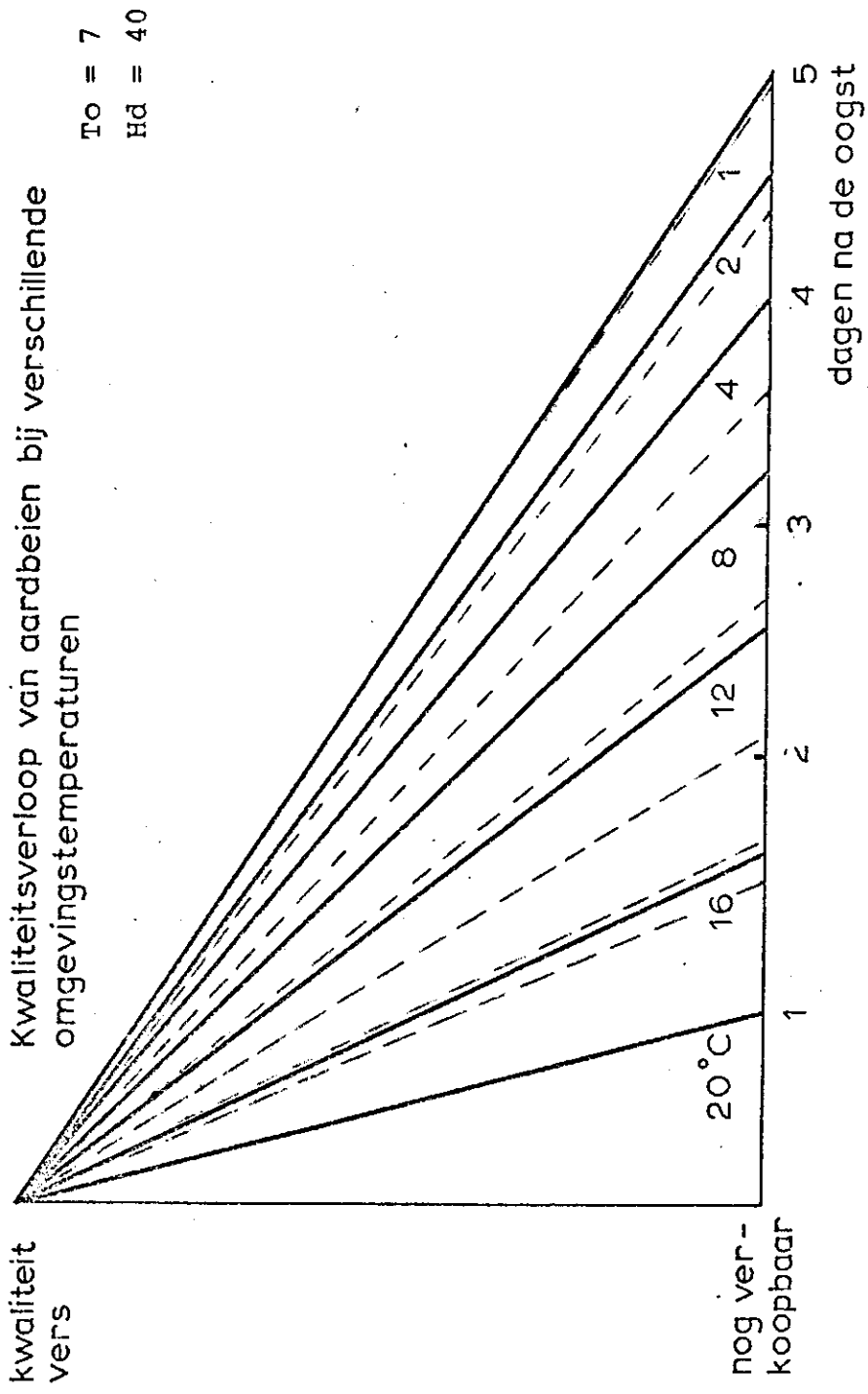
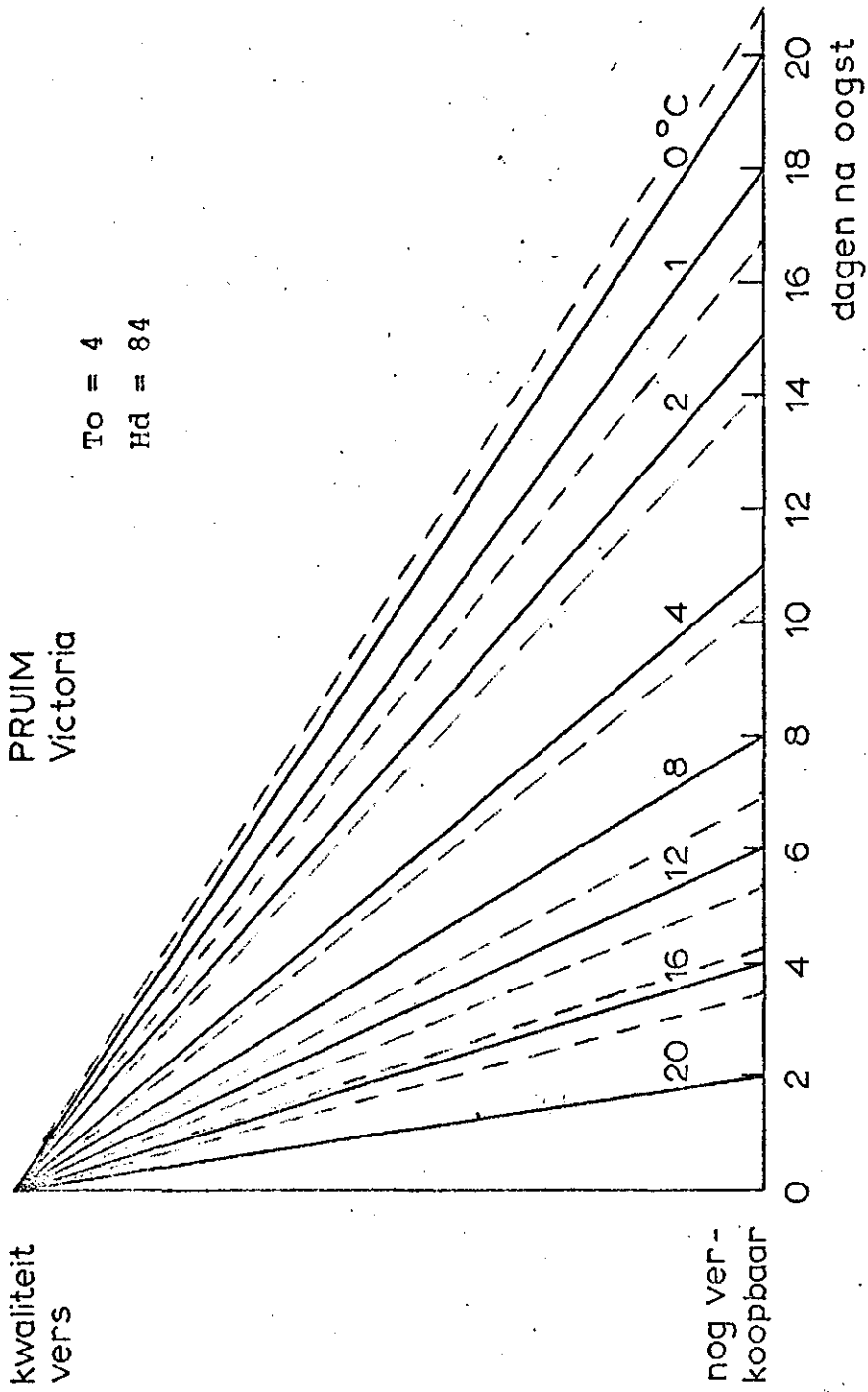
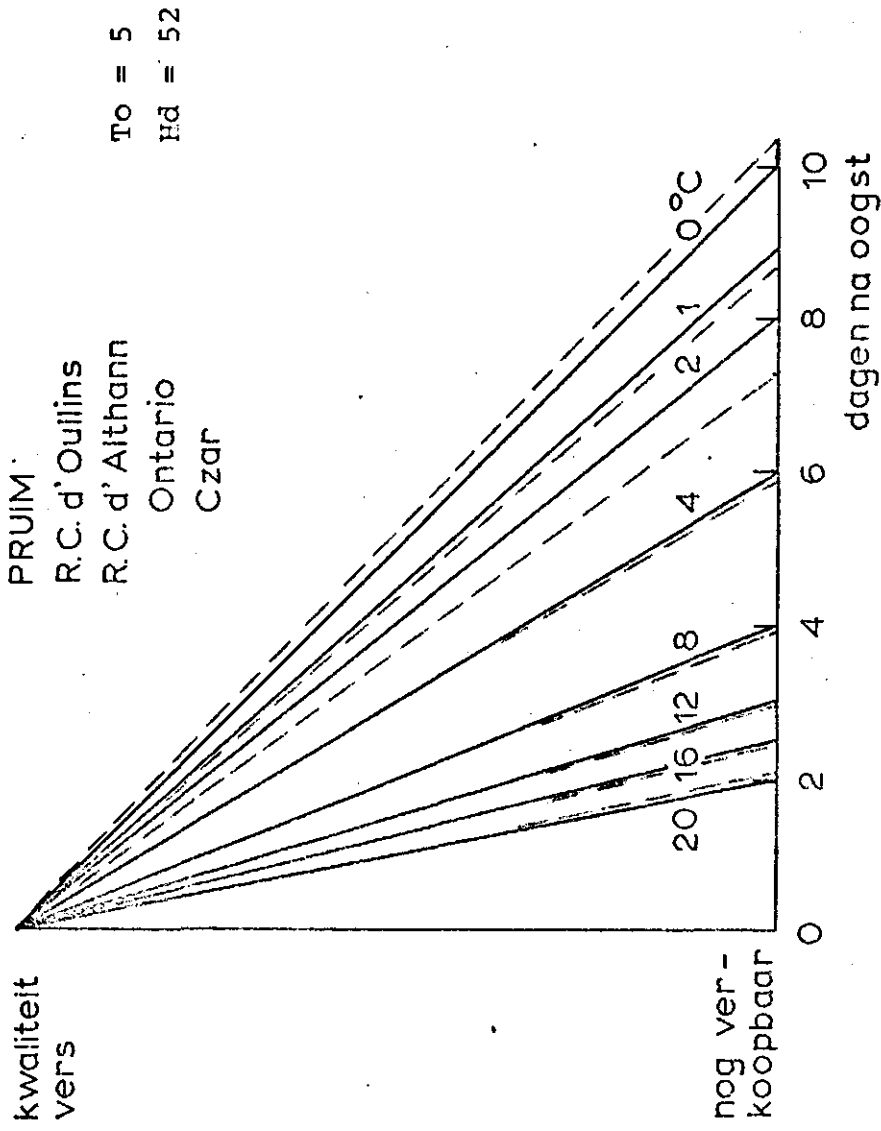


fig. 14





produkt : pruim (diverse rassen)

$Q = 0$ $T_0 = 5$ $Hd = 52$

gemeten					formule	
T	t	T.t	(T+T ₀)t	Hd	T	t
20	2	40	50	52		2.1
16	2.5	40	52.5			2.5
12	3	36	51			3.1
8	4	82	52			4.0
4	6	24	54			5.8
2	8	16	56			7.4
1	9	9	94			8.7
0	10	0	50			10.4

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

Opmerkingen : -

Conclusie : de theoretisch berekende t_T , volgen zeer nauwkeurig, het experiment, waaruit we mogen veronderstellen dat,

$$Q = 1 - \frac{\sum (T+T_0) t}{Hd}$$

geldt voor $0 \leq t \leq 20$

fig. 16

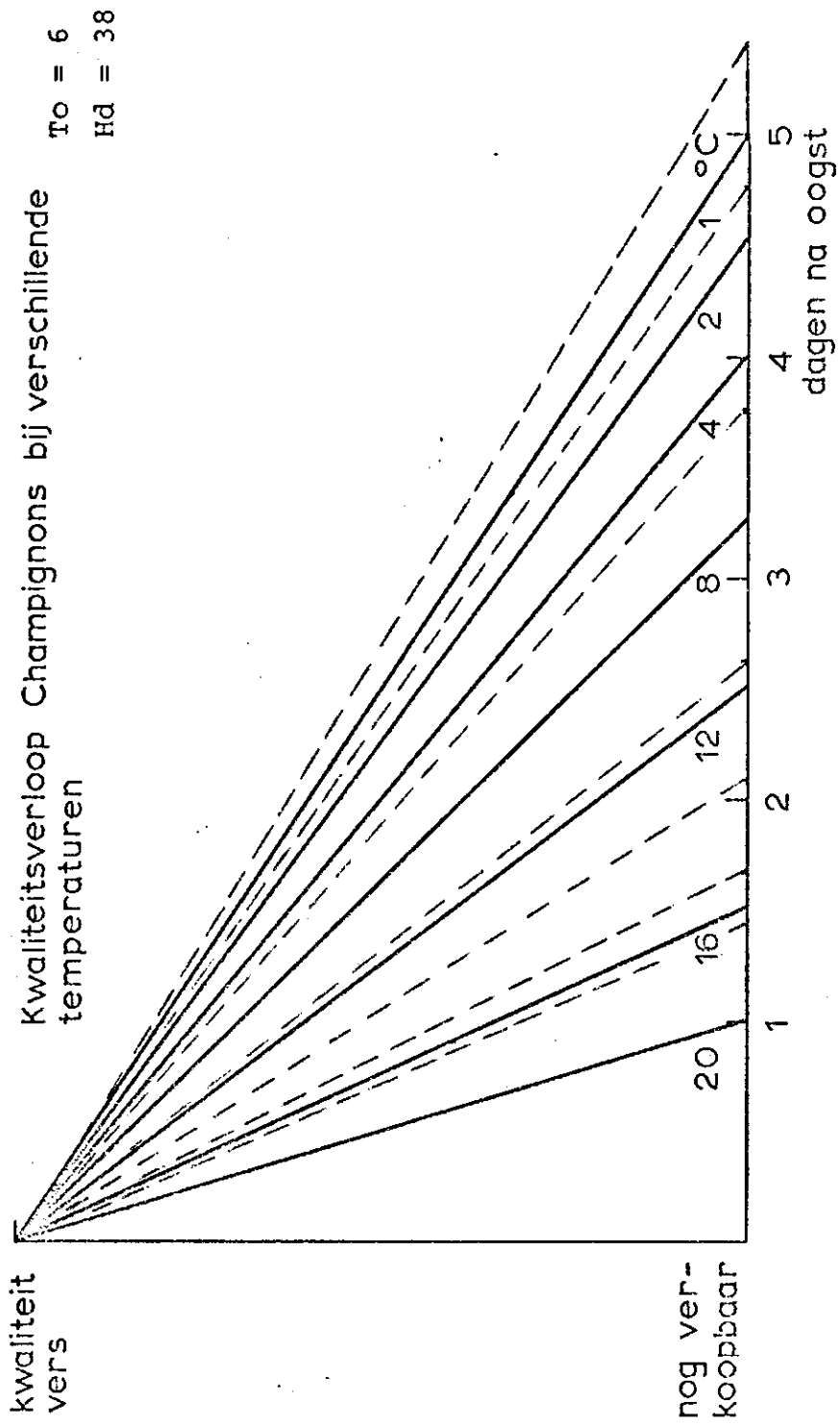


fig. 17

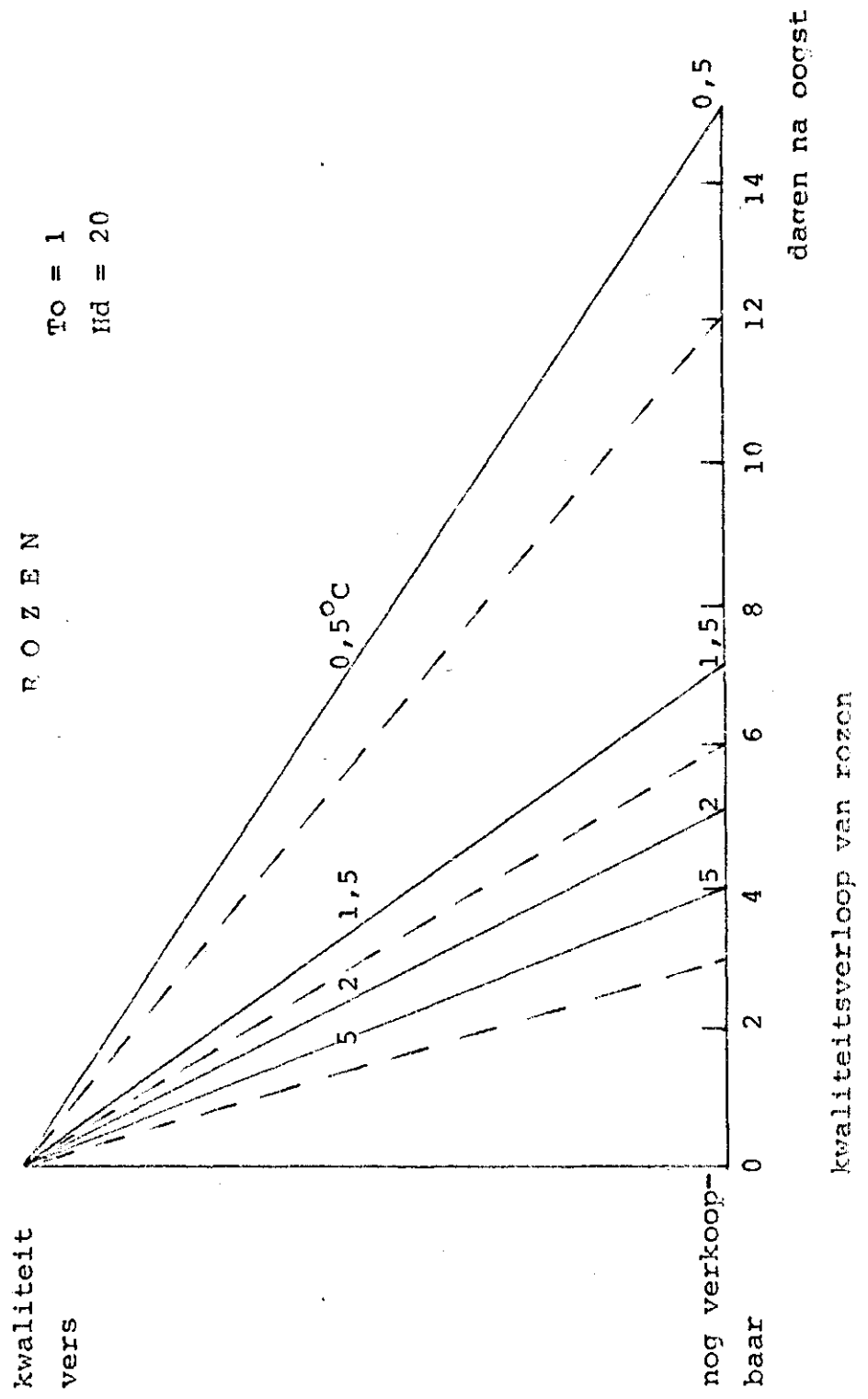
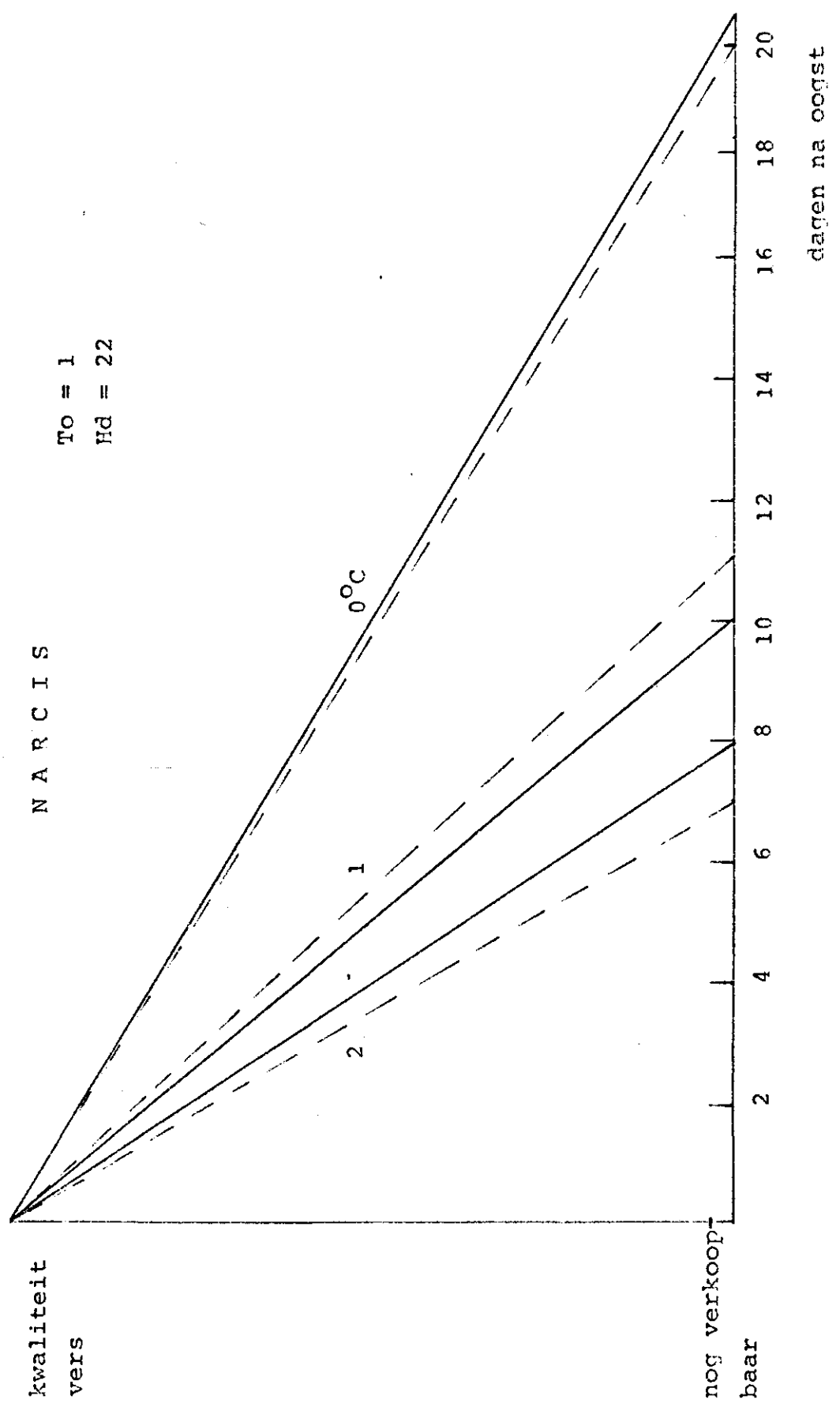


fig. 18



produkt : narcis

Q = 0 To = 1 Hd = 22

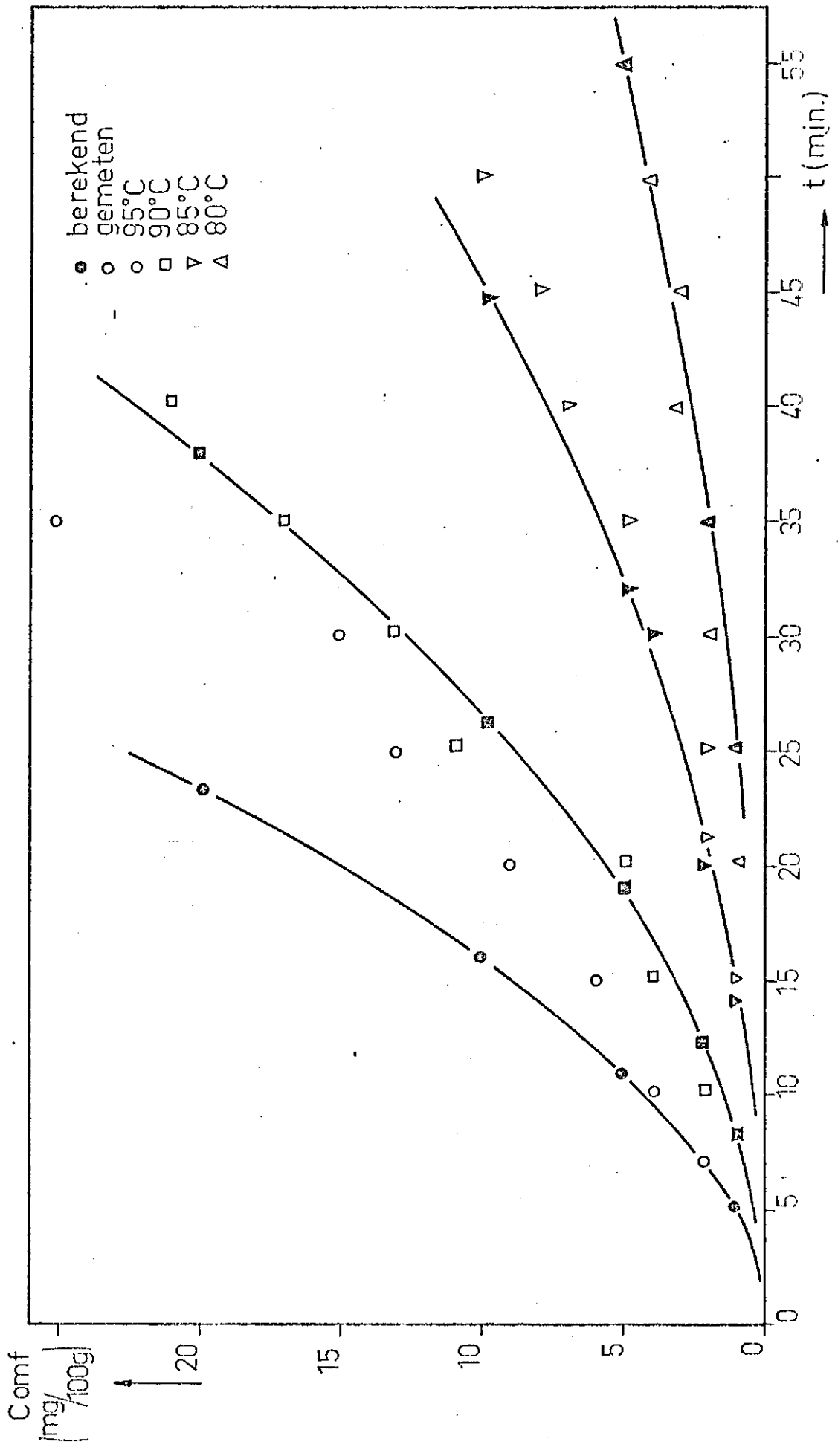
gemeten				formule		
T	t	T.t	(T+To)t	Hd	T	t
2	8	16	24	22		7.3
1	10	10	20			11.0
0	21	0	21			22.0

Verklaring figuur : ————— gemeten
 - - - - - volgens formule

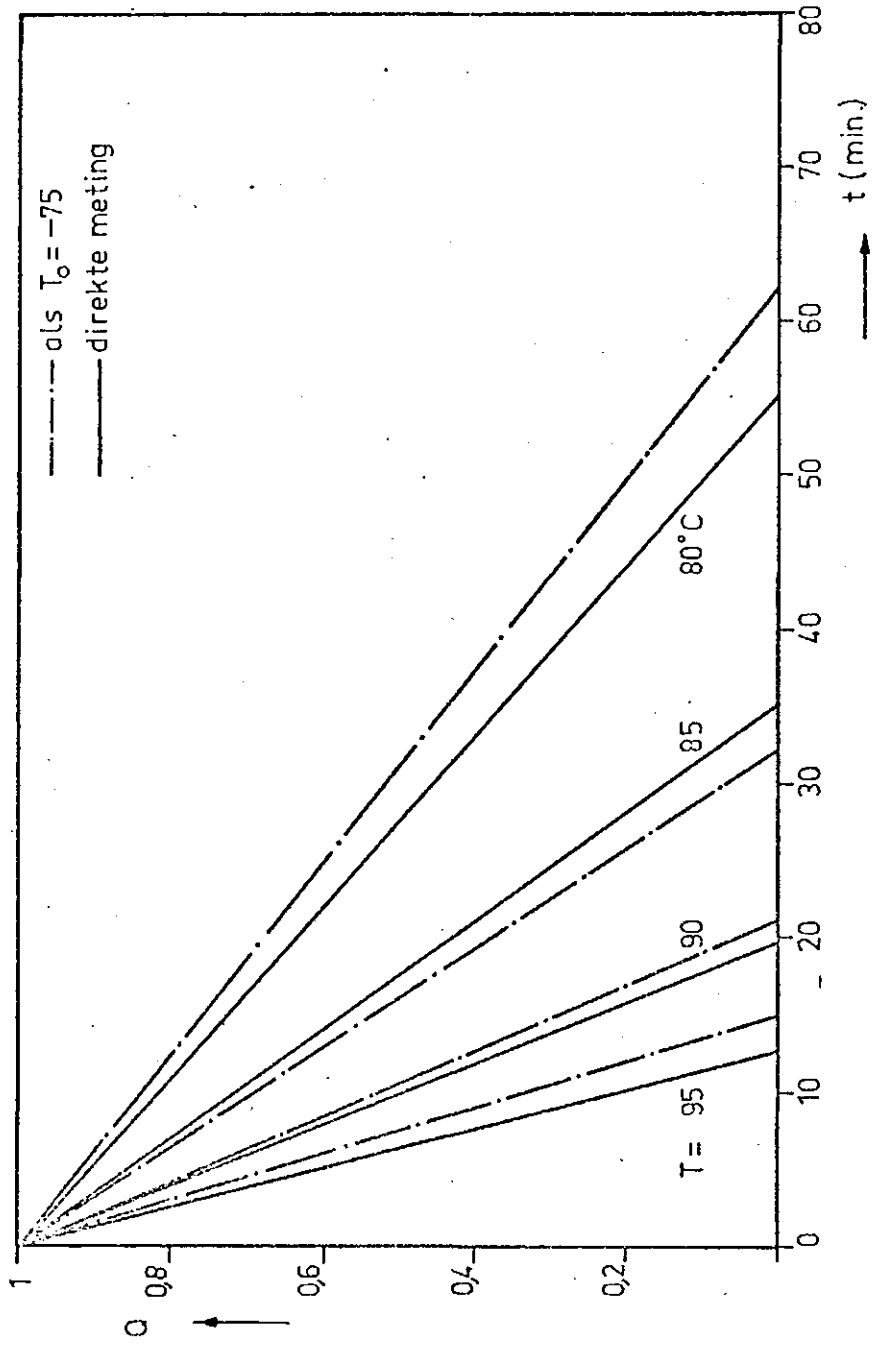
Opmerkingen :

fig. 19

Concentratie-tijd-temperatuur grafieken van OMF-vorming in appelsap



Houdbaarheidsgrafiek als $C_{A,0} = 5 \text{ kg/100 g}$



Bepaling T_0 en H_d

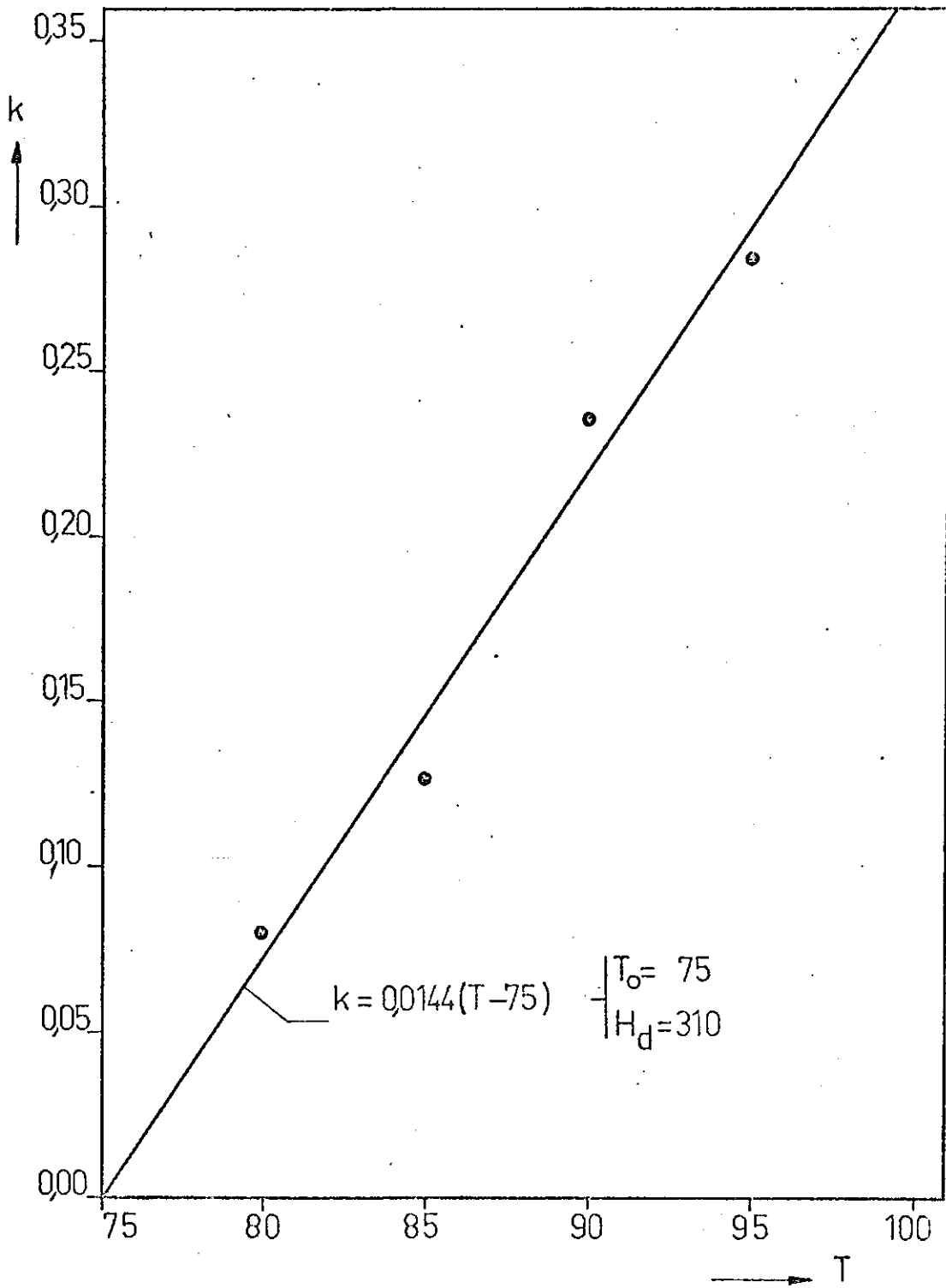
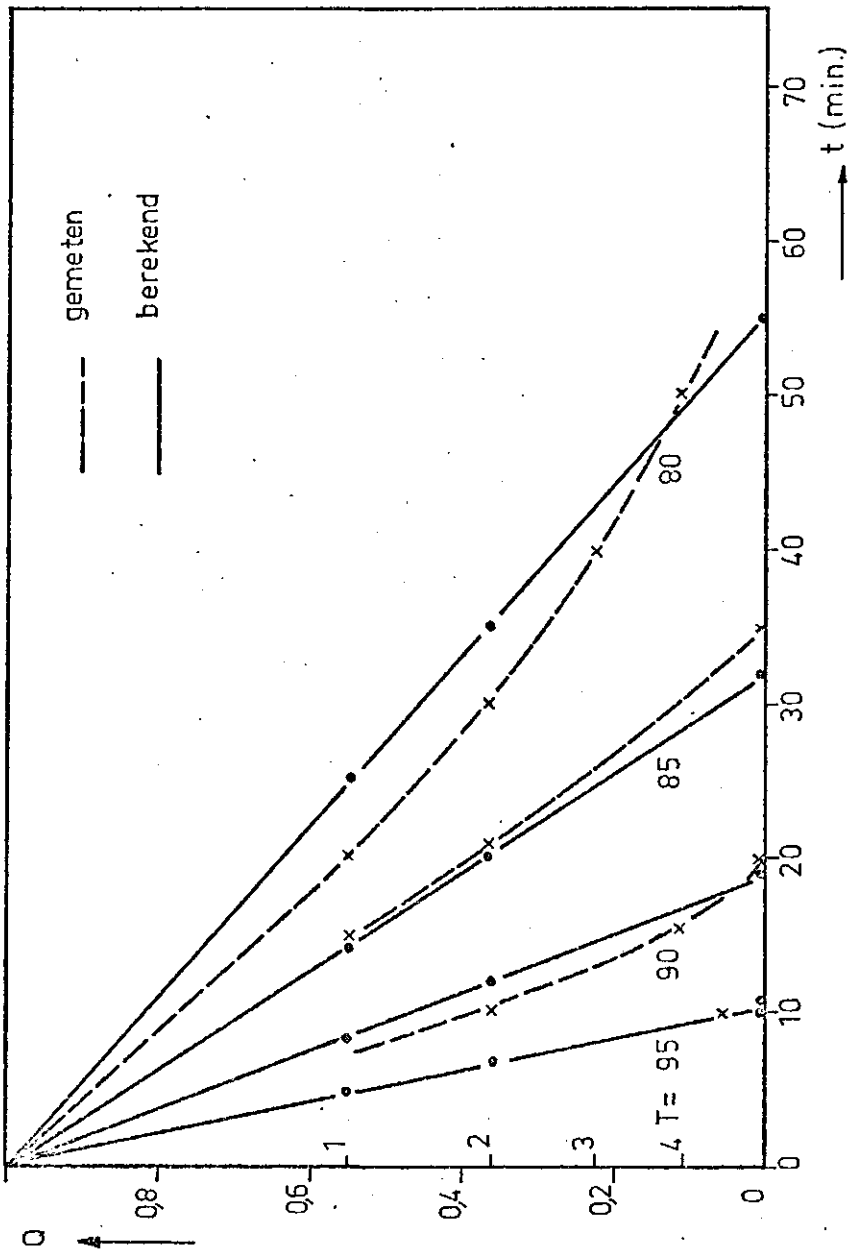
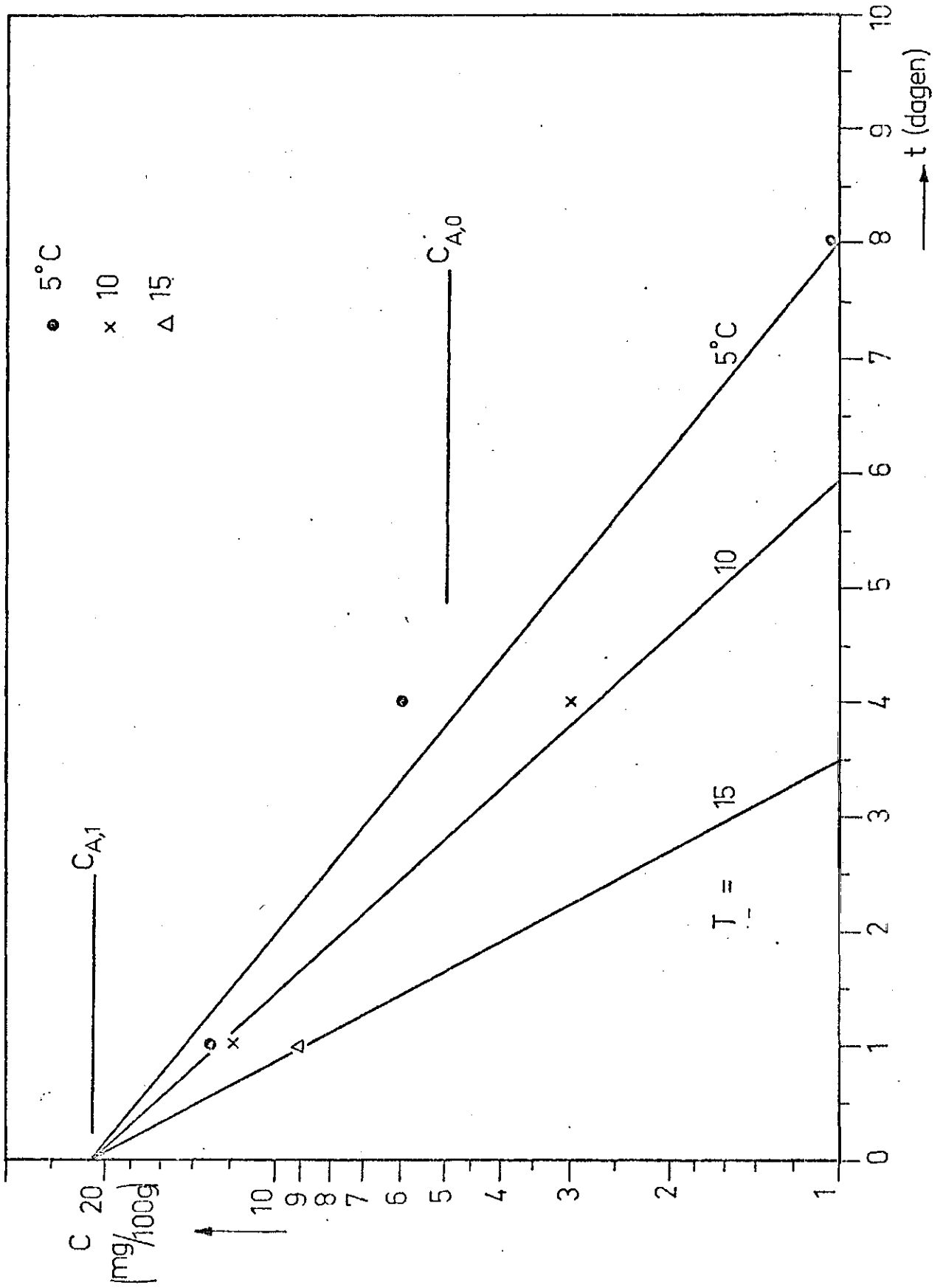


Fig. 22

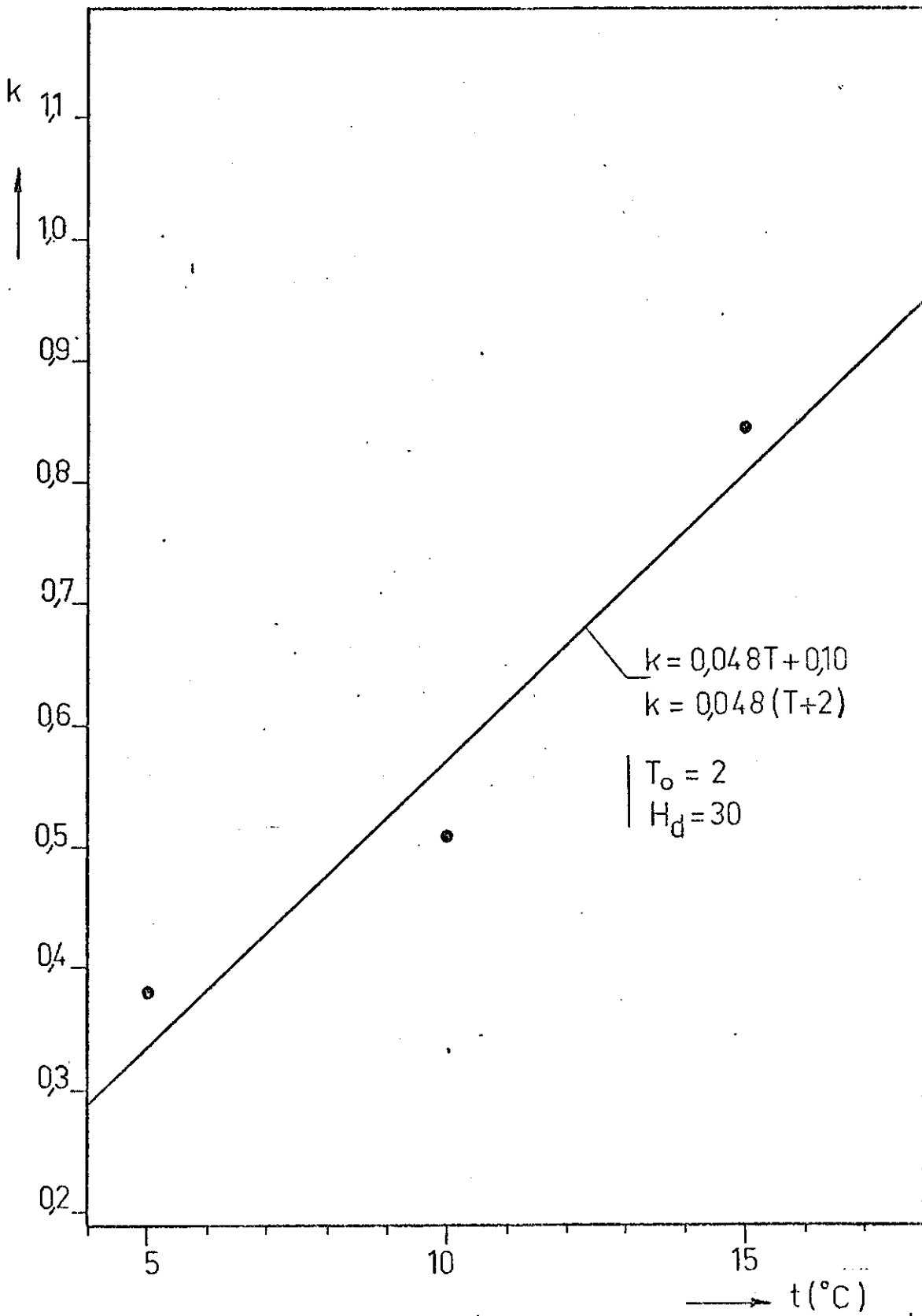
Houdbaarheidsgrafiek : verband tussen σ en C.



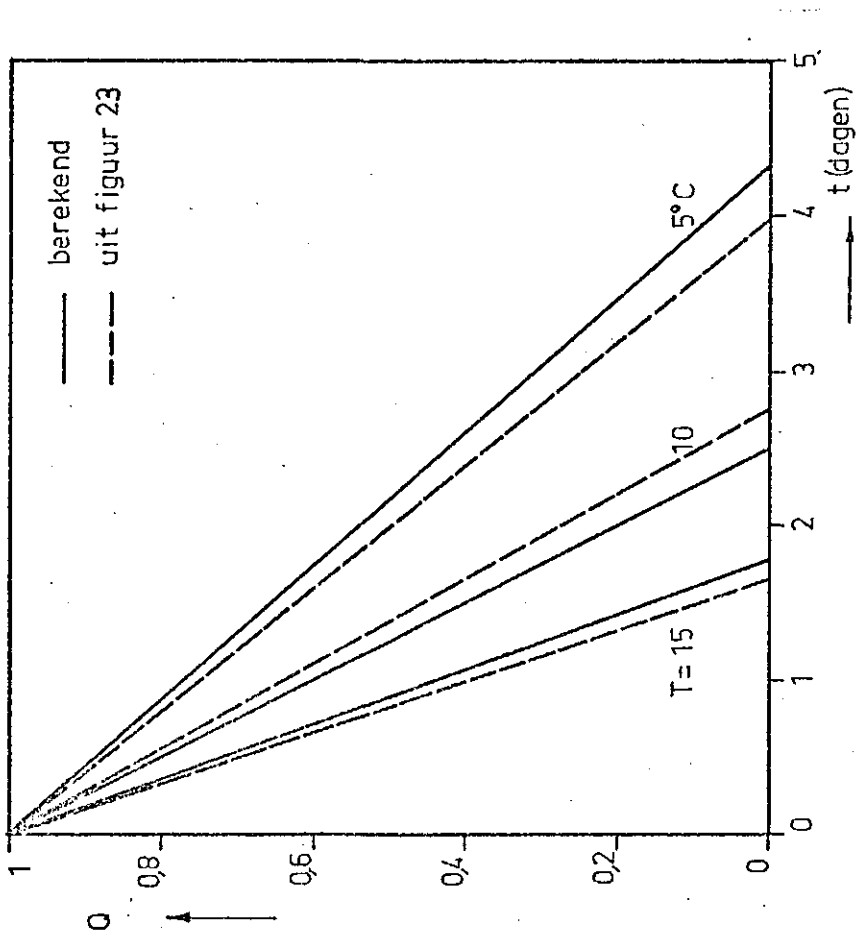
Vitamine-C gehalte in sperciebonen als functie van de tijd, bewaard bij verschillende bewaartemperaturen.



Bepaling van H_d en T_o voor sperciebonen.



Houdbaarheidsgrafiek uit berekende To, Hd.



Literatuur over dit onderwerp.

- Dickerson jr., R.W., Simplified Equations for calculating lethality of the heating and cooling phases of thermal inactivation determinations, Food technology 23, 108-111, 3 p. 108, (1969).
- 5) Gersons, L., Kwaliteitsverloop van machinaal geogste, bewaarde groente, jaarverslag SI, project no. 172.
- Kwolek, W.F., G.W. Bookwalter, Predicting storage stability from time-temperature data, Food Technology, 25, p. 51, okt. 1971.
- 3) Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, Wiley, New York, p. 22, 1966.
- 6) Lorentzen, G., The role of refrigeration in solving the world problem, paper P 4, 13^e Int. Congress. Refrigeration, Washington, 1971.
- 4) Meffert, H.F.Th., De reactiesnelheid voor de vorming van oty-methyl-furfurol in geconcentreerd appelsap, S.I.-rapport no. 1142.
- Resende, R., F.J. Francis, C.R. Stumbo, Thermal Destruction and regeneration of enzymes in green bean and spinach puree, Food Technology, 23, 63-66 1, p. 63, 1969.
- 1) Tomkins, R.G., The storage of produce, Food Investigation Misc. Paper, no. 5/59, Overdruk uit "The British Packer".
- 2) Tomkins, R.G., The choice of conditions for the storage of fruits and vegetables, Annual Report of the East Malling Research Station, 1965 (1966).
- Wanniger jr, L.A., Mathematical model products Stability of ascorbic acid in food products, Food Technology, p. 42, june (1972).

8. Symbolen.

a	constante
b	constante
C_A	concentratie van A
$C_{A,0}$	concentratie van A als $Q=0$
$C_{A,1}$	concentratie van A als $Q=1$
E	activerings energie
Hd	constante
k	reactiesnelheidsconstante
k_0	frequentiefactor
n	orde van de reactie
Q	kwaliteit
R	betrouwbaarheid
Rg	gasconstante
t	bewaartijd (dag, min)
T	bewaartemperatuur ($^{\circ}C$)
Tk	bewaartemperatuur ($^{\circ}K$)
To	constante ($^{\circ}C$)

Wageningen, 28-2-1973
GvB/EvB