

bl 147  
bl 27  
bl 103

**Het drogen en bewaren  
van  
inlandse granen, zaden en peulvruchten**



**Instituut voor bewaring en verwerking van landbouwprodukten (I.B.V.L.)**

**BORNSESTEEG 59**

**WAGENINGEN**

00870 - 4556.

# Het drogen en bewaren van inlandse granen, zaden en peulvruchten

- |          |   |         |
|----------|---|---------|
| <b>A</b> | <b>J. Kreyger</b>   | pag.    |
|          | Grondslagen van het drogen en bewaren van granen, zaden en peulvruchten                               | 1-60    |
| <b>B</b> | <b>J. Kreyger</b>   |         |
|          | Het drogen en opslaan van inlandse granen, zaden en peulvruchten op centrale op- en overslagbedrijven | 63-141  |
| <b>C</b> | <b>Ir. H. Sparenberg</b>  |         |
|          | Het drogen en bewaren van granen op landbouwbedrijven   | 145-159 |
| <b>D</b> | <b>G. R. van Bastelaere</b>   |         |
|          | Vochtbepalings in granen, zaden en peulvruchten   | 163-176 |

# **A GRONDSLAGEN VAN HET DROGEN EN BEWAREN VAN GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN**

**J. Kreyger**

	<b>pag.</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2. HET BEWAREN</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Mogelijke gevolgen van de ademhaling van opgeslagen zaden</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Invloed zaad en omringende lucht op elkaar, gevaar voor beschimmelings</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Bewaarnormen</b>	<b>11</b>
2.3.1 Algemene opmerkingen	11
2.3.2 Normen met het oog op het behoud van de kiemeigenschappen	12
2.3.3 Normen met het oog op het vrijblijven van schimmel	23
<b>2.4 Betekenis van de bewaarnormen</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Grondslagen van de geventileerde bewaring</b>	<b>27</b>
2.5.1 Inleiding	27
2.5.2 Langzame droging tijdens de opslag	27
2.5.3 Geventileerde opslag met het doel te koelen	29
<b>3. HET DROGEN</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Algemene eisen</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Uitwendige droogomstandigheden</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Technologische Indeling van droogsystemen voor granen, zaden en peulvruchten</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Inwendige droogomstandigheden</b>	<b>38</b>
<b>3.5 Kritische korreltemperatuur met het oog op de kiemeigenschappen</b>	<b>42</b>
<b>3.6 Kritische korreltemperatuur met het oog op de bakeigenschappen</b>	<b>54</b>

## **B HET DROGEN EN OPSLAAN VAN INLANDSE GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN OP CENTRALE OP- EN OVERSLAGBEDRIJVEN**

**J. Kreyger**

	pag.
<b>1. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN INLANDSE GRANEN OP CENTRALE OP- EN OVERSLAGBEDRIJVEN</b>	<b>63</b>
<b>1.1 Opslag van granen in hoge silo's</b>	<b>63</b>
1.1.1 Inleiding	63
1.1.2 Omlopen - Temperatuurcontrole	63
1.1.3 Ventileren van hoge silo's	64
1.1.4 Mechanische koeling van het graan	64
<b>1.2 Invloed van de nieuwe oogstmethoden op de inrichting van centrale bedrijven voor de op- en overslag van inlandse granen</b>	<b>65</b>
<b>1.3 Kenmerken van verschillende typen op- en overslagbedrijven voor inlands graan</b>	<b>67</b>
<b>1.4 Grootte van de ontvangst-, de droog-, de bewerkings-, de buffer- en de transport- inrichtingen op verschillende typen op- en overslagbedrijven</b>	<b>69</b>
<b>1.5 Gewichtsverlies bij het drogen</b>	<b>73</b>
<b>1.6 Keuze van het drogertype op centrale graanbedrijven</b>	<b>76</b>
1.6.1 Indeling drogertypen	76
1.6.2 Trommeldrogers (algemene gezichtspunten, capaciteit, krachtverbruik, brandstofverbruik, voorbeelden)	77
1.6.3 Continu in dwarsstroom werkende verticale doorstroomdrogers (algemene gezichtspunten, capaciteit, droogduur, koelduur, kracht- en brandstofver- bruik, voorbeelden)	81
1.6.4 Band- en schudeestdrogers	92
<b>1.7 Geventileerde bewaring in de praktijk op centrale graanbedrijven</b>	<b>93</b>
1.7.1 Inleiding	93
1.7.2 Verschillende varianten van doorvoer van de ventilatielucht	94
1.7.3 De luchtweerstand en het krachtverbruik bij het ventileren	94
1. De luchtweerstand van de toevoeringen van de lucht	95
2. De luchtweerstand van het verdeelsysteem	98
3. Ventilatoren	101
4. De luchtweerstand bij vlakke lagen	103
5. Keuze ventilator bij vlakke graanlaag	104

	pag.
6. Krachtverbruik bij het ventileren van vlakke graanlagen	106
7. De luchtweerstand bij het ventileren van graanlagen met ongelijk oppervlak van in- en uitstroming van de lucht	107
8. Ongelijkmatigheid in koel- en droogeffect (zuigen of blazen)	109
9. Krachtverbruik bij het ventileren van kromme graanlagen; invloed diameter binnenbuis bij cilindrische doorblaassilo's	109
10. Vergelijking van geventileerde bewaring in vlakke lagen en in cilindrische doorblaassilo's	111
1.7.4 Het tijdelijk geventileerd bewaren van graan met 21-24 % vocht (in de oogsttijd of direct erna)	112
1.7.5 Tijdelijk goed houden van graan met 19-20 % vocht, tijdens of aansluitend aan de oogst	113
1.7.6 Defintieve geventileerde bewaring van graan met 17-18 % vocht	114
1.7.7 Het definitief opslaan, tevens langzaam drogen tijdens de opslag, van granen met 18-20 % vocht	115
1.7.8 Het toepassen van een geringe verwarming van de lucht bij langzame droging tijdens geventileerde opslag	117
<b>2. HET DROGEN EN OPSLAAN OP CENTRALE ZAAIGRAANBEDRIJVEN</b>	<b>117</b>
<b>2.1 Inleiding</b>	<b>117</b>
<b>2.2 Het drogen van zaaigranen</b>	<b>119</b>
2.2.1 Algemene gezichtspunten	119
2.2.2 Het drogen in een vlakke laag	120
1. Algemene principes	120
2. Uitvoeringsvormen van drogers in een vlakke laag	122
3. Capaciteit bij het drogen in dikke lagen (droogduur, kistendroging, drogen in cilindrische droogsilo's met binnenpijp, voorbeelden)	124
<b>2.3 Geventileerde opslag van zaaigranen</b>	<b>128</b>
<b>3. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN ZAAIZADEN</b>	<b>130</b>
<b>3.1 Inleiding</b>	<b>130</b>
<b>3.2 Het drogen van zaaizaden (het drogen in een laag of in de zak, capaciteit, droogduur, voorbeelden)</b>	<b>130</b>
<b>3.3 De opslag van zaaizaden</b>	<b>137</b>
<b>4. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN PEULVRUCHTEN OP CENTRALE BEDRIJVEN</b>	<b>139</b>
<b>4.1 Inleiding</b>	<b>139</b>
<b>4.2 Het drogen van peulvruchten</b>	<b>140</b>
<b>4.3 Geventileerde opslag van peulvruchten</b>	<b>140</b>
<b>5. ENKELE KORTE ALGEMENE OPMERKINGEN AANGAANDE HET DROGEN VAN ZAAIZADEN</b>	<b>141</b>

## C HET DROGEN EN BEWAREN VAN GRANEN OP HET LANDBOUWBEDRIJF

Ir. H. Sparenberg

	pag.
<b>1. BEWARING VAN GRANEN</b>	<b>145</b>
1.1 De bewaarheid van graan	145
1.2 Hoe lang blijft vochtig graan goed?	145
1.3 Tot welk vochtgehalte moet worden gedroogd?	146
1.4 Bewaring zonder mogelijkheid van beluchten	147
1.5 Geventileerde bewaring	147
1.6 Enkele opmerkingen over de bouw van een opslaginrichting	148
1.6.1 Silo's	148
1.6.2 Transport	148
1.6.3 Voorschoning	151
1.6.4 Opstelling van een opslaginrichting	151
<b>2. DROGEN VAN GRAAN</b>	<b>154</b>
2.1 Vochtgehalte	154
2.2 Met welke temperatuur drogen?	154
2.3 Laagdikten bij drogen met warme lucht	155
2.4 Laagdikten bij drogen met koude lucht	156

## **D VOCHTBEPALINGEN IN GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN**

**G. R. van Bastelaere**

	pag.
<b>1. ENKELE ALGEMENE OPMERKINGEN</b>	163
<b>2. VOCHTBEPALINGEN IN ZEER NAT GRAAN EN BROUWGERST</b>	164
<b>3. DE MONSTERNAME</b>	168
<b>4. VOCHTBEPALINGSAPPARATUUR</b>	168
<b>4.1 Droogstoven</b>	168
<b>4.2 Elektrische vochtmeters</b>	170
<b>4.3 Steekhygrometers</b>	171
<b>4.4 Warmte(infrarood)stralers</b>	174
<b>5. HET AANSCHAFFEN VAN VOCHTBEPALINGSAPPARATUUR</b>	174
<b>LITERATUUR</b>	177
<b>INDEX</b>	179



# **A Grondslagen van het drogen en bewaren van granen, zaden en peulvruchten**

**J. Kreyger**





# A - GRONDSLAGEN VAN HET DROGEN EN BEWAREN VAN GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN

## 1. INLEIDING

Als men genoodzaakt is een produkt te bewaren zal men er naar streven de eigenschappen ervan die karakteristiek zijn en waarop men in het bijzonder prijs stelt, tijdens de bewaring te behouden. Bovendien zal men niet willen dat er verliezen van enige betekenis optreden.

Landbouwprodukten vormen in dit opzicht geen uitzondering. De eisen, te stellen aan de kwaliteit, beheersen de wijze van opslag. Bij zaaizaden en brouwergerst betreffen deze in de eerste plaats de kiemkracht, bij consumptiepeulvruchten het uiterlijk en de kookeigenschappen en bij consumptiegranen de bakeigenschappen enz.

Voor een doelmatige bewaring is een complex maatregelen nodig, dat gericht is op het brengen van het materiaal in een voor de opslag gunstige aanvangstoestand en op het scheppen en instandhouden van goede opslagomstandigheden. Bij deze maatregelen dient men te beseffen dat men te doen heeft met een levend materiaal, dat een eigen rol speelt. Een typisch kenmerk van een levend materiaal is de stofwisseling. De consequenties van deze stofwisseling en de mate waarin de omstandigheden daarop invloed uitoefenen, moeten bekend zijn, teneinde de meest geëigende opslagomstandigheden te kunnen kiezen. Verder moet bedacht worden dat het materiaal onder bepaalde omstandigheden een voedingsbodem voor schimmels etc. vormt. Het is dus van belang om te weten onder welke omstandigheden de niet gewenste schimmelvorming zal kunnen optreden en wat er aan te doen is om het optreden van dergelijke parasitaire levensvormen te voorkomen. De algemene eis „behoud van de kwaliteit en geen verliezen bij de opslag” moet dus gepreciseerd zijn in voorschriften of richtlijnen waarin vochtgehalten, bewaartemperaturen, mogelijke bewaarduren etc. worden genoemd, terwijl eveneens nauwkeurig omschreven richtlijnen omtrent de voorbewerking (voorreinigen, drogen) ter beschikking moeten staan. Pas indien men over dergelijke richtlijnen (een soort „grondwet”) beschikt, is men in staat een bedrijf in principe op de juiste wijze op te zetten of in het bedrijf bij voorkomende gelegenheden de beste (of minst ongunstige) maatregelen te nemen.

Men moet evenwel bedenken dat kennis van deze „grondwet” op zichzelf nog niet voldoende is. Men heeft in de praktijk te maken met partijen en niet met monsters. De grootte en de altijd onvermijdelijke ongelijkmatigheid van partijen, de voorgeschiedenis van het produkt bij teelt en oogst, de oogstmethode, de mate van beschadiging (b.v. dorsbeschadiging) en dergelijke factoren hebben invloed en maken de bewaarproblemen gecompliceerder. Toch doet dit alles aan de noodzaak van het zo goed mogelijk bekend zijn van de genoemde „grondwet”, dus de elementaire richtlijnen, niets af.

De eisen waarmede dergelijke richtlijnen verband houden kunnen meer of minder dwingend zijn. Voor zaaizaad b.v. zullen ze hoger gesteld zijn dan b.v. voor voergraan. Het accent zal bij de diverse categorieën dus verschillend kunnen liggen.

## 2. HET BEWAREN

### 2.1 MOGELIJKE GEVOLGEN VAN DE ADEMHALING VAN OPGESLAGEN ZADEN

In de inleiding is reeds gezegd, dat granen, zaden en peulvruchten een levend materiaal zijn dat bij opslag een eigen rol speelt.

Bij de ademhaling worden koolhydraten afgebroken onder opname van zuurstof uit de lucht terwijl koolzuur en waterdamp worden gevormd die in de atmosfeer worden opgenomen. Bij dit proces komt warmte vrij en wordt er droge stof afgebroken.

Bij levende planten is er tevens groei; door assimilatie wordt er droge stof gevormd. Bij zaden treedt een dergelijk proces niet op, hetgeen betekent, dat er per saldo droge stof verloren gaat en wel des te meer, naarmate de ademhalingsintensiteit groter is.

Bij lage temperaturen (b.v. om en nabij de  $0^{\circ}$  C) is de ademhaling uiterst zwak. Bij een hogere temperatuur (b.v.  $30^{\circ}$  C) is de ademhalingsintensiteit nog onbetekenend als het vochtgehalte van het zaad maar laag genoeg is. Zo is b.v. bij tarwe de ademhaling nog zeer zwak bij een vochtgehalte van 12%, ook al is de temperatuur tamelijk hoog, b.v.  $30^{\circ}$  C. Bij een vochtgehalte van 16% evenwel is de ademhaling bij dezelfde temperatuur reeds enige honderden malen groter en bij een vochtgehalte van 30% meerdere duizenden malen.

In een partij zaden waarin een hoge ademhalingsintensiteit geconstateerd kan worden zal de atmosfeer tussen de zaden vochtiger en warmer worden. Daardoor zal ook het zaad vochtiger en warmer worden. Hiermede zijn de omstandigheden dan weer aanleiding tot een verdere intensivering van de ademhaling; uiteindelijk leidt dit tot broei.

Uit onderzoeken met gerst (1), verricht door het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten (IBVL) te Wageningen in samenwerking met het Nationaal Instituut voor Brouwergerst, Mout en Bier TNO (NIBEM) te Rotterdam is gebleken dat als er bij de bewaring drogestofverliezen van enige omvang kunnen worden vastgesteld er al een beduidende kiemkrachtdaling heeft plaatsgehad en dat er ook een beschimmelings is opgetreden.

Hetzelfde geldt voor tarwe, volgens een Duits onderzoek (2).

In welke mate en onder welke omstandigheden grote drogestofverliezen door verademing kunnen optreden blijkt uit de tabellen 1 en 2.

Men kan wel aannemen, dat als bij de bewaring het verloop van de kiemkracht geen criterium is, de drogestofverliezen niet van betekenis zullen zijn, zolang er geen schimmelvorming is opgetreden.

Enige voorzichtigheid is evenwel geboden; zo bleek bij het onderzoek met gerst dat dit produkt met 24% vocht, 10 weken bewaard bij  $16^{\circ}$  C weliswaar beschimmeld was maar dat dit nog onder de categorie „weinig beschimmeld” viel. Toch was na deze periode een drogestofverlies van 2% te constateren. Dit aspect is vooral van belang bij het door de praktijk zo vaak gewenste tijdelijk bewaren van bepaalde vochtige granen en peulvruchten (met het oogmerk de droogcapaciteit langer te benutten).

TABEL 1

## DROGESTOFVERLIEZEN BIJ BEWARING VAN GERST

Vochtgehalte	drogestofverliezen na de bewaring bij een temperatuur van						
	7° C	10° C	13° C	16° C	20° C	25° C	30° C
<b>Bewaarduur</b> 10 weken							
12 %	-	-	-	-	-	-	-
14 %	-	-	-	-	-	-	-
16 %	-	-	-	-	-	-	-
18 %	-	-	-	-	-	-	-
20 %	-	-	-	-	-	-	2 %
22 %	-	-	-	-	-	3 %	5 %
24 %	-	-	-	2 %	3 %	x	x
<b>Bewaarduur</b> 30 weken							
12 %	-	-	-	-	-	-	-
14 %	-	-	-	-	-	-	-
16 %	-	-	-	-	-	-	-
18 %	-	-	-	-	-	x	x
20 %	-	-	-	x	x	x	x
22 %	-	1 %	12 %	x	x	x	x
24 %	2 %	7 %	3 %	x	x	x	x

*Opmerking:* In de gevallen waarin een drogestofverlies is opgegeven was ook beschimmelings opgetreden.

*Toelichting:* - niet praktisch aantoonbaar.

x niet onderzocht, bedorven.

TABEL 2

## DROGESTOFVERLIEZEN BIJ BEWARING VAN VOCHTIGE TARWE (2)

Vochtgehalte	Drogestofverliezen na de bewaring bij:		
	10° C	20° C	30° C
<b>Bewaarduur</b>	<b>± 3 weken</b>		
18 %	-		
22 %	-		
26 %	0,8 %		
<b>Bewaarduur</b>	<b>± 2 weken</b>		
18 %		-	1 %
22 %		1 %	2,4 %
26 %		2,7 %	6,5 %

*Opmerking:* In de gevallen waarin drogestofverliezen zijn opgegeven trad ook beschimmelings op.

## 2.2 INVLOED VAN ZAAD EN OMRINGENDE LUCHT OP ELKAAR, GEVAAR VOOR BECHIMMELING

Graan en zaadkorrels bevatten een hoeveelheid vocht, die niet constant is. Dit is ook het geval met de lucht uit onze dampkring. Sluit men een hoeveelheid zaad en een hoeveelheid lucht op in een blik, dan zal er een evenwicht optreden. Het blijkt namelijk, dat het natte zaad vocht afstaat aan droge lucht of vochtige lucht vocht aan droog zaad.

Vochtige lucht bestaat uit een mengsel van verschillende gassen en waterdamp. Is de druk van de waterdamp bevattende lucht b.v. 1 atmosfeer, of  $1 \text{ kg/cm}^2$  of  $10.000 \text{ kg/m}^2$ , dan is deze druk gelijk aan de som van de drukken, die de aparte samenstellende stoffen elk voor zich gehad zouden hebben als ze alléén in deze ruimte geweest zouden zijn.

De spanning van de waterdamp in deze lucht is slechts een kleine fractie van de totale druk van de lucht. Men noemt de spanning van de waterdamp de partiële dampspanning.

Alle stoffen bezitten bij een bepaalde temperatuur een bepaalde dampspanning. Voor vaste stoffen is deze zo klein, dat we haar in dit verband buiten beschouwing kunnen laten. Voor vloeistoffen is deze veel groter en afhankelijk van de temperatuur. Men moet het zo opvatten, dat b.v. boven een waterspiegel onmiddellijk aan de oppervlakte altijd een waterdampspanning heerst, waarvan de grootte afhangt van de temperatuur van het water.

De waterdampspanning bedraagt: bij	0°	65	kg/m <sup>2</sup>
	„ 30°	535	„
	„ 75°	3944	„
	„ 100°	10330	„

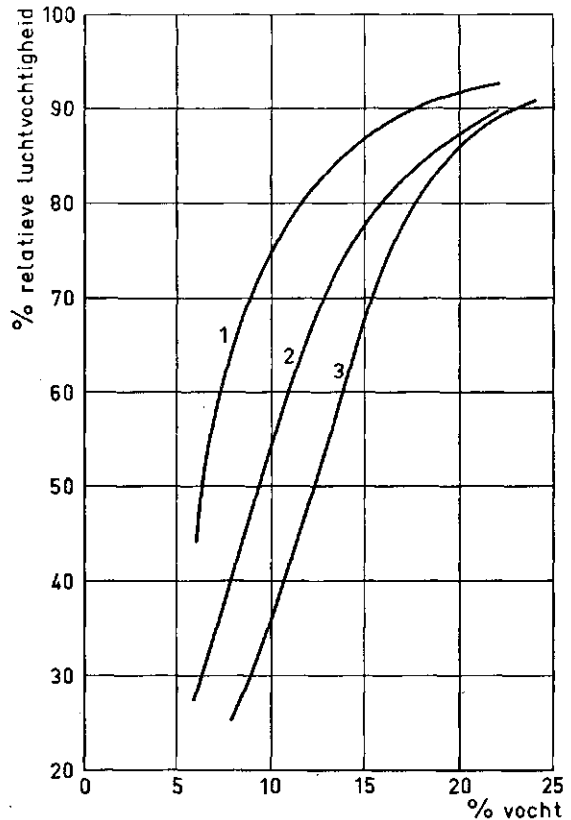
Deze spanningen noemt men verzadigde dampspanningen. Wanneer vochtige lucht bij 30° C een dampspanning zou hebben van  $53.5 \text{ kg/m}^2$ , dus slechts 1/10 deel van de waarde van de verzadigde dampspanning, zou deze lucht voor 1/10 of voor 10% verzadigd zijn. De relatieve vochtigheid van deze lucht zou 10% zijn, ze kan niet hoger worden dan 100%, het teveel zou eventueel neerslaan als nevel.

Ook vochtige materialen bezitten een waterdampspanning. Deze is over het algemeen lager dan die van water. In welke mate de dampspanning lager is hangt weer samen met het vochtgehalte en met andere typische eigenschappen van het produkt.

Een grafische voorstelling waaruit men de dampspanningen kan aflezen, die een materiaal bij verschillende vochtgehalten heeft (bij een bepaalde temperatuur) noemt men een dampdrukisotherm, omdat een dergelijke lijn eigenlijk het verband van de dampdruk van het materiaal met het vochtgehalte ervan weergeeft, bij een bepaalde temperatuur (de dampdruk, uitgedrukt als percentage van de verzadigde dampdruk van zuiver water bij dezelfde temperatuur).

De kennis van dampdrukisothermen is onontbeerlijk wanneer het gaat om opslagproblemen. Het vaststellen ervan is een moeilijk en langdurig werk. Van tal van stoffen kan men dampdrukisothermen in de literatuur vinden, bv. van leer, papier, textiel, wol, tabak etc. Ook van een aantal granen en zaden zijn ze bepaald, o.a. door het IBVL te Wageningen.

Voorbeelden van drie dampdrukisothermen vindt men in *figuur 1*.



FIGUUR 1

DAMPDRUKISOTHERMEN VAN KOOLZAAD (1), VOEDERBIETENZAAD (2) EN TARWE

Wanneer zaad en lucht met elkaar in langdurig contact zijn zal er een vochttransport optreden in de richting van een hogere dampspanning naar een lagere. Dit gaat door totdat de dampspanningen van zaad en lucht gelijk zijn geworden. Het dan ontstane vochtgehalte van het zaad behoort bij een bepaalde relatieve vochtigheid van de „evenwichtslucht”. Men kan dus stellen dat het vochtgehalte van een zaad niet alleen kan worden uitgedrukt door een bepaald percentage vocht maar ook door een bepaald percentage relatieve vochtigheid van de „evenwichtslucht” die erbij hoort. Hieronder volgen enkele zeer globale cijfers, geldend voor granen (tabel 3).

TABEL 3

Globale vochtrelaties granen

Vochtgehalte (% op totaalgewicht)	% R.V. van de evenwichtslucht
12.5	52—60
15.0	64—72
17.5	78—82
20.0	83—87
22.5	86—90

Het is duidelijk, dat in een klimaat als het onze, waarbij de relatieve vochtigheid van de lucht in de tijd van opslag gemiddeld niet ver van 80% zal zijn gelegen, het graan de neiging heeft om een evenwichtsvochtgehalte aan te nemen van ± 17%. Het is dan ook

niet verwonderlijk dat dit cijfer tot nu toe als norm geldt voor aflevering van graan van de boer. Toch is deze grens met het oog op de bewaring aan de hoge kant.

Eigenlijk gaat het ook bij de opslag vooral om het percentage relatieve vochtigheid van de evenwichtslucht. Dit kan als volgt worden toegelicht: het is niet alleen de ademhaling van het zaad, die bij de opslag een rol speelt, ook andere organismen kunnen door hun stofwisseling vocht en warmte produceren en daardoor de opslagcondities verslechteren. Bedoeld worden schimmels en bacteriën en ook wel andere parasieten b.v. insecten.

Bij relatieve vochtigheden lager dan 95% wordt de groei van bacteriën al geremd. Schimmels verdragen lagere relatieve vochtigheden, waarbij er verschillen zijn tussen soorten.

In figuur 2 is ter illustratie aangegeven hoe het staat met de snelheid van de schimmelgroei in afhankelijkheid van de relatieve vochtigheid. De figuur is samengesteld op basis van resultaten van onderzoeken, waarbij werd nagegaan hoelang het duurde alvorens het begin van het sporenstadium optrad bij haver (a) en bij hooi (b) (3).

Men ziet, dat de schimmelgroei bij een relatieve luchtvochtigheid lager dan 75% betrekkelijk onbetekenend is in vergelijking met die bij een relatieve vochtigheid van b.v. 80% of hoger.

Men moet dus eigenlijk weten welk percentage relatieve „evenwichtsvochtigheid” behoort bij een bepaald percentage vocht, dat men door een vochtbepaling te weten komt. Als het verband tussen deze waarden voor alle zaden gelijk was zou de zaak vrij eenvoudig liggen. Dit is evenwel niet het geval. De voornaamste reden hiervan is, dat alle zaden niet evenveel vet bevatten. Men zou een betere aanduiding van het vochtgehalte hebben (althans met het oog op de opslag) als men het uitdrukte op de vetvrije droge stof, maar dit zou voor de praktijk moeilijk zijn door te voeren.

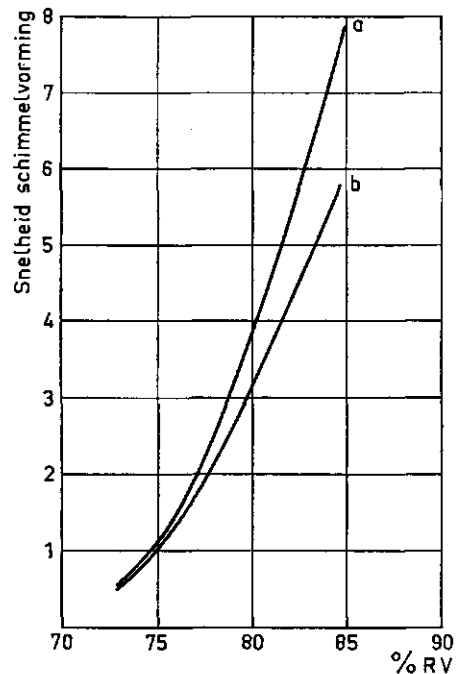
Er is reeds betoogd, dat er een bepaalde grens van het vochtgehalte is, waarboven de ademhalingsintensiteit van het zaad te groot wordt. Het zaad dient echter ook niet zo vochtig te zijn, dat er een evenwichts atmosfeer bij behoort, waarbij schimmels te grote kans hebben om tot ontwikkeling te komen. Het is dus van groot belang om te weten, hoe het gesteld is met het verband tussen het vochtgehalte van een zaadsoort en de R.V. van de erbij behorende evenwichts atmosfeer, m.a.w. men moet de dampdrukisothermen kennen.

In de tabellen 4, 5 en 6 vindt men de resultaten van het door het IBVL verrichte onderzoek in tabelvorm (betreffende een aantal granen, zaden en peulvruchten (4).

Al naar gelang de vereiste duur van de beoogde opslag moet men dus een bepaalde relatieve vochtigheid als norm kiezen.

FIGUUR 2

### SNELHEID VAN SCHIMMELVORMING



- a. snelheid van schimmelvorming op haver
- b. snelheid van schimmelvorming op hooi  
(snelheid bij 75 % RV als eenheid)

TABEL 4

## VOCHTRELATIES VAN 4 GRAANSOORTEN (25—35° C) (4)

Relatieve luchtvochtigheid van de evenwichts- atmosfeer % R.V.	Evenwichtsvochtgehalte % (analyse) voor de volgende granen			
	tarwe	gerst	haver	rogge
92.5	25.5	27.5	25.2	28.5
90	23.0	22.7	22.0	24.4
87.5	21.0	20.7	20.0	22.1
85	19.6	19.4	18.6	20.3
82.5	18.4	18.3	17.5	19.0
80	17.6	17.2	16.7	17.9
77.5	17.1	16.6	16.0	17.0
75	16.6	16.1	15.4	16.2
72.5	16.1	15.6	14.8	15.4
70	15.6	15.0	14.3	14.9
67.5	15.1	14.5	13.8	14.4
65	14.7	14.1	13.3	14.0
62.5	14.2	13.6	13.0	13.6
60	13.7	13.2	12.5	13.3
55	12.8	12.3	11.7	12.4
50	12.0	11.4	11.0	11.7
45	11.3	10.6	10.2	10.9
40	10.7	9.8	9.5	10.1
35	9.9	9.0	8.7	9.3
30	9.1	8.3	8.0	8.6

TABEL 5

## VOCHTRELATIES VAN 10 ZAADSOORTEN (25—35° C) (4)

Relatieve luchtvochtig- heid van de evenwichts- atmosfeer % R.V.	Evenwichtsvochtgehalte % (analyse) voor de volgende zaden									
	kool- zaad	lijn- zaad	karwij	voeder- bieten	blauw- maan- zaad	uien- zaad	Eng. raai	veld- beemd	rood- zwenk	fiorin
92 <sup>s</sup>	21.0	20.9	23.0	27.0	19.1	27.5	27.2	25.0	25.3	25.3
90	17.4	18.1	19.8	22.2	17.0	23.4	24.0	21.3	23.1	19.2
87 <sup>s</sup>	15.3	16.0	18.0	19.8	15.0	21.1	21.6	19.5	21.3	17.5
85	13.8	14.5	16.5	18.4	13.7	19.2	19.9	18.1	19.8	16.2
82 <sup>s</sup>	12.7	13.4	15.4	17.7	12.6	17.6	18.5	17.0	18.4	15.2
80	11.8	12.4	14.5	16.1	11.7	16.2	17.3	16.1	17.3	14.4
77 <sup>s</sup>	11.0	11.7	13.7	15.1	11.0	15.0	16.2	15.3	16.2	13.7
75	10.2	11.1	13.0	14.2	10.3	14.0	15.3	14.6	15.3	13.0
72 <sup>s</sup>	9.3	10.5	12.5	13.5	9.9	13.2	14.7	14.0	14.5	12.5
70	8.8	10.0	12.0	13.0	9.5	12.6	14.0	13.5	13.8	12.1
67 <sup>s</sup>	8.4	9.5	11.5	12.1	9.1	12.0	13.4	13.1	13.2	11.7
65	8.0	9.1	11.1	11.6	8.7	11.5	12.8	12.8	12.6	11.3
62 <sup>s</sup>	7.6	8.7	10.7	11.2	8.3	11.1	12.4	12.4	12.1	10.9
60	7.4	8.4	10.3	10.3	8.0	10.8	11.9	12.0	11.6	10.5
55	7.0	7.8	9.6	9.4	7.4	10.2	11.2	11.2	10.9	9.8
50	6.6	7.3	9.0	8.6	6.9	9.6	10.6	10.5	10.3	9.2
45	6.2	6.7	8.4	7.8	6.3	8.9	9.9	9.7	9.6	8.5
40	5.7	6.3	7.8	7.1	5.9	8.2	9.1	9.0	8.8	7.9
35	5.3	5.7	7.2	6.4	5.4	7.5	8.4	8.3	8.0	7.3
30	4.9	5.1	6.7		4.9	6.9	7.6	7.5	7.0	6.7
25	4.4	4.3	6.2		4.4	6.3	6.8	6.8		
20	3.9						5.9			



TABEL 6 VOCHTRELATIES VAN 6 SOORTEN PEULVRUCHTEN (25—35° C) (4)

Relatieve luchtvochtigheid van de even- wichts atmosfeer % R.V.	Evenwichtsvochtgehalte % (analyse) voor de volgende zaden					
	Bruine bonen	Stam- slabonen	Pronk- bonen	Kapucijners	Rozijn- erwten	Groene erwten
92 <sup>s</sup>	32.0	—	—	—	31.0	31.5
90	27.8	—	29.7	29.1	27.5	27.2
87 <sup>s</sup>	25.2	25.5	27.0	26.2	25.0	24.8
85	23.1	23.2	25.0	24.4	23.0	23.0
82 <sup>s</sup>	21.8	21.6	22.7	22.6	21.1	21.2
80	20.5	20.2	20.8	21.0	19.5	19.3
77 <sup>s</sup>	19.1	18.8	19.2	19.4	18.2	17.8
75	18.0	17.6	17.8	18.0	17.1	16.8
72 <sup>s</sup>	16.8	16.5	16.8	16.7	16.2	16.0
70	15.8	15.7	15.9	15.7	15.4	15.3
67 <sup>s</sup>	15.0	15.0	15.1	14.9	14.7	14.7
65	14.3	14.5	14.3	14.2	14.1	14.1
62 <sup>s</sup>	13.7	13.9	13.5	13.6	13.6	13.6
60	13.2	13.4	12.9	13.1	13.1	13.1
55	12.1	12.3	12.0	12.1	12.1	12.2
50	11.1	11.2	11.2	11.2	11.1	11.3
45	10.1	10.2	10.2	10.4	10.3	10.5
40	9.1	9.1	8.8	9.5	9.4	9.7
35	8.1	8.0	—	—	8.5	8.9
30	7.1	—	—	—	—	8.1
25	6.1	—	—	—	—	—

Volgens een Frans onderzoek (5) is er bij gerst geen schimmelontwikkeling te vreezen als het vochtgehalte lager is dan 12% terwijl voor tarwe de grens bij 14% zou liggen. De bij deze vochtgehalten behorende relatieve luchtvochtigheden zijn resp.  $\pm 53\%$  en  $\pm 61\%$ .

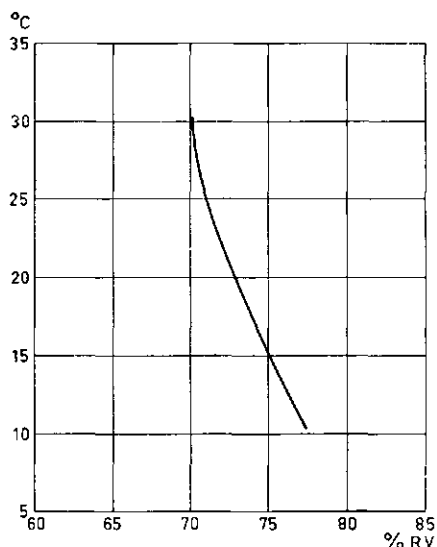
Semeniuk (6) haalt een uitspraak aan van Snow die luidt, dat 72% R.V. een norm is voor 3 maanden opslag bij 15—21° C (voor graan en graanprodukten). 65% R.V. zou de norm zijn voor een opslag van 2 tot 3 jaar (15—21° C).

Overigens heeft de schimmelvorming in hoge mate te maken met de temperatuur. De optimale temperatuur voor schimmelvorming ligt ongeveer tussen 23 en 30° C. Dit traject is dus gevaarlijk.

In figuur 3 ziet men het verband tussen temperatuur en relatieve vochtigheid waarbij sporen nog werkzaam kunnen zijn van *Aspergillus glaucus*, volgens Stille, aangehaald door Semeniuk (6) (voor een traject van praktisch in aanmerking komende temperaturen). Men ziet duidelijk dat bij hogere bewaartemperaturen (althans tot  $\pm 30^\circ$  C) de eisen hoger gesteld moeten worden, dus dat men een lager vochtgehalte moet kiezen om schimmelvorming geen kans te geven.

FIGUUR 3

VERBAND TUSSEN DE TEMPERA-  
TUUR EN DE MINIMALE RV WAAR-  
BIJ BEPAALDE SCHIMMELS  
BEHORENDE TOT DE ASPERGILLUS-  
GLAUCUS-GROEP KUNNEN  
GROEIEN



Uit bewaaronderzoekingen, zoals deze zijn uitgevoerd bij het IBVL en uit literatuurgegevens blijkt wel, dat het t.a.v. het optreden van schimmels onmogelijk is exacte grenzen vast te stellen. Zo zijn er bewaaronderzoekingen verricht, waarbij het muf worden (voorafgaand aan het optreden van schimmel) eerder is te bemerken dan een kiemkrachtdaling van enkele procenten. Aan de andere kant zijn er ook resultaten van onderzoekingen, waarbij de kiemkracht was gedaald, voordat er een begin van beschimmelingsoptrad.

De resultaten lopen dus zeer uiteen. Dit is ook wel te begrijpen, want de voorgeschiedenis van het produkt speelt mede een rol. Verder heeft men in de praktijk te maken met partijen, die vaak niet homogeen zijn, met delen in een partij, die onder wat ongunstiger omstandigheden liggen, met beschadigingen aan de korrels waarop de schimmelvorming sneller plaats vindt enz.

Ter illustratie (maar ook niet meer) worden de resultaten van twee bewaarproeven gegeven in tabel 7 (1) en tabel 8 (2). De cijfers zijn niet algemeen geldend.

Tarwe beschimmelde bij deze proeven veel eerder dan gerst. Waarschijnlijk zijn gerst en haver in dit opzicht beter houdbaar dan de naaktzadige granen tarwe en rogge. In elk geval staat wel vast, dat men bij een opslag van granen, zaden en peulvruchten, die een zodanig vochtgehalte hebben dat de relatieve evenwichtsvochtigheid hoger is dan 75%, kans loopt op schimmelvorming en wel des te meer, naarmate de temperatuur hoger wordt en de opslag langer duurt.

TABEL 7  
OPTREDEN VAN SCHIMMELVORMING BIJ EEN BEWAARONDERZOEK MET  
GERST (1)

Bewaar- tempe- ratuur	Tijd in weken waarna begin van beschimmeling was waar te nemen bij de onderstaande vochtgehalten en relatieve vochtigheden						
	12 % (± 53 %)	14 % (± 64 %)	16 % (± 75 %)	18 % (± 82 %)	20 % (± 86 %)	22 % (± 89 %)	24 % (± 91 %)
7° C	–	–	–	§	35	6	5
10° C	–	–	–	§	10	6	3
13° C	–	–	–	§	10	4	2
16° C	–	–	–	§	6	4	2
20° C	–	–	–	x	4	4	2
25° C	–	–	–	x	4	2	2
30° C	–	–	–	x	4	2	1

Opmerkingen: – betekent geen beschimmeling na 35 weken  
§ " " " " " 30 "  
x " " " " " 18 "

TABEL 8  
OPTREDEN VAN SCHIMMELVORMING BIJ EEN BEWAARONDERZOEK MET  
TARWE (2)

Bewaar- tempe- ratuur	Tijd in weken waarna begin van beschimmeling was waar te nemen bij de onderstaande vochtgehalten en relatieve vochtigheden		
	18 % (± 81 %)	22 % (± 89 %)	26 % (± 92 %)
10° C	3	2	2
20° C	1½	1	1
30° C	1	1	?

## 2.3 BEWAARNORMEN

### 2.3.1 Algemene opmerkingen

Uit het voorgaande is wel gebleken, dat de eisen, die bij de bewaring worden gesteld, meer of minder zwaar kunnen zijn. De zwaarste gelden zaaigranen, zaaizaden en brouwergerst. Bij deze produkten is het vrij gemakkelijk om uit te maken, of ze na de opslag nog aan de eisen voldoen, omdat dit door het uitvoeren van kiemkracht- of kiemenergiebepalingen is te controleren.

Bij baktarwe is het in principe mogelijk bakproeven uit te voeren. In de praktijk is dit slechts tot op bescheiden schaal door te voeren; vandaar dat men gezocht heeft naar een andere bepalingsmethode die sneller, eenvoudiger en meer voor seriewerk geschikt is.

Een dergelijke controle is mogelijk door het bepalen van de z.g. vitaliteit (tetrazolium-methode) waarbij wordt nagegaan of het produkt, i.c. de kiem, nog uit levend weefsel bestaat en potentieel nog als kiemkrachtig kan worden beschouwd.

Het Instituut voor Graan, Meel en Brood T.N.O. te Wageningen heeft een onder-

zoek ingesteld naar het verband tussen de vitaliteit, de kiemkracht en de bakkwaliteit van tarwe (7).

Hierbij kwam tot uiting dat de kiemkracht veelal goed correleerde met de vitaliteit, doch niet altijd. In gevallen van z.g. hittede, microbiële aantasting en schot aantasting leverde de vitaliteitsbepaling een betere indicatie t.a.v. de bakeigenschappen dan de in die gevallen relatief lager gevonden kiemkracht.

Men kwam tot de conclusie, dat een vitaliteit lager dan 60% als onvoldoende beschouwd moet worden bij het beoordelen van tarwe op bakwaarde. Bij waarden tussen 60 en 80% moet men erop bedacht zijn, dat de bakwaarde niet geheel en al normaal is en bij waarden van de vitaliteit groter dan 80% zou men met normaal bakkende tarwe te doen hebben.

Bij voergranen moet het praktisch criterium op het oog en volgens de reuk voldoen aan praktisch gestelde, niet in cijfers vastgelegde normen. Zijn de eisen voor de vocht-normen dus verschillend in verband met de eisen aan kiemkracht, vitaliteit of uiterlijk en geur, zoals deze na de bewaring dienen te zijn dan is het duidelijk dat ook de vereiste bewaarduur een zwaar gewicht in de schaal werpt.

Het maakt een groot verschil of men slechts één of enkele maanden wil bewaren of dat men, zoals dit met zaden het geval kan zijn, een succesvolle bewaring van meer jaren voor ogen heeft.

Verder is het duidelijk, dat de bewaartemperatuur grote invloed heeft op de vocht-norm.

Men zal t.b.v. de reeds in de inleiding genoemde grondwet altijd drie factoren tezamen in beschouwing dienen te nemen, t.w. vochtgehalte, bewaartemperatuur en bewaarduur.

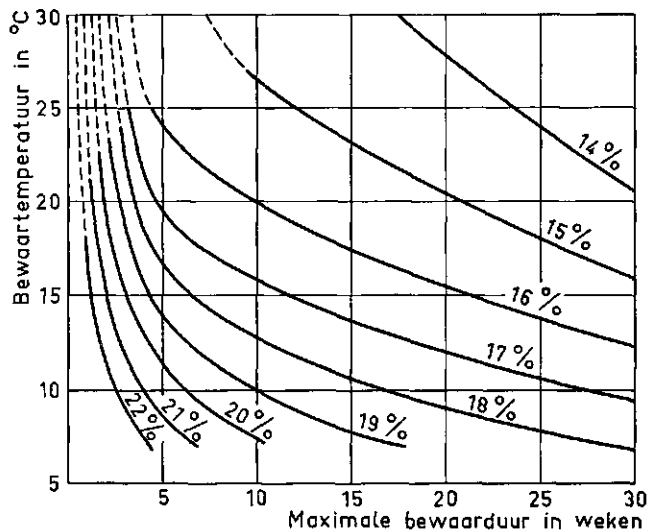
### 2.3.2 NORMEN MET HET OOG OP HET BEHOUD VAN DE KIEMEIGENSCHAPPEN

Als voorbeeld kan een uitgebreid bewaaronderzoek met brouwergerst worden genoemd, dat is uitgevoerd door het IBVL te Wageningen in samenwerking met het NIBEM te Rotterdam (1).

Bij dit onderzoek werd er van uitgegaan, dat een bepaalde opslagduur toelaatbaar werd geacht als na de opslag de kiemenergie nog minstens 95% was. In figuur 4 vindt men de resultaten van dit onderzoek. Men kan er b.v. uit lezen, dat als men brouwergerst 20 weken goed wil houden bij een temperatuur van 15° C, men het vochtgehalte terug moet brengen tot ruim 16%. Zou men deze gerst 30 weken willen bewaren bij dezelfde temperatuur, dan zou het vochtgehalte ongeveer één procent lager dienen te zijn.

In tabel 9 zijn de voornaamste resultaten weergegeven.

FIGUUR 4



MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN BROUWGERST MET VERSCHILLENDE VOCHTGEHALTEN IN AFHANKELIJKHEID VAN DE BEWAARTEMPERATUUR.

TABEL 9

MAXIMALE BEWAARDUUR VAN BROUWGERST (BALDER) IN WEKEN BIJ DIVERSE VOCHTGEHALTEN EN VERSCHILLENDE BEWAARTEMPERATUREN (GEEN VENTILATIE) (KREYGER - 1)

Vochtgehalte brouwgerst	Bewaartemperatuur					
	7° C	10° C	15° C	20° C	25° C	30° C
22 %	4	2,5	1	–	–	–
21 %	6,5	4	2	1	1	–
20 %	10	6	3	2	1,5	1
19 %	18	10	4	2,5	2	1,5
18 %	> 30	17	6,5	3,5	2,5	2
17 %	> 30	27	12	4,5	3	2,5
16 %	> 30	> 30	21	10	4,5	3
15 %	> 30	> 30	> 30	21	12	7
14 %	> 30	> 30	> 30	> 30	23	17

> = meer dan

De betekenis van deze tabel voor de praktijk wordt wellicht het beste geïllustreerd door enkele voorbeelden te geven van het gebruik, dat men ervan kan maken.

1. *Vraag:* Hoe lang kan brouwgerst aan de lucht bewaard blijven als het vochtgehalte 16 % is en de bewaartemperatuur gehandhaafd blijft op 20° C?  
*Antwoord:* 10 weken
2. *Vraag:* Op welke temperatuur moet brouwgerst met 21 % vocht gedurende opslag aan de lucht gehouden worden om 2 weken goed te blijven?  
*Antwoord:* op 15° C.
3. *Vraag:* Als brouwgerst 10 weken aan de lucht bewaard moet blijven, terwijl op een bewaartemperatuur van 25 % gerekend moet worden, tot welk vochtgehalte moet dan worden ingedroogd?  
*Antwoord:* ruim 15 % vocht.

Opgemerkt dient te worden, dat systematisch opgezette bewaaronderzoekingen zoals hierboven bij wijze van voorbeeld vermeld, zeldzaam zijn. Het is dus zeker niet zo, dat men betreffende de normen die zouden kunnen gelden voor verschillende zaadsoorten, bewaarduren en temperaturen gemakkelijk kan putten uit een groot arsenaal van pasklare gegevens.

Een bewaaronderzoek van Bewer (8) met rogge, waarbij eveneens de kiemeigenschappen als criterium golden, leverde een resultaat zoals in tabel 10 is samengevat.

Drukt men het vochtgehalte uit in %R.V. van de evenwichts atmosfeer en zet men de maximale bewaarduur in weken voor gerst en rogge tegen deze waarde uit, dan krijgt men een grafische voorstelling als in figuur 5 (geldend bij 10—15 en 20° C).

Op grond van de genoemde onderzoekingen is gerst (Balder) veel beter bewaarbaar dan rogge. Overigens is uit bepaalde bewaaronderzoekingen gebleken, dat Balder gerst, wat betreft de kiemeigenschappen, stabiel is dan b.v. Vinesco gerst. Tarwe geeft zeer wisselende resultaten te zien.

Er zijn bewaaronderzoekingen verricht waarbij Carstensz VI even goed was als Balder gerst, maar andere waarbij de resultaten slechter waren.

Uit verschillende bewaaronderzoekingen (4-9-10) komt naar voren, dat men met het oog op het behoud van de kiemkracht voor enkele zaaizaden een volgorde kan opstellen, als in tabel 11 is opgenomen. Van deze zaadsoorten zijn er twee betrokken geweest in min of meer breed opgezette bewaaronderzoekingen, t.w. gerst, categorie 1 (1) en rogge, categorie 5 (8).

Teneinde een zo verantwoord mogelijke taxatie te geven van de mogelijke bewaarduur van zaaizaden in afhankelijkheid van temperatuur en vochtigheid, is van de resultaten van deze onderzoekingen met gerst en rogge uitgegaan.

TABEL 10

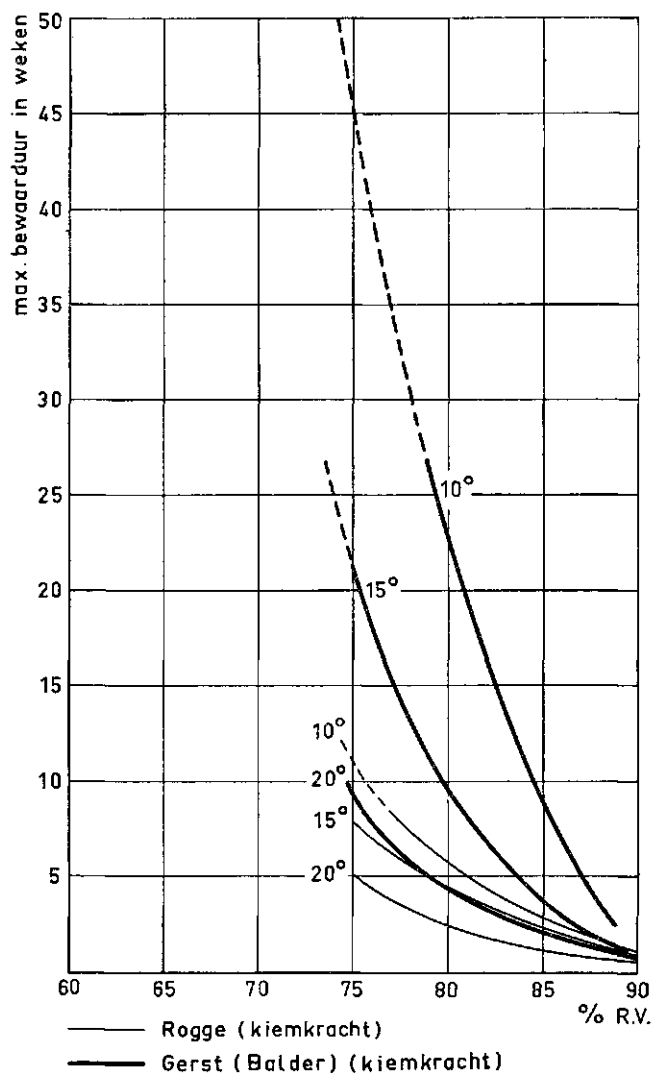
MAXIMALE BEWAARDUUR VAN ROGGE (IN WEKEN) BIJ VERSCHILLENDE VOCHTGEHALTEN EN VERSCHILLENDE BEWAARTEMPERATUREN (BEWER - 10)

Vocht- gehalte	Bewaartemperatuur			
	5° C	10° C	15° C	20° C
24 %	2	1	1	0.5
22 %	3	1.5	1.5	0.5
20 %	6	3	2	1
18 %	11.5	5	3.5	2
17 %	x	7	5	3
16 %	x	x	8	5
15 %	x	x	x	14

x = geen maximale duur bepaald

FIGUUR 5

VERBAND TUSSEN MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN EN RELATIEVE EVENWICHTSVOCHTIGHEID BIJ VERSCHILLENDE TEMPERATUREN (CRITERIUM: KIEMKRACHT)



TABEL 11

VOLGORDE AL NAAR GELANG DE HOUDBAARHEID VAN ENKELE ZAAIZAADSOORTEN (M.H.O. OP HET BEHOUD VAN DE KIEMKRACHT)

Categorie	Zaadsoort	Omschrijving betreffende de relatieve houdbaarheid
1	Koolzaad Lijnzaad Veldbeemd Gerst	sterke zaadsoorten
2	Haver Bietenzaad Engels raai Kapucijners Rozijnerwten Groene erwten Fiorin	redelijk sterke zaadsoorten
3	Bruine bonen Stamslabonen Pronkbonen Tarwe	minder sterke zaadsoorten
4	Roodzwenk	vrij zwakke zaadsoort
5	Rogge Uienzaad	zeer zwakke zaadsoorten

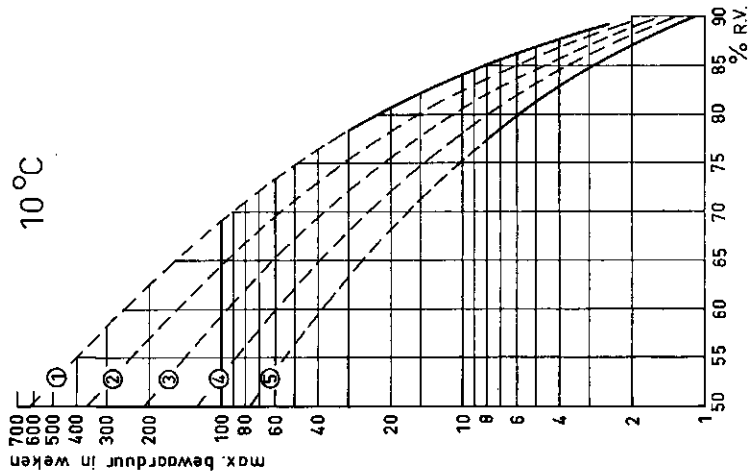
*Opmerking:* De nummers van deze categorieën zijn aangegeven in de figuren 6, 7 en 8.

In de figuren 6, 7 en 8 is de bewaarduur uitgezet tegen de relatieve vochtigheid van de evenwichts atmosfeer van de zaden voor 3 temperaturen (10, 15 en 20° C). De dikgetrokken lijngedeelten zijn afkomstig uit de genoemde bewaaronderzoekingen met gerst en rogge. De wijze van voorstelling is semi-logaritmisch teneinde een extrapolatie te vergemakkelijken en het mogelijk te maken het verband voor de categorieën 2, 3 en 4 te kunnen aangeven.

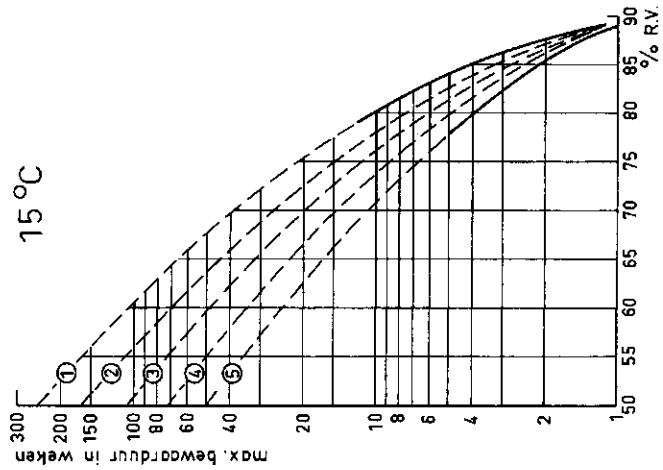
Uit deze figuren zijn de gegevens van de tabellen 12, 13, 14, 15 en 16 betrokken, waarin de maximale bewaarduren zijn af te lezen voor de zaden, behorende tot de onderscheiden categorieën, met in achtnaam van de verschillende omstandigheden van temperatuur en vochtigheid.

Met nadruk moet gesteld worden, dat het hier om zo goed mogelijk getaxeerde normen gaat, waarvan overigens gemeend wordt, dat ze houvast kunnen geven en dat ze het mogelijk maken de relatieve betekenis van combinaties van bewaaromstandigheden te onderkennen.

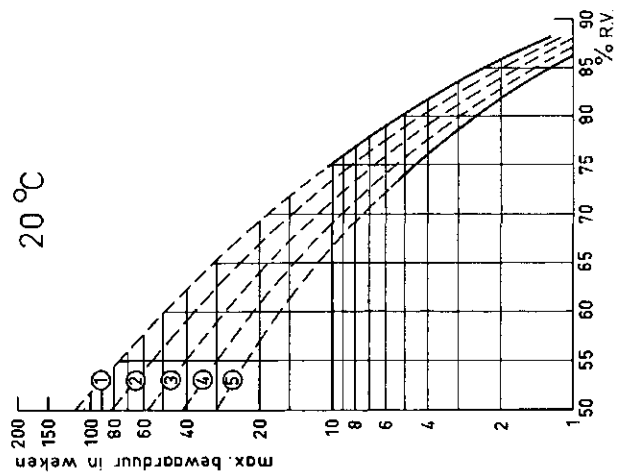




**FIGUUR 6**  
**GETAXEERD VERBAND TUSSEN**  
**MAX. BEWAARDUUR EN VOCHTIG-**  
**HEID VAN ZAAIZADEN BIJ 10° C**  
**(ZIE TABEL 11) (M.H.O. OP DE KIEM-**  
**KRACHT; GEEN VENTILATIE)**



**FIGUUR 7**  
**GETAXEERD VERBAND TUSSEN**  
**MAX. BEWAARDUUR EN VOCHTIG-**  
**HEID VAN ZAAIZADEN BIJ 15° C**  
**(ZIE TABEL 11) (M.H.O. OP DE KIEM-**  
**KRACHT; GEEN VENTILATIE)**



**FIGUUR 8**  
**GETAXEERD VERBAND TUSSEN MAX.**  
**BEWAARDUUR EN VOCHTIGHEID VAN**  
**ZAAIZADEN BIJ 20° C (ZIE TABEL 11)**  
**(M.H.O. OP DE KIEMKRACHT, GEEN**  
**VENTILATIE)**

TABEL 12

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN ENKELE STERKE  
ZAADSOORTEN (GEEN VENTILATIE)

	VOCHTGEHALTEN % (analyse)											ZAADSOORT
	6.5	7	7.5	8	9	10	12	14	17			
Bewaar- temperatuur	6.5	7	7.5	8	9	10	12	14	17	Koolzaad Lijnzaad Vetbeemd Gerst		
	7	8	8.5	9	10	11	12.5	14.5	18			
20° C	10.5	11	12	13	14	15	16	18	21	Getaxeerde maximale bewaarduur in weken		
	11	12	13	14	15	16	17	19	23			
15° C	110	80	50	32	19	10	5	2.5	0.5	Relatieve even- wichtsvochtig- heid (%)		
	240	170	100	65	40	20	10	4	1			
10° C	600	400	260	160	90	50	21	8.5	2			
	50	55	60	65	0	75	80	85	90			

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN ENKELE REDELIJK  
STERKE ZAADSOORTJEN (GEEN VENTILATIE)

	VOCHTGEHALTEN % (analyse)										ZAADSOORT
	11	11.5	12.5	13	14	14	15	17	19	22	
Bewaar- temperatuur	11	11.5	12.5	13	14	14	15	17	19	22	Haver
	8.5	9	10	12	13	13	14	16	18	22	Bietenzaad
	10.5	11	12	13	14	14	15	17	20	24	Eng. raai gras
	11	12	13	14	16	16	18	21	24	29	Kapucijners
	11	12	13	14	15	15	17	20	23	28	Rozijnenwten
	11	12	13	14	15	15	17	19	23	27	Groene erwten
	9	10	10.5	11	12	12	13	14	16	19	Fiorin
20° C	80	55	38	26	15	15	8	4.5	2	0.5	Getaxeerde maximale bewaarduur in weken
15° C	160	110	70	45	26	26	15	7.5	<u>3.5</u>	1	Relatieve even- wichtsvochtig- heid (%)
10° C	350	230	150	95	55	55	30	16	<u>6</u>	<u>1.5</u>	
	50	55	60	65	70	70	75	80	85	90	

Opmerking: onderstreepte waarden: kans op schimmelvorming bij type zoals haver

TABEL 14 GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN ENKEL MINDER STERKE ZAADSOORTEN  
(GEEN VENTILATIE)

	VOCHTGEHALTEN % (analyse)										ZAADSOORT
	11	12	13	14	16	18	20.5	23	28		
Bewaar- temperatuur	11	12	13	14	16	18	20.5	23	28		
20° C	55	40	28	19	13	7	3.5	1.5	0.5		
15° C	100	75	50	30	20	12	6	3	1		
10° C	200	140	95	60	38	20	11	4.5	1.5		
	50	55	60	65	70	75	80	85	90		
											Getaxeerde maximale bewaarduur in weken
											Relatieve even- wichtsvochtig- heid (%)

Opmerking: onderstreepte waarden: kans op schimmelvorming bij tarwe

TABEL 15

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN EEN VRIJ ZWAKKE  
ZAADSOORT (GEEN VENTILATIE)

Bewaar- temperatuur	VOCHTGEHALTEN % (analyse)											ZAADSOORT	
	10	11	12	13	14	15	17	20	23				
20° C	40	30	22	14	9	5.5	3	1.5	0.5				
15° C	70	50	34	22	14	8.5	5	2.5	1				
10° C	120	85	60	38	24	14	8	3.5	1.5				
	50	55	60	65	70	75	80	85	06				

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN ENKELE ZEER ZWAKKE ZAADSOORTEN  
(GEEN VENTILATIE)

Bewaar- temperatuur	VOCHTGEHALTEN % (analyse)											ZAADSOORT	
	11.5	12.5	13	14	15	16	18	20	24				
	9.5	10	11	11.5	12.5	14	16	19	23.5				Rogge Uienzaad
20° C	30	23	17	13	7.5	4.5	2.5	1.5	$\frac{1}{2}$				Getaxeerde maximale bewaarduur in weken
15° C	50	34	23	16	10	6.5	4	2	1				
10° C	75	55	40	25	16	10	5.5	3	1				
	50	55	60	65	70	75	80	85	90				Relatieve even- wichtsvochtig- heid (%)

### 2.3.3 NORMEN MET HET OOG OP HET VRIJBLIJVEN VAN SCHIMMELS

Zoals reeds in hoofdstuk A 2.2 werd uiteengezet, is het uiterst moeilijk om exacte gegevens te verschaffen omtrent het optreden van schimmelgroei bij opgeslagen granen, zaden en peulvruchten. Enkele zaken staan evenwel vast en geven voor de praktijk op enkele voorname punten een deugdelijk houvast.

1. Schimmelgroei van praktische betekenis is alleen mogelijk bij relatieve vochtigheden van de evenwichts atmosfeer hoger dan  $\pm 70\%$ ; eigenlijk kan men  $75\%$  voor vele gevallen als een praktische waarde aanmerken (zie fig. 2).
2. Schimmels, die nog bij betrekkelijk lage R.V. groeien, behoren tot de groep *Aspergillus glaucus*, zetten de groei bij hogere temperatuur tot een lagere R.V. waarde voort dan bij lagere temperatuur (fig. 3). Een temperatuurverschil van  $10^\circ\text{C}$  komt, globaal bezien, overeen met  $5\%$  verschil in R.V.

Het vaststellen van de samenhang van toe te laten bewaarduur, in afhankelijkheid van R.V. en temperatuur bij waarden voor de R.V., hoger dan  $75\%$  is op grond van genomen proeven niet eenvoudig.

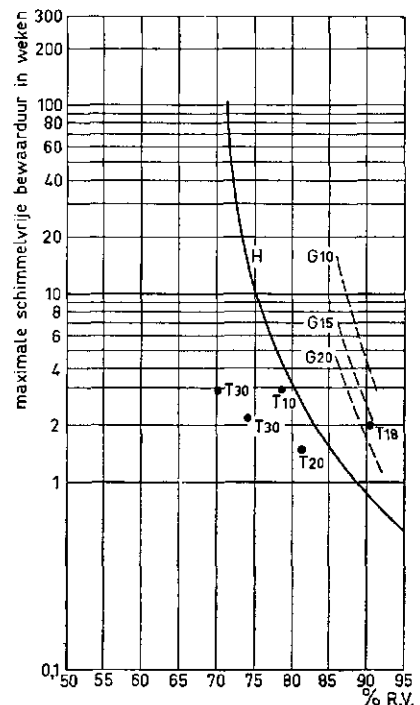
Teneinde tot een enigszins verantwoorde taxatie te komen, die voor de praktijk toch altijd enige waarde heeft, al was het alleen ter oriëntering, kan de volgende beschouwing wellicht dienst doen.

In figuur 9 is een kromme getekend (H) welke betrokken is uit gegevens van een onderzoek van Snow, Crichton en Wright, aangehaald door Semeniuk (3). De kromme geeft het verband aan tussen een vrijwel schimmelvrije bewaarduur en de relatieve vochtigheid bij haver.

Blijkbaar was er geen schimmelgroei mogelijk bij een relatieve vochtigheid, lager dan  $70\%$ .

FIGUUR 9

ENKELE GEGEVENS BETREFFENDE SCHIMMELGROEI BIJ HAVER, GERST EN TARWE (ZIE TEKST)



De drie kortere gestippelde lijnen zijn betrokken uit een onderzoek met gerst (1). Ze stellen hetzelfde verband voor bij 20°C, 15° C en 10° C (aangeduid met G 20, G 15 en G 10).

Belderok (7) deed onderzoek met bevochtigde tarwe (24% vocht R.V. ± 91%). Na 14 dagen bewaren bij 18° C begon schimmelvorming (nadat microbiële aantasting door bacteriën reeds eerder was ingezet). De kiemkracht was na 14 dagen tot beneden 20% gedaald, de vitaliteit tot tussen de 60 en 80%. De bakkwaliteit vertoonde na 14 dagen nog geen ernstige verschijnselen van achteruitgang hoewel uit het verloop bij verdere bewaring bleek, dat 14 dagen bewaren, met het oog hierop, in dit geval wel als de uiterste grens moet worden beschouwd.

Het punt T 18 duidt de relatie aan zoals deze uit het onderzoek van Belderok naar voren komt voor tarwe bij 18° C (7).

Scholz (2) constateerde een nog eerder optreden van schimmel bij bewaarproeven met bevochtigde tarwe (tabel 8).

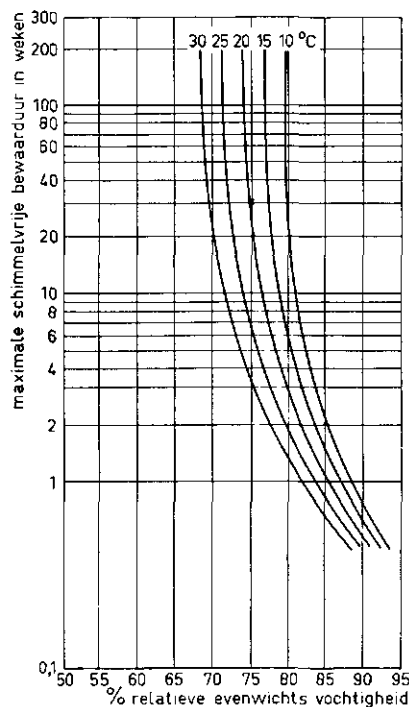
De punten T 10 en T 20 (fig. 9) hebben betrekking op de resultaten van dit onderzoek (tarwe: 10° C en 20° C).

Tenslotte zijn 2 punten T 30 getekend, betrokken uit een onderzoek van Milner, Christensen en Geddes (11) waaruit de grens is te betrekken voor tarwe bij 30° C. Het is vrijwel ondoenlijk in figuur 9 enige wetmatigheid te onderscheiden. Toch is een min of meer schematische poging gedaan in dze richting door vanuit figuur 9 de gegevens te betrekken voor de figuren 10a, 10b en 10c die resp. gelden voor zaden van het type tarwe, haver en gerst. Daartoe zijn naast de lijnen als H in figuur 9 voor haver lijnen getekend geldend voor verschillende temperaturen.

Uit figuur 10a, b en c zijn de gegevens betrokken waaruit tabel 17 is samengesteld. Ook hier zij er met nadruk op gewezen, dat het hier gaat om een (overigens zo goed mogelijk verantwoorde) taxatie van bewaarduren, waarin het optreden van schimmelgroei vermoedelijk niet zal voorkomen.

FIGUUR 10a

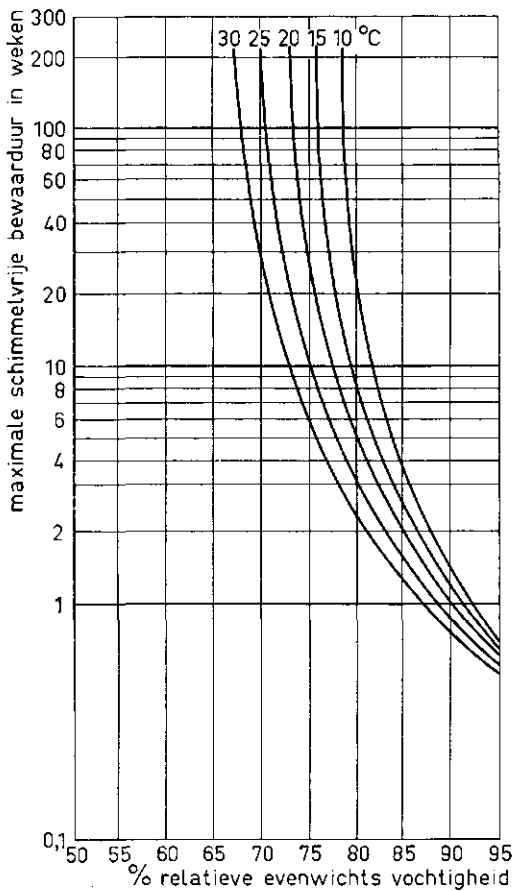
GLOBAL GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN TARWE IN AFHANKELIJKHEID VAN VOCHTIGHEID EN TEMPERATUUR (GEEN VENTILATIE)





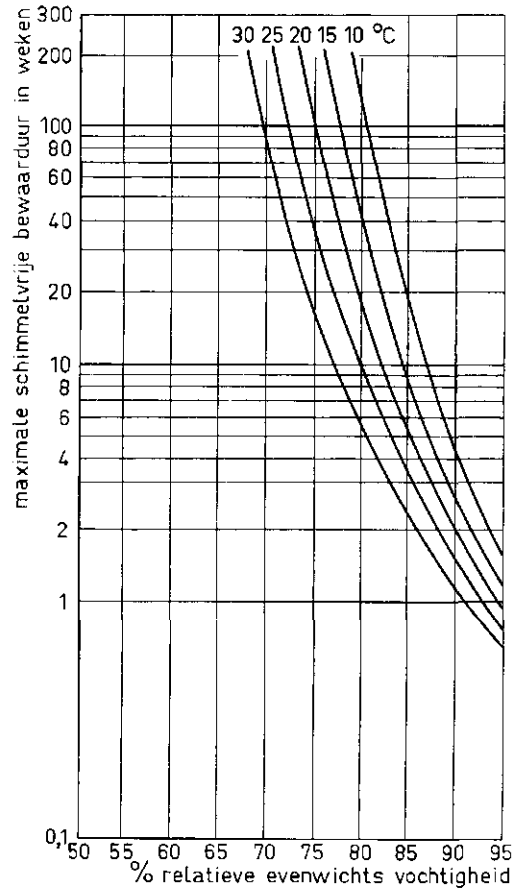
FIGUUR 10b

GLBAAL GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN HAVER IN AFHANKELIJKHEID VAN VOCHTIGHEID EN TEMPERATUUR (GEEN VENTILATIE)



FIGUUR 10c

GLBAAL GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN GERST IN AFHANKELIJKHEID VAN VOCHTIGHEID EN TEMPERATUUR (GEEN VENTILATIE)



Bewaar- temperatuur	25° C	16.1	16.6	17.1	17.6	18.4	19.6	21.0	23.0	Vochtgehalte % tarwe
	20° C	-	30	6	3	2	1.5	1	0.5	Maximale bewaar- duur (weken) tarwe (vermoedelijk ook rogge)
	15° C	-	-	30	6	2.5	1.5	1	1	
	10° C	-	-	-	30	5	2	1.5	1	
Bewaar- temperatuur	25° C	14.8	15.4	16.0	16.7	17.5	18.6	20.0	22.0	Vochtgehalte % haver
	20° C	-	40	12	5.5	3	2	1.5	1	Maximale bewaar- duur (weken) haver (vermoedelijk ook graszaad)
	15° C	-	-	35	10	4.5	3	2	1.5	
	10° C	-	-	-	35	9	4	2.5	1.5	
Bewaar- temperatuur	25° C	15.6	16.1	16.6	17.2	18.3	19.4	20.7	22.7	Vochtgehalte % gerst
	20° C	-	100	45	20	10	5.5	3.5	2	Maximale bewaar- duur (weken) gerst
	15° C	-	-	120	50	20	9	5	3	
	10° C	-	-	-	160	50	20	9	5	
		72 <sup>s</sup>	75	77 <sup>s</sup>	80	82 <sup>s</sup>	85	87 <sup>s</sup>	90	Relatieve even- wichtsvochtigheid %

## 2.4 BETEKENIS VAN DE BEWAARNORMEN

In de tabellen 12, 13, 14, 15 en 16 zijn bewaarduren gegeven zoals deze maximaal toelaatbaar geacht kunnen worden met het oog op de kiemeigenschappen; in tabel 17 is hetzelfde gebeurd, maar dan m.h.o. op het schimmelvrij bewaren.

Bij beschouwing van de tabellen kan men zien, dat een betrekkelijk klein verschil in temperatuur of in vochtgehalte een groot verschil in mogelijke bewaarduur geeft. Nu heeft men in de praktijk te maken met partijen en niet met monsters. In partijen van enige omvang komen verschillen in vochtgehalte en in temperatuur voor. Dit is niet te vermijden. Een keten is niet sterker dan de zwakste schakel en zo is de bewaarbaarheid van een partij afhankelijk van slechte plekken. Ook „vuil”, groene zaden, bijmengselen etc. dragen tot het vormen van slechte plekken bij. Dergelijke plekken zijn harden van bederf.

Om in de praktijk bij het bewaren van partijen zo goed mogelijk controle uit te kunnen oefenen op de omstandigheden betreffende temperatuur en vocht, dient men te beschikken over homogene partijen. Het is duidelijk, dat men maatregelen moet nemen om de homogeniteit te bevorderen. Men heeft in de praktijk dan ook de gewoonte partijen te laten „omlopen” om ze „fris” en homogeen te krijgen en te houden.

Een verdere universele maatregel om aan de hierboven genoemde bezwaren tegemoet te komen is de „geventileerde bewaring”. Deze is de laatste tijd meer en meer in de belangstelling gekomen.

## 2.5 GRONDSLAGEN VAN DE GEVENTILEERDE BEWARING

### 2.5.1 INLEIDING

Men kan, zoals blijkt uit onderzoeken die o.a. door het IBVL op dit gebied zijn verricht, door middel van een geforceerde ventilatie, waarbij de lucht dwars door een laag (een partij) wordt geblazen of gezogen, in principe het volgende bereiken:

- Enige droging, als de lucht gemiddeld een zekere droogkracht bezit ten opzichte van het graan
- Het gelijkmatig maken van de temperatuur in de partij
- Het afvoeren van als gevolg van de ademhaling ontstane warmte. Als de lucht zich daartoe leent, kan men de partij zelfs afkoelen. In elk geval kan men in principe bereiken dat het verschil in temperatuur tussen graan en buitenlucht niet groot is
- Een extra conserverend effect (afgezien van de gunstige effecten van droging en temperatuurverlaging). Dit effect is vooral van betekenis bij continue ventilatie met niet te weinig lucht.

In het navolgende zal puntsgewijs worden ingegaan op verschillende facetten. Daarbij zullen de voornaamste resultaten worden gegeven, zoals deze gevonden zijn bij de onderzoeken door het IBVL (12, 13, 14, 15, 16).

### 2.5.2 LANGZAME DROGING TIJDENS DE OPSLAG

Bij onderzoeken over het langzaam drogen van graan door ventilatie met onverwarmde buitenlucht is het volgende gebleken. Men kan te vochtig graan door dit onafgebroken te ventileren met onverwarmde lucht langzaam drogen tot een vochtgehalte, dat in een normaal jaar ongeveer op 17—17,5% zal uitkomen, maar dat b.v. in het droge jaar 1959  $\pm$  1% lager en in het natte jaar 1960 ruim 1% hoger lag. Voorwaarde is, dat men de luchthoeveelheid, b.v. uitgedrukt in m<sup>3</sup> lucht per m<sup>3</sup> graan per uur, zodanig kiest dat de droging tijdig beëindigd is.

De droogkracht van de buitenlucht kan in ons land globaal gesteld worden op 0.75 kg wateropname-mogelijkheid per 100 m<sup>3</sup> bij het ventileren van gerst en op  $\pm$  1 kg per 1000 m<sup>3</sup> bij het ventileren van tarwe. Een en ander gaat op bij vochtgehalten, hoger dan 17—18%. Gebleken is, dat men in ons klimaat vochtig graan met onverwarmde lucht onder bepaalde omstandigheden wel kan drogen, maar dat men het eindvochtgehalte niet in de hand heeft. Men kan daarom overwegen „het klimaat wat te verbeteren”, zodanig, dat men kan rekenen op een eindvochtgehalte van b.v. 17%. Dit komt erop neer dat men ervoor moet zorgen, dat de relatieve vochtigheid van de lucht de-

zelfde zou moeten zijn als de relatieve vochtigheid die bij normale temperatuur bij 17% vocht van het graan past (zie tabel 4).

Een relatieve vochtigheid van ca. 78% zou voldoende zijn. Dit betekent, dat de lucht onder de alleringunstigste omstandigheden (100% R.V.) ca 3° C zou moeten worden opgewarmd. In vele gevallen zal 1 of 2 graden voldoende zijn; het kan ook voorkomen dat geen verwarming nodig is.

Zolang het graan nog vrij vochtig is, zou de verwarming achterwege kunnen blijven. Ten opzichte van werkelijk vochtig graan bezit de buitenlucht vrijwel altijd een zekere droogkracht als de temperatuur lager is dan die van het graan.

Nu lijkt een dergelijke geringe opwarming een eenvoudige zaak. Zo is het evenwel niet. Voor de bedrijfsvoering zou het verreweg het eenvoudigst zijn een elektrische verwarming toe te passen. Deze kan veilig zijn en geheel worden geautomatiseerd.

Hoewel er bij deze wijze van opslag langzaam wordt gedroogd, moet de inrichting toch niet als een „drooginrichting” in de gewone zin van het woord worden opgevat.

Blijkens onderzoek, verricht op het IBVL, moet men, wil bij de opslag aan de eisen van kwaliteit worden voldaan, rekening houden met bepaalde normen voor wat betreft de te gebruiken hoeveelheid lucht (waarbij wij ons voorlopig bepalen tot onverwarmde buitenlucht). Voor granen gelden de normen van tabel 18.

TABEL 18

NORMEN VOOR DE LUCHTBEHOEFTE BIJ LANGZAME DROGING TIJDENS GE-VENTILEERDE BEWARING VAN GRAAN MET ONVERWARMDE LUCHT

Vocht- gehalte vóór de opslag (%)	Vereiste luchthoeveelheid m <sup>3</sup> per m <sup>3</sup> graan per uur		Duur van de nood- zakelijke ononder- broken ventilatie t.b.v. het drogen (etmalen)	Van belang voor
	gerst	tarwe rogge haver		
25	450	360	± 10	landbouwbedrijven  centrale bedrijven
24	260	210	„ 15	
23	160	130	„ 20	
22	110	90	„ 25	
21	70	55	„ 30	
20	50	40	„ 30	
19	35	28	„ 30	
18	18	15	„ 30	

### 2.5.3 GEVENTILEERDE OPSLAG MET HET DOEL TE KOELEN.

Bij het doorblazen van lucht vindt er vrijwel altijd een gelijktijdige overdracht van warmte en vocht plaats, zodat er naast de warmte-effecten, voortvloeiend uit het temperatuurverschil tussen lucht en graan, ook warmte-effecten, als gevolg van verdamping of condensatie, plaatsvinden. Men komt er niet met studie of berekeningen, zoals deze in de techniek mogelijk zijn bij afkoelen of opwarmen van in dit opzicht indifferente materialen.

Als men lucht door graan, zaad op peulvruchten blaast met het oogmerk de temperatuur te verlagen, zal men willen voorkomen, dat het materiaal vochtiger wordt. Men moet dus rekening houden met de begrenzingen. Deze hangen samen met:

1. de temperatuur van het graan
2. het vochtgehalte van het graan
3. de temperatuur van de lucht
4. de relatieve vochtigheid van de lucht

In tabel 19 vindt men de omstandigheden waaronder ventilatie is toegestaan.

TABEL 19

TABEL AANGEVENDE DE MAXIMALE TOEGESTANE RELATIEVE VOCHTIGHEID VAN DE LUCHT, DIE GEBRUIKT WORDT VOOR HET VENTILEREN VAN GRAAN.

Temperatuur van het graan in °C	Vochtgehalte graan in %	Temperatuur van de lucht voor ventileren (°C)																
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26		28	30	
8	15	95	89	82	72	64	57	50	43									Maximaal toegestane relatieve vochtigheid van de lucht voor ventileren (% R.V.)
	18	x	95	89	82	72	63	57	50	43								
	20	x	x	95	89	78	69	60	52	47	41							
	25	x	x	x	95	82	72	63	57	50								
10	15	x	98	95	82	72	63	57	50	43								
	18	x	x	98	95	82	72	63	57	50	44							
	20	x	x	x	98	89	78	69	60	53	47	41						
12	25	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	44	40					
	15	x	x	x	95	82	72	63	57	50	54							
	18	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	44						
14	20	x	x	x	x	x	88	78	68	60	53	47	42					
	25	x	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	44	40				
	15	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	44						
16	18	x	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	44					
	20	x	x	x	x	x	x	95	82	72	63	56	50	45				
	25	x	x	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	46	40			
18	15	x	x	x	x	x	x	95	82	72	63	56	50	45				
	18	x	x	x	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	46			
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	88	78	69	61	54	49	44		
20	25	x	x	x	x	x	x	x	x	95	82	73	65	58	51	47		
	15	x	x	x	x	x	x	x	95	82	72	64	57	50	46			
	18	x	x	x	x	x	x	x	x	95	82	73	65	58	51	47		
	20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	88	79	69	62	55	50		
	25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	95	83	74	66	59	52		

Opmerking: x betekent, dat er geventileerd mag worden, ongeacht de relatieve vochtigheid van de buitenlucht.

Het blijkt dat men meer uren per etmaal kan ventileren bij vochtiger graan dan bij minder vochtig graan. Verder zal men meer kunnen ventileren bij warm graan dan bij graan dat al wat is afgekoeld.

De graantemperaturen, die door het ventileren met buitenlucht in de perioden, die daarvoor geschikt zijn, te realiseren zijn, bewegen zich om de volgende waarden:

augustus	$\pm 18^{\circ} \text{ C}$
september	$\pm 15^{\circ} \text{ C}$
oktober	$\pm 10^{\circ} \text{ C}$
november	$\pm 6^{\circ} \text{ C}$
december	$\pm 3^{\circ} \text{ C}$
januari	$\pm 2^{\circ} \text{ C}$
februari	$\pm 1^{\circ} \text{ C}$

Onderzoek op het IBVL heeft uitgewezen dat er bij het ventileren door een graanlaag een wijziging in de temperatuur van het graan, veroorzaakt door de lucht, zich als front met een bepaalde snelheid door het graan verplaatst. De mate waarin deze wijziging tot stand komt hangt van het vochtgehalte van het graan af. Men kan dus 2 zaken onderscheiden:

1. de snelheid van het temperatuurfront
2. de waarde (het niveau) van de temperatuur die ter plaatse bereikt wordt

De snelheid waarmee het front zich verplaatst hangt samen met de luchthoeveelheid. Op grond van proeven is een relatie vastgesteld, die met de volgende formule kan worden weergegeven:

$$D = \frac{400}{n}$$

D = duur waarin een temperatuurfront de gehele laag passeert (uren)  
 n = luchthoeveelheid m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur

TABEL 20

AANTAL DAGEN DAT NODIG IS OM EEN TEMPERATUURFRONT BIJ GEVENTILEERDE BEWARING DE GEHELE LAAG TE LATEN PASSEREN

Luchthoeveelheid (m <sup>3</sup> lucht per m <sup>3</sup> graan per uur)	Aantal uren dat per etmaal wordt geventileerd					Aantal dagen
	1	2	3	4	5	
15	27	14	9	7	5	
20	20	10	7	5	4	
25	16	8	5	4	3	
30	13	6	4	3	2½	
40	10	5	3½	2½	2	
50	8	4	3	2	1½	

In tabel 20 vindt men het aantal dagen dat nodig is om een temperatuureffect over de gehele laag teweeg te brengen afhankelijk van de luchthoeveelheid en van het aantal voor ventilatie geschikte uren per etmaal.

Op de belangrijke vraag hoe lang men te vochtig graan door koeling met buitenlucht goed kan houden is geen exact antwoord te geven. Wij moeten ons beperken tot schattingen.

Uit tabel 17 is te zien dat er bij gewone bewaring een groot verschil is tussen de zaden. Gerst beschimmelt veel minder snel dan b.v. tarwe. Uit onderzoekingen, verricht op het IBVL, is gebleken dat een voldoende sterke ventilatie remmend werkt op de schimmelgroei. In hoeverre dit het geval is bij een kleine luchthoeveelheid van 20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur en dan alleen toegepast als de temperatuur van de buitenlucht er voor geschikt blijkt is een vraag, die moeilijk is te beantwoorden.

Op grond van verschillende aanwijzingen zijn de tabellen 21, 22 en 23 opgesteld, waarin de maximale bewaarduren in weken zijn getaxeerd wanneer graan bewaard wordt onder toepassing van ventilatie welke enkele uren per dag plaatsvindt in een hoeveelheid van ± 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur. In het algemeen verdient het wel aanbeveling om het graan na het inbrengen in elk geval enige dagen continu te ventileren teneinde te ongelijkmatige temperaturen te nivelleren.

De waarden in de tabellen 21, 22 en 23 zijn getaxeerd voor zover het tarwe, rogge en haver betreft, waarbij is aangenomen dat het ventileren hetzelfde effect heeft als een 2,5% lagere R.V.

Voor de minder snel beschimmellende gerst is dit verschil kleiner genomen.

TABEL 21

GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN TARWE EN ROGGE BIJ GEVENTILEERD BEWAREN (ALLEEN KOELEN, NIET DROGEN)

		Vochtgehalte				
		18.4 %	19.6 %	21.0 %	23.0 %	
<b>TARWE</b>		18.4 %	19.6 %	21.0 %	23.0 %	BEWAAR- DUUR IN WEKEN
<b>ROGGE</b>		19.0 %	20.3 %	22.1 %	24.4 %	
BEWAAR- TEMPERA- TUUR	20° C	3	2	1.5	1	
	15° C	6	2.5	1.5	1	
	10° C	30	5	2	1.5	
	5° C	—	30	5	2	
		82.5 %	85 %	87.5 %	90 %	
		Relatieve evenwichtsvochtigheid				

TABEL 22

GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN HAVER BIJ GEVENTILEERD BEWAREN (ALLEEN KOELEN, NIET DROGEN)

		Vochtgehalte				
		17.5 %	18.6 %	20.0 %	22.0 %	
<b>HAVER</b>		17.5 %	18.6 %	20.0 %	22.0 %	BEWAAR- DUUR IN WEKEN
BEWAAR- TEMPERA- TUUR	20° C	5.5	3	2	1.5	
	15° C	10	4.5	3	2	
	10° C	35	9	4	2.5	
	5° C	—	35	9	4	
		82.5 %	85 %	87.5 %	90 %	
		Relatieve evenwichtsvochtigheid				

TABEL 23

GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR VAN GERST BIJ GEVENTILEERD BEWAREN (ALLEEN KOELEN, NIET DROGEN)

GERST		Vochtgehalte				BEWAAR- DUUR IN WEKEN
		18.3 %	19.4 %	20.7 %	22.7 %	
BEWAAR- TEMPERA- TUUR	20° C	11	6	3.5	2	
	15° C	25	11	5	3	
	10° C	75	26	11	5.5	
	5° C	–	75	26	11	
		82.5 %	85 %	87.5 %	90 %	
Relatieve evenwichtsvochtigheid						

### 3. HET DROGEN (17, 18, 19, 20, 21)

#### 3.1 ALGEMENE EISEN

In hoofdstuk A 1 is uiteengezet dat, voor de bewaring begint, voor wat betreft het vochtgehalte van granen, zaden en peulvruchten, voldaan moet worden aan bepaalde eisen. Veelal zal het hieraan voldoen alleen kunnen geschieden door het materiaal te drogen. Ook hierbij gelden algemene eisen. De kwaliteit moet behouden blijven, of het nu uiterlijk geur, kiemkracht, voederwaarde of bakkwaliteit betreft.

Er zijn derhalve een aantal eisen aan het droogproces te stellen die betrekking hebben op het levende produkt. Andere eisen kunnen betrekking hebben op de economie van het drogen, de geaardheid van en variatie in produkt, de aard van het bederf, het interne transport etc. Elders zal op de laatstgenoemde facetten nader worden ingegaan.

Teneinde vooral de rol en de eigenschappen van de produkten zelf nader te belichten is het nodig om eerst stil te staan bij de verschillende systemen van droging die mogelijk zijn. In dat verband moet ook enige aandacht worden besteed aan de maatregelen die in principe van buitenaf genomen kunnen worden om het droogproces op gang te brengen of te bevorderen.

#### 3.2 UITWENDIGE DROOGOMSTANDIGHEDEN

Bij het drogen moet vocht uit het inwendige van de korrels naar buiten worden getransporteerd en er moet vochtafgifte van het uitwendige naar de omgeving plaatsvinden. Dit laatste gebeurt als de dampdruk (zie A 2.2) van het graan hoger is dan die van de omgeving. Is dit het geval, dan wordt de buitenkant droger en er ontstaat een vochtgradiënt in de korrel, waardoor het transport van vocht van binnenuit in werking treedt. Het drogen kan in principe plaatsvinden door:

- verhoging van de dampdruk van de korrels
- verlaging van de dampdruk buiten de korrels
- beide maatregelen tegelijkertijd.

Bij het drogen moet in elk geval warmte worden toegevoerd, omdat de warmte-inhoud in de gasfase groter is dan in de vloeistoffase (verdampingswarmte).

De dampdruk van graan stijgt met de temperatuur. De sub a genoemde maatregel kan dus worden verkregen door verhoging van de korreltemperatuur.

Om de overgang van vocht van de korrels naar de omgeving te bevorderen, dus om de droogsnelheid te vergroten, dient men op de een of andere wijze warmte aan de korrel toe te voeren.



De onder a genoemde warmte-overdracht kan in principe op drie wijzen geschieden, t.w.:

1. door contact. Het produkt wordt via een wand verwarmd door condenserende stoom of door heet water e.d.
2. door convectie. Het produkt wordt verwarmd door een heet gas dat langs de korrels stroomt. In het algemeen wordt lucht gebruikt. Deze lucht kan zuivere, door een warmtewisselaar verhitte lucht zijn (indirecte verhitting) of lucht gemengd met hete verbrandingsgassen (directe verhitting).
3. door straling. Hierbij wordt het produkt verwarmd doordat er warmtestralen worden geabsorbeerd, afkomstig van een straler. Zuivere warmte-overdracht door straling komt niet voor; er zal ook wel een zekere overdracht volgens de andere beide wijzen optreden. Warmte-overdracht door straling wordt in de praktijk van het graandrogen of zaaddrogen uiterst weinig toegepast.

De onder b genoemde maatregel kan b.v. bestaan in het scheppen van een vacuum, zoals in vacuümdrogers geschiedt. De vrijkomende waterdamp dient door een condensor te worden neergeslagen tot waterdamp. De hierbij vrijkomende condensatiewarmte wordt door het koelwater van de condensor opgenomen. Omdat het drogen warmte kost, zal ook in een vacuümdroger warmte op het produkt moeten worden overgebracht. Dit kan uiteraard niet, zoals bij het drogen met verwarmde lucht gebeurt, door convectie geschieden. Men past als regel warmte-overdracht door contact toe.

De onder b toegepaste maatregel kan in principe ook bij luchtdroging worden toegepast. In dat geval dient de waterdampspanning van de lucht te worden verlaagd door de lucht vooraf te drogen. Dit kan door middel van droogmiddelen (b.v. silicagel) gebeuren of door het eerst voldoende afkoelen beneden het dauwpunt en het daarna weer op temperatuur brengen van de lucht.

Als men de gedroogde lucht zou verwarmen, of bij vacuümdroging de korreltemperatuur extra hoog maken, zou men de situatie krijgen, genoemd onder sub c.

De hierboven beschreven maatregelen hebben te maken met de z.g. uitwendige droogomstandigheden. In hoeverre en op welke wijze ze effect hebben hangt van het materiaal af, d.w.z. van de specifieke eigenschappen ervan t.a.v. het drogen (Zie A 3.4)

Als men bijvoorbeeld graan droogt met verwarmde lucht kan men de uitwendige droogomstandigheden karakteriseren door de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de toegevoerde drooglucht en door de snelheid waarmee deze langs de korrels strijkt.

In dit verband lijkt het nuttig enige aandacht te besteden aan enkele aspecten van de lucht als droogmedium. Om de verandering van de toestand van de droogucht bij droging uit te drukken en het droogproces te vervolgen, maakt men in de droogtechniek vaak gebruik van het z.g. toestandsdiagram van vochtige lucht (het z.g. Mollier-diagram).

In figuur 11 is een dergelijk diagram getekend; het is enigszins vereenvoudigd doch in dit geval voldoende nauwkeurig. De diagrammen zijn voor verschillende bereiken van temperatuur en vochtgehalte te tekenen. Aan de hand van enkele voorbeelden zullen het praktische gebruik en het nut ervan worden toegelicht.

We stellen ons buitenlucht voor van  $15^{\circ}\text{C}$  met een relatieve vochtigheid van 70%. In de figuur ziet men de gebogen lijnen met 10, 20, 30 tot 100% R.V. getekend. Het kruispunt van de horizontale lijn van  $15^{\circ}\text{C}$  en de 70% lijn (punt A) geeft de toestand van deze lucht aan.

Wanneer we nagaan, welke waarde op de horizontale as door punt A wordt aangegeven, dan vinden we 7,5g/kg, d.w.z. de lucht van  $15^{\circ}\text{C}$  met 70% R.V. bezit 7,5 gram waterdamp per kg droge lucht (het getekende diagram geldt voor een normale luchtdruk van 1 atmosfeer).

Behalve de gebogen R.V.-lijnen zijn ook nog schuine rechte lijnen op het diagram te zien. Deze geven de warmte-inhoud van de lucht aan. Uit de ligging van punt A kunnen we nagaan welke de warmte-inhoud van lucht van  $15^{\circ}\text{C}$  en 70% R.V. is. Deze ligt tussen 5 en 10 kcal per kg droge lucht. Bij nadere opmeting blijkt de waarde 8,2 kcal per kg droge lucht te zijn. Laten we nu aannemen, dat we deze lucht gaan verwarmen, d.w.z. alleen warmte toevoeren. De toestand van de lucht wijzigt zich in het diagram dan volgens een verticale lijn door punt A. Als de lucht b.v. tot  $30^{\circ}\text{C}$  wordt verwarmd, wordt de nieuwe toestand aangegeven door punt B. Het aantal grammen waterdamp per

kg droge lucht is door de verwarming niet veranderd (is nog steeds 7.5 g/kg droge lucht). De warmte-inhoud is wel veranderd; deze bedraagt nu 11.9 kcal/kg. Wanneer we in het diagram schuine lijnen tekenen door A en B en evenwijdig aan de lijnen van gelijke warmte-inhoud, dan vinden we de punten A1 en B1 op de gebogen lijn van 100% R.V. De temperaturen, die door A1 en B1 worden aangegeven, zijn 12.1° C en 17.4° C. 12.1° noemt men de natte-boltemperatuur van lucht met toestanden die op de schuine lijn door A liggen, 17.4° C is de natte-boltemperatuur van lucht met toestanden die op de schuine lijn door B liggen.

Voor het meten van de natte-boltemperatuur kan men gebruik maken van een thermometer met kwikbol. Men wikkelt om de kwikbol een lapje hydrofiel-verbandgaas, niet te dik, drie lagen is voldoende. Men maakt de bol met lap nat door dompeling in, liefst gedistilleerd, water. Men houdt deze thermometer nu in de lucht en men zorgt, dat er een voldoende sterke luchtstroom langs de thermometer ontstaat ( $\pm 2$  m/sec.). Men volgt de thermometeraanwijzing en ontdekt dat de temperatuur verandert om daarna korte tijd constant te blijven (het lapje moet nog steeds vochtig zijn!). De op dat moment af te lezen temperatuur is de natte-boltemperatuur.

Voor meteorologische waarnemingen gebruikt men hiervoor de slinger-psychrometer, waarbij men de natte-boltemperatuur bepaalt en tevens de droge-boltemperatuur. Deze laatste is de temperatuur van de lucht, gemeten met een thermometer zonder nat lapje. Het verschil tussen de temperatuur van de drooglucht en de natte-boltemperatuur ervan is een maat voor de droogkracht van deze lucht, de droogpotentiaal genaamd, uitgedrukt in ° C.

Over het traject tussen de beide temperaturen kan de lucht, al drogende, afkoelen en zich daarbij verzadigen. Door de droge en natte-boltemperatuur te meten, kan men de toestand van de lucht met behulp van het Mollier-diagram te weten komen. Men zet nl. de natte-boltemperatuur uit op de 100% R.V.-lijn, trekt een lijn evenwijdig aan de schuine lijnen van gelijke warmte-inhoud en op het snijpunt van deze lijn en de min of meer horizontale lijn (van gelijke temperatuur), die de droge-boltemperatuur aangeeft, vindt men het toestandspunt.

Vanuit dit toestandspunt is af te lezen:

- a. de warmte-inhoud (kcal per kg droge lucht)
- b. het aantal grammen waterdamp per kg droge lucht
- c. de R.V.

Bij het drogen met lucht volgens toestand B neemt deze lucht water op. Dit water is verdampt; de warmte die daarvoor nodig was, is als voelbare warmte aan de lucht onttrokken en als latente warmte in het verdampde water (de waterdamp) terecht gekomen. De totale warmte-inhoud van de vochtige lucht blijft daardoor gelijk. Bij het drogen verandert de toestand van de lucht dus volgens de lijn B B1. Als de lucht de toestand B1 bereikt heeft, is ze verzadigd, meer waterdamp kan ze niet opnemen. Bij de wateropname is de temperatuur gedaald.

Zou men de verzadigde lucht volgens B1 weer gaan verwarmen tot 30° C, dan komt men tot lucht met toestand C. Het is duidelijk, dat deze lucht daardoor wederom een zekere droogkracht heeft verkregen, immers met deze lucht kan men weer drogen totdat ze verzadigd is tot toestand C1.

In toestand B1 had de lucht  $12.5 - 7.5 = 5$  gr. water opgenomen per kg droge lucht. Na verwarming tot toestand C kon ze bij het drogen nog eens  $16 - 12.5 = 3.5$  gr. opnemen.

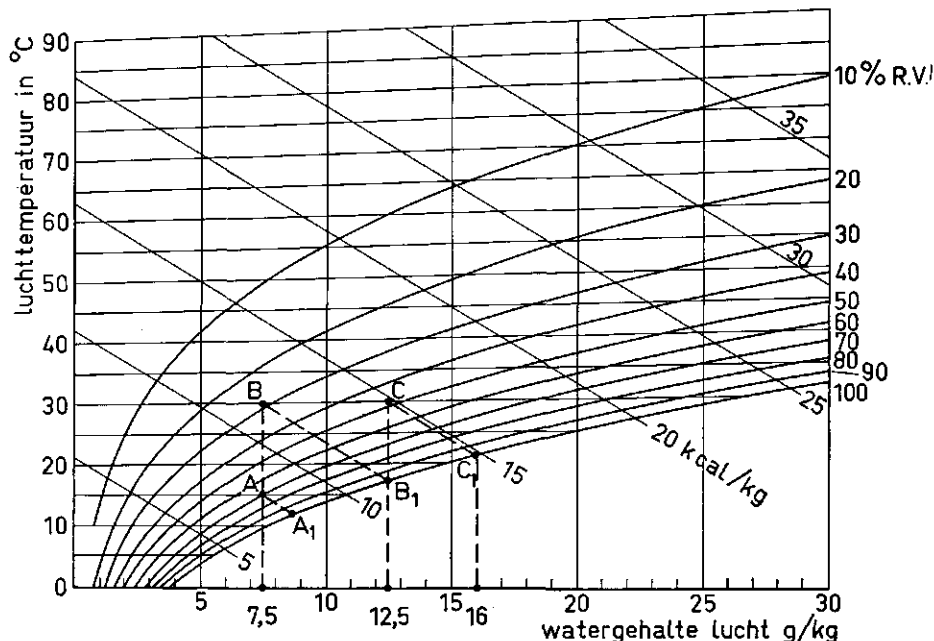
Wanneer we een droger hebben, waarin gedroogd wordt met behulp van verwarmde lucht, dan kunnen we met behulp van b.v. een droge- en natte-boltemperatuur de toestand van de ingaande en de afgewerkte lucht vaststellen. We kunnen beide toestanden in het diagram als punten tekenen en vaststellen hoeveel gram water per kg lucht is opgenomen. Weten we de hoeveelheid droge lucht, die door de droger gevoerd wordt, dan is de hoeveelheid verdampt water te berekenen. Ook is te zien hoeveel warmte er voor de verdamping is gebruikt en hoe groot de warmteverliezen zijn geweest. Tenslotte is te constateren in welke mate de drooglucht verzadigd is.

Mocht de warmte-inhoud van de afgewerkte lucht groter zijn dan die van de toegevoeg-

de warme drooglucht, dan is er in de droger zelf warmte toegevoerd, hetgeen bij tal van droogsystemen kan gebeuren. Is dit niet het geval en doet het geconstateerde verschijnsel zich toch voor, dan is er op een of andere wijze warmte ontstaan tijdens de droging. Dit kan alleen gebeuren als het te drogen materiaal door verademing of broei warmte levert. Dit gaat veelal ten koste van het produkt; er vinden omzettingen plaats, waarbij drogestofverliezen optreden, meestal van waardevolle bestanddelen.

FIGUUR 11

MOLLIER DIAGRAM VOOR VOCHTIGE LUCHT (ATMOSFERISCHE DRUK)



### 3.3 TECHNOLOGISCHE INDELING VAN DROOGSYSTEMEN VOOR GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN

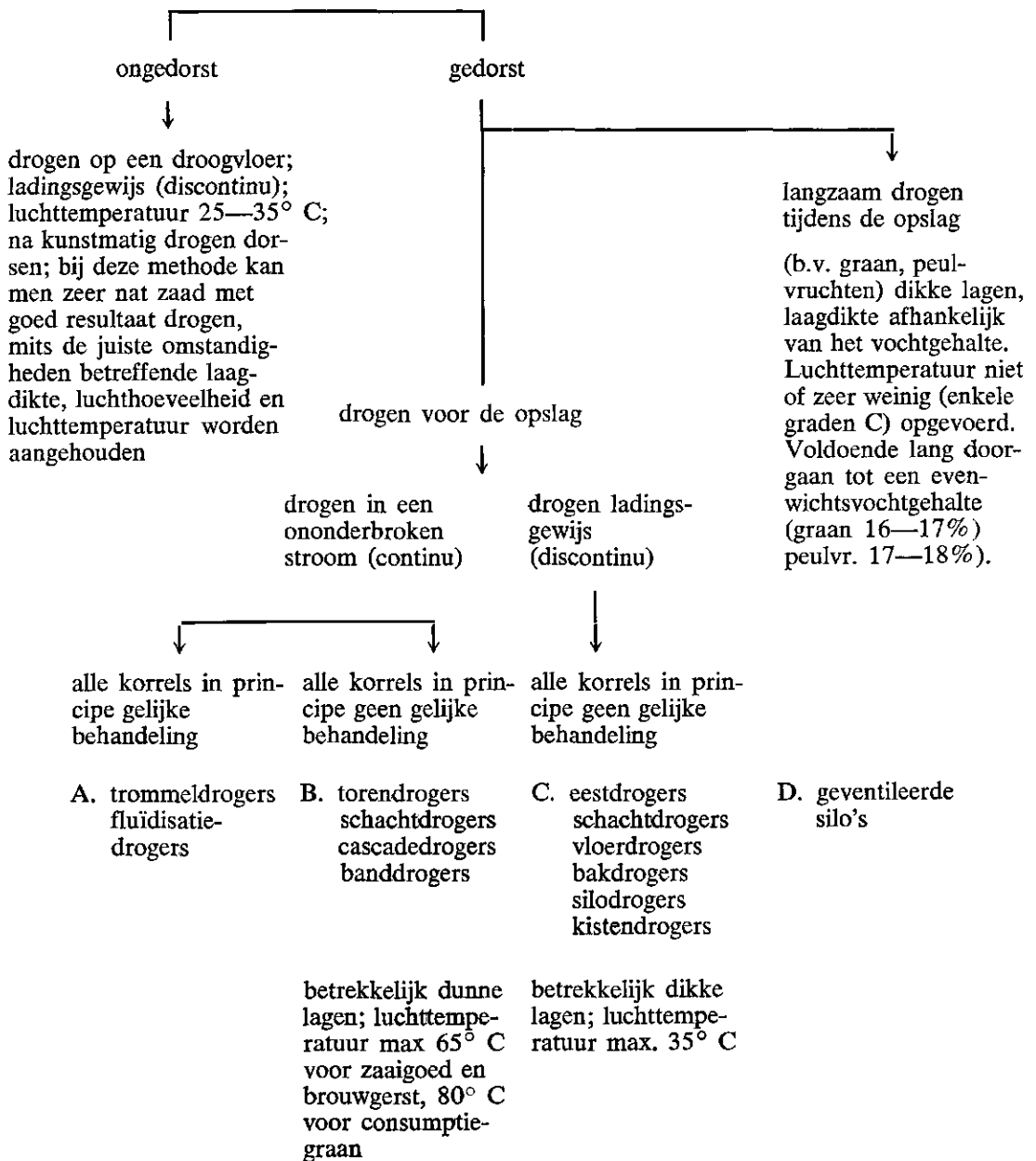
De variatie in aard en vorm van de te drogen materialen is zeer groot, zodat de drogers, wat betreft principe en uitvoering, zeer verschillend kunnen zijn. Het is moeilijk een alleszins bevredigende indeling te geven. Men kan onderscheid maken tussen continu en discontinu werkende drogers, d.w.z. tussen drogers waarbij het te drogen produkt in een voortdurende stroom toetreedt, terwijl het gedroogde materiaal de drogers in een ononderbroken stroom verlaat en drogers die gevuld worden met een lading te drogen materiaal, dat pas na afloop van het droogproces uit de droger wordt gehaald.

Een andere indeling is die, waarbij men de drogers onderscheidt al naar gelang ze onder atmosferische druk of onder vacuum werken. Men kan een indeling maken in verband met de vorm van het te drogen materiaal. In dit verband kan worden gedacht aan korrelig materiaal of b.v. ongedorste zaadgewassen, of aan gedorst zaad dat slechte eigenschappen vertoont met betrekking tot stroming (neiging tot vastzitten, samenklonteren etc.). Weer een andere indeling is die, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de wijze van warmtetoediening.

In tabel 24 is getracht een praktische indeling te geven voor atmosferische (met lucht werkende) droogsystemen voor produkten als granen, zaden etc.

TABEL 24

INDELING ATMOSFERISCHE DROOGSYSTEMEN VOOR GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN (TE VOCHTIG VOOR OPSLAG)



Naast atmosferische drogers bestaan er ook vacuümdrogers. Hierbij wordt het graan verwarmd door contact en geleiding (met door stoom of warm water verwarmde elementen), terwijl buiten de korrels een vacuüm wordt onderhouden. Op deze wijze is het mogelijk bij een matige korreltemperatuur een vrij behoorlijk verschil in dampspanning tot stand te brengen. Zuiver technisch bezien is deze droogwijze beter dan een atmosferische droging. De uitvoering van vacuümdrogers is evenwel zeer duur; ze komen alleen in aanmerking voor zeer grote bedrijven.

Onderscheiden kunnen worden: continu en discontinu werkende drogers.

Bij continu werkende vacuümdrogers, die voor granen worden gebruikt en die zeer hoog kunnen zijn, treedt het graan door automatisch werkende sluisen in en uit de onder vacuüm staande droogruimte. Na het drogen is een koeling noodzakelijk; bij de continu werkende drogers is een koeltoren vereist, waarin het graan in dwarsstroom met koude lucht wordt gekoeld. De capaciteit kan in de orde van 10—15 ton/uur liggen.

Bij discontinu werkende vacuümdrogers wordt ladingsgewijs gedroogd. Dit gebeurt meestal in trommels. Ze worden zowel voor zaaigraan als zaaizaad gebruikt, niet zozeer voor consumptiegraan. Overigens lijkt het erop dat ze vroeger meer in gebruik zijn geweest dan tegenwoordig. Er zijn ook goede droogsystemen ontwikkeld, die wat minder kostbaar zijn.

Atmosferische drogers worden het meest toegepast. In de meeste gevallen wordt gedroogd met verwarmde lucht, die een dubbele functie vervult, t.w.:

1. het overbrengen van de warmte op de korrels
2. het opnemen van de gevormde waterdamp en het voldoende laag houden van de dampspanning buiten het materiaal.

Continu werkende atmosferische drogers. Deze zijn vrijwel alleen geschikt voor gedorst (korrelic) materiaal.

Er kunnen bij de continu werkende drogers twee typen, berustend op principiële verschillende systemen, worden onderscheiden:

- A. drogers, waarbij ernaar wordt gestreefd alle korrels precies dezelfde behandeling te laten ondergaan (gelijkstroom - tegenstroom)
- B. drogers, waarbij de graankorrels niet onder dezelfde omstandigheden worden gedroogd (dwarsstroom).

In figuur 12 zijn genoemde principes schematisch aangegeven. Van de bij A genoemde drogers vormen trommeldrogers de voornaamste categorie. Een nadere beschrijving wordt elders gegeven (deel B).

Behalve trommeldrogers zijn ook z.g. fluïdisatiedrogers onder categorie A te rangschikken, waarbij alle korrels in principe dezelfde behandeling ondergaan. De fluïdisatiedrogers verkeren nog min of meer in het experimentele stadium.

Het goed in contact brengen van een gas met een fijn verdeeld materiaal, zodanig dat alle partikels eenzelfde behandeling ondergaan, is een techniek, die in de industrie toepassing vindt. Graankorrels zijn voor dit doel tamelijk grof, zodat het niet eenvoudig is om een geïnduseerd bed te verkrijgen, d.w.z. een laag graan, die zich onder invloed van een grote hoeveelheid lucht die in dwarsstroom er door wordt gevoerd, min of meer als een vloeistof gedraagt.

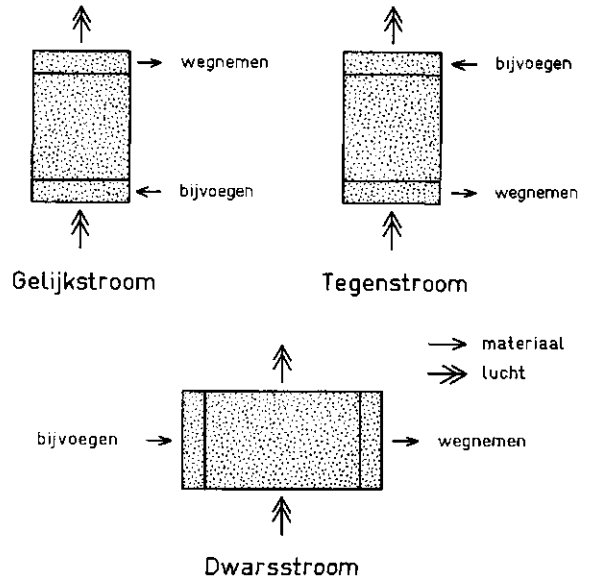
Bij continu werkende drogers die ingedeeld zijn onder B worden de korrels in betrekkelijk dunne lagen met betrekkelijk grote hoeveelheden verwarmde lucht in dwarsstroom gedroogd. De droogduren zijn zodanig dat het continu werkende droogstelsel mogelijk is. Het kenmerkende is dat het in principe onmogelijk is alle korrels dezelfde behandeling te geven. (In A 3.5 wordt hierop nader ingegaan.)

Bij de discontinu werkende drogers, waarbij telkens een vulling of lading wordt gedroogd, wordt eveneens in lagen en in dwarsstroom gedroogd. Het kenmerkende is hier dat de lagen veel dikker zijn zodat het veel langer duurt alvorens ze gemiddeld voldoende ver

zijn ingedroogd. In verband hiermede is de droogluchttemperatuur vaak lager dan bij de continu werkende drogers.

Tenslotte bestaat de mogelijkheid granen of zaden tijdens de opslag in veel dikkere lagen te drogen. Hierbij gelden uiteraard beperkingen t.a.v. laagdikte en vochtgehalte. Kenmerkend is verder dat het hier niet gaat om drogers waarin men de ene vulling na de andere droogt, maar dat men droogt terwijl het produkt ligt opgeslagen.

FIGUUR 12 PRINCIPES VAN CONTINU DROGEN MET VERWARMDE LUCHT



### 3.4 INWENDIGE DROOGOMSTANDIGHEDEN

De snelheid waarmee zaden zich laten drogen, de droogsnelheid, d.w.z. de bereidheid om vocht af te staan is een eigenschap van het produkt. Deze bereidheid bestaat niet constant doch hangt samen met het vochtgehalte van de korrel.

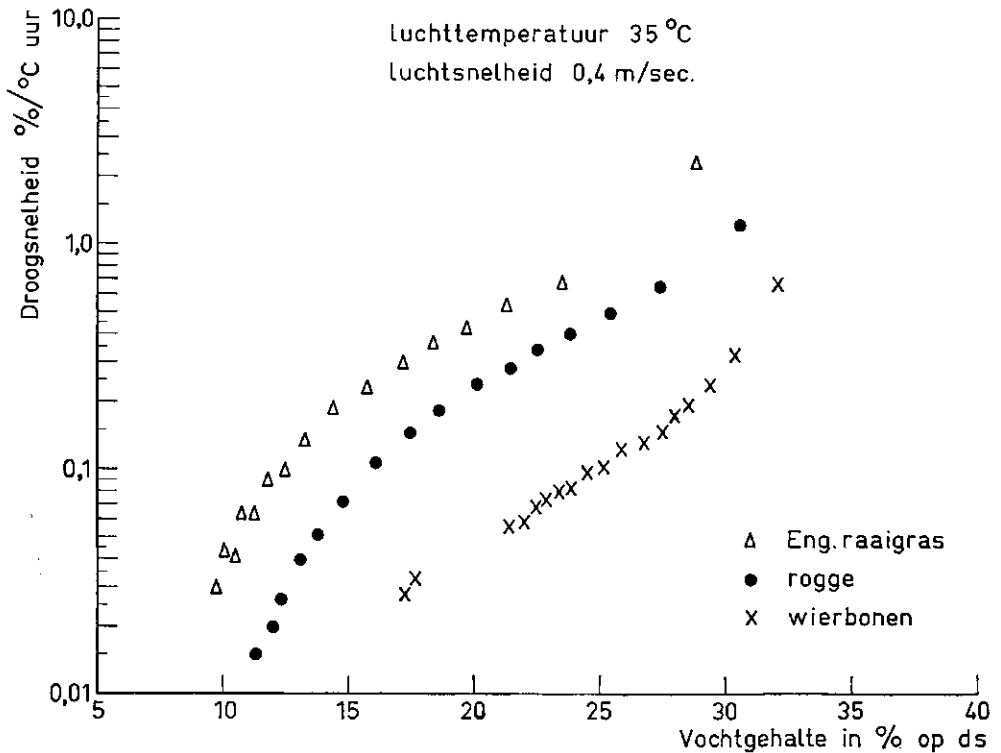
*Bereidheid om vocht af te staan.* Bij het drogen van materialen die zeer nat zijn, kan het voorkomen, dat ze zich in de eerste fase van de droging gedragen als zuiver water. Afhankelijk van de droogomstandigheden blijft de droogsnelheid (b.v. uitgedrukt in kg waterverdamping per kg droge stof per uur) op een bepaald peil.

Als het gemiddelde vochtgehalte tot een bepaalde kritische waarde is gedaald, begint de droogsnelheid af te nemen, ook al blijven de droogomstandigheden zoals ze buiten het materiaal zijn aangelegd, gelijk. Men noemt dit, in tegenstelling tot de eerste periode van gelijkblijvende droogsnelheid, de periode van dalende droogsnelheid. Gebleken is, dat granen in het algemeen een vochtgehalte bezitten dat lager ligt dan de kritische waarde, zodat er bij het drogen van graan en zaad in de praktijk vanaf het begin een dalende droogsnelheid zal zijn waar te nemen.

Een van de eerste vraagpunten betreft de samenhang tussen droogsnelheid en vochtgehalte. Een ander vraagpunt heeft betrekking op de onderlinge verhouding van de droogsnelheden van graansoorten en van andere zaadsoorten. Onderzoekingen in dit opzicht (18, 20) hebben aangetoond dat de bereidheid om vocht af te staan hoger is naarmate het vochtgehalte hoger is.

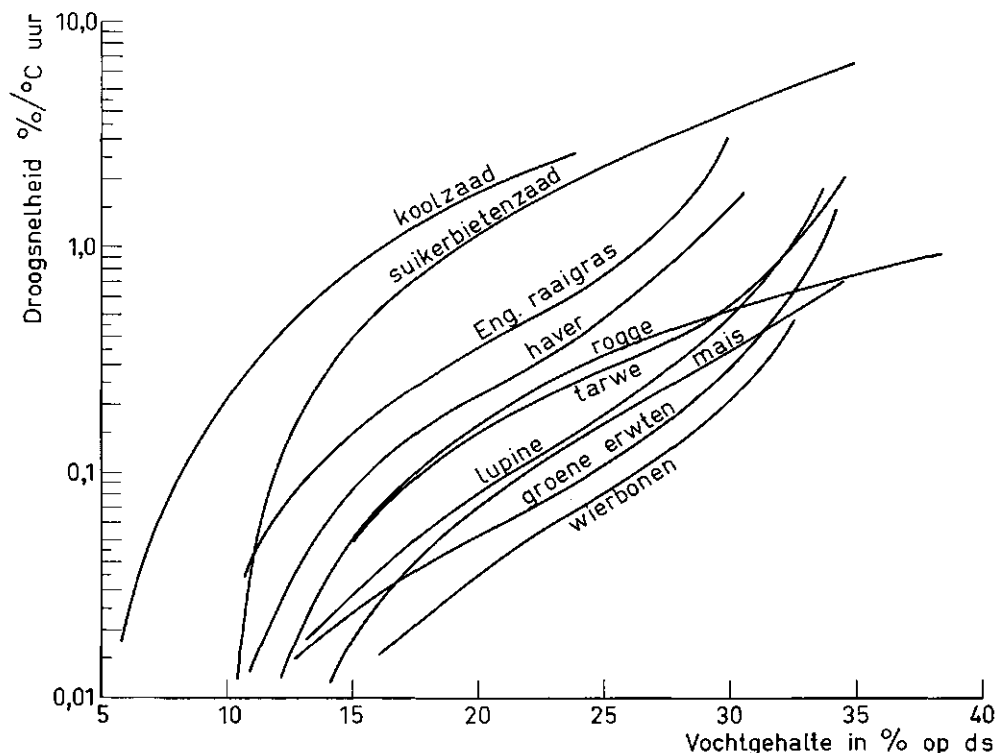
In figuur 13 zijn drie voorbeelden getekend van de resultaten van drie proefdrogingen, verricht met Engels raaigras, rogge en wierbonen. Gedroogd is in dwarsstroom, luchttemperatuur 35° C, luchtsnelheid ca. 0.4m/sec. in een dunne laag (ca 1 cm). Om een juist beeld van de droogsnelheid als zaadeigenschap te verkrijgen, hebben wij voor dit doel deze snelheid uitgedrukt als indroging in % water, betrokken op de droge stof per 1° C droogpotentiaal van de lucht en per uur. De droogpotentiaal van de lucht is het verschil tussen de temperatuur van de droge bol en die van de natte bol. Deze waarde is een maat voor de droogkracht van de lucht (zie A 3.2).

FIGUUR 13 RESULTATEN VAN DRIE PROEFDROGINGEN OM HET VERBAND TUSSEN DROOGSNELHEID EN VOCHTGEHALTE TE BEPALEN



FIGUUR 14

GLOBAL VERBAND TUSSEN NEIGING OM VOCHT AF TE STAAN EN VOCHTGEHALTE VOOR TIEN SOORTEN LANDBOUWZAAIZADEN



In figuur 14 zijn de resultaten grafisch voorgesteld aangaande het gevonden globale verband tussen vochtgehalte en bereidheid om vocht af te staan bij dezelfde uitwendige droogomstandigheden voor 10 zaden.

De verticale schaal voor de droogsnelheid is logaritmisch. Verder ziet men, dat er zeer grote verschillen in droogsnelheid zijn te constateren bij de verschillende zaadsoorten. Neemt men Engels raaigras als voorbeeld, dan kan men op grond van figuur 14 het overzicht van tabel 25 opstellen. Bij 23% vocht is bij dit zaad de kans groot dat onder overigens gelijke omstandigheden 8 maal zo gemakkelijk vocht wordt afgestaan als bij 16.5% en 40 maal zo gemakkelijk als bij 11% vocht.

Een vergelijking van het vochtgehalte van de verschillende zaden, waarbij de droogsnelheid tot een lage waarde van b.v. 0.05% (op droge stof (ds), berekend) per 1° C droogpotentiaal per uur is gedaald, levert een overzicht op volgens tabel 26.

TABEL 25

DROOGSNELHEID VAN ENGELS RAAIGRAS IN AFHANKELIJKHEID VAN HET VOCHTGEHALTE

Vochtgehalte		Droogsnelheid	
% op ds	% op totaal gewicht	% op ds per 1° C droogpotentiaal per uur	Verhoudingsgetal droogsnelheid (bij 16.5 % vocht op totaal gewicht als 100 genomen)
30	23	ca. 3	ca. 800
25	20	" 0.8	" 220
20	16.5	" 0.37	" 100
15	13	" 0.15	" 40
12.5	11	" 0.08	" 20



TABEL 26

## VOORBEELD VAN MET HET OOG OP DE DROOGSNELHEID VERGELIJKBARE VOCHTGEHALTEN

Zaadsoort	Vochtgehalte waarbij de droogsnelheid nog slechts 0.05 %/°C/uur bedraagt (voor alle genoemde zaadsoorten)	
	% op de ds	% op totaal gewicht
Wierbonen .....	ca 22	ca. 18
Groene erwten .....	„ 19.5	„ 16.5
Mais .....	„ 18.5	„ 15.5
Lupine .....	„ 17.5	„ 15
Tarwe .....	„ 15.0	„ 15
Rogge .....	„ 15.0	„ 15
Haver .....	„ 13.5	„ 12
Engels raagras .....	„ 11	„ 10
Suikerbietenzaad .....	„ 11	„ 10
Koolzaad .....	„ 7	„ 6,5

*Opmerking:* geldend bij luchttemperaturen van 25° C tot 35° C en 0.4 m/sec. als luchthoeveelheid in een zeer dunne laag, ca. 1 cm dik

Er zijn bij de verschillende zaadsoorten grote verschillen in vochtgehalte te constateren, waarbij de neiging tot vochtafgifte gelijk is. Hieruit blijkt dat er een groot verschil is in droogeigenschappen. Dit komt uiteraard ook tot uiting, als men de verschillen in droogsnelheid beziet bij eenzelfde vochtgehalte.

Hierover zijn globale cijfers verzameld in tabel 27.

Wanneer men zich afvraagt wat deze grote verschillen in de bereidheid om vocht af te staan betekenen voor de droging in de praktijk, dan moet het antwoord luiden, dat de drooglucht bij die soorten, die gemakkelijk drogen (b.v. koolzaad, bietenzaad en graszaad), over een veel korter traject door de laag verzadigd is dan bij normaal drogende zaden (haver, rogge, tarwe), terwijl dit traject bij de langzaam drogende zaden nog veel langer is (lupine, mais, peulvruchten).

Hieruit volgt, dat, om onder overigens gelijke omstandigheden een bepaalde hoeveelheid drooglucht in gelijke mate nuttig werk te laten doen, men de laagdikte omgekeerd evenredig zou moeten nemen met de bereidheid om vocht af te staan. In dat geval moet men dus de snel drogende zaden in dunne lagen drogen en deze telkens verwisselen, terwijl men voor de langzaam drogende soorten een veel dikkere laag moet toepassen, waardoor de droging langer duurt, maar waarbij, over de tijd berekend, de hoeveelheid gedroogd produkt evenals de hoeveelheid lucht en de hoeveelheid warmte gelijk zijn. Weer anders geïnterpreteerd: snel drogende en normaal drogende soorten lenen zich tot continu drogen; langzaam drogende in principe niet.

TABEL 27

ONDERLINGE VERGELIJKING VAN DE DROOGSNELHEDEN (BEREIDHEID OM VOCHT AF TE STAAN) VAN DIVERSE SOORTEN LANDBOUWZAAIZADEN BIJ VERSCHILLENDE VOCHTGEHALTEN

Zaadsoort	Droogsnelheid in % (op ds) per 1° C droogpotentiaal per uur bij de volgende vochtgehalten (% op totaal gewicht)				
	22	20	18	16	14
Wierbonen .....	ca. 0.14	ca. 0.08	ca. 0.05	ca. 0.03	ca. 0.016
Groene erwten .....	„ 0.19	„ 0.11	„ 0.07	„ 0.45	„ 0.03
Mais .....	„ 0.27	„ 0.18	„ 0.10	„ 0.06	„ 0.03
Lupine .....	„ 0.33	„ 0.19	„ 0.11	„ 0.07	„ 0.04
Tarwe .....	„ 0.42	„ 0.3	„ 0.2	„ 0.13	„ 0.07
Rogge .....	„ 0.45	„ 0.35	„ 0.23	„ 0.14	„ 0.07
Haver .....	„ 0.9	„ 0.5	„ 0.3	„ 0.2	„ 0.12
Engels raaigras .....	„ 1.5	„ 0.8	„ 0.5	„ 0.32	„ 0.2
Suikerbietenzaad .....	„ 3.3	„ 2.4	„ 1.6	„ 1.0	„ 0.6
Koolzaad .....	?	„ 3.-	„ 2.3	„ 1.6	„ 1.0
Verhoudingscijfers betreffende de bereidheid om vocht af te staan (18 % - tarwe als 100 genomen)					
Wierbonen .....	ca. 70	ca. 40	ca. 25	ca. 15	ca. 8
Groene erwten .....	„ 95	„ 55	„ 35	„ 23	„ 15
Mais .....	„ 135	„ 90	„ 50	„ 30	„ 15
Lupine .....	„ 165	„ 95	„ 55	„ 35	„ 20
Tarwe .....	„ 210	„ 150	„ 100	„ 65	„ 35
Rogge .....	„ 225	„ 175	„ 115	„ 70	„ 35
Haver .....	„ 450	„ 250	„ 150	„ 100	„ 60
Engels raaigras .....	„ 750	„ 400	„ 250	„ 160	„ 100
Suikerbietenzaad .....	„ 1650	„ 1200	„ 800	„ 500	„ 300
Koolzaad .....	—	„ 1500	„ 1150	„ 800	„ 500

### 3.5 KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR M.H.O. OP DE KIEMEIGENSCHAPPEN (18, 19, 20, 21, 22, 23)

Bij het drogen met lucht, waarbij de lucht behalve voor de verwarming ook dienst doet voor de afvoer van de vrijgekomen damp, dient er een bepaalde verversing plaats te vinden. Bij het verdampen wordt warmte aan de korrel onttrokken. Door gelijktijdige toevoer en afvoer van warmte zal er een evenwichtstoestand ontstaan, o.a. gekenmerkt door een bepaalde korreltemperatuur, waarbij een bepaalde dampdruk heerst, die voldoende groot moet zijn i.v.m. de vochtovergang naar buiten. Deze evenwichtstoestand verandert evenwel. Wij hebben gezien, dat de droogsnelheid, anders gezegd de bereidheid om vocht af te staan, afhankelijk is van het vochtgehalte. Bij hogere vochtgehalten staat het zaad gemakkelijker vocht af dan bij lagere.

Veronderstelt men de warmtetoevoer constant, dan zal, zolang het zaad natter is, het evenwicht zich bij een lagere korreltemperatuur instellen dan wanneer het zaad verder is ingedroogd. Naarmate het graan droogt stijgt de korreltemperatuur.

De korreltemperatuur op een bepaald ogenblik hangt dus af van:

- de mate van warmte-overdracht op de korrel
- de mate van vochtafvoer uit de korrel op dat ogenblik

Op welke wijze men in principe droogt, altijd vindt er bij de droging een verandering van de korreltemperatuur plaats.

Er rijzen verschillende vragen: hoe hoog stijgt de korreltemperatuur, hoe lang is de temperatuur hoog, is er verband tussen de toe te laten korreltemperatuur en het vochtgehalte? Bij een onderzoek, verricht door Lindberg en Sörensen (23) werd graan in een trommel, dus onder voortdurend mengen, gedroogd. Het bleek, dat de kritische temperaturen voor tarwe, rogge en gerst in verschillende oogstjaren vrijwel gelijk lagen. De tijdsduur van de verhitting bleek geen grote rol te spelen.

De voornaamste resultaten vindt men in tabel 28.

**TABEL 28**

**DOOR LINDBERG EN SÖRENSEN GEVONDEN WAARDEN VOOR DE KRITISCHE TEMPERATUUR VAN GRAAN**

Vochtgehalte %	Kritische temperatuur van de korrels in °C		
27	49.5	49.5	46
25	51	52	48.5
23	53	54.5	51
21	55	57	54
19	57.5	60	57
17	60	63.5	61
15	62.5	67	65
	1	2	3

1 = met betrekking tot kiemeigenschappen

2 = met betrekking tot bakeigenschappen (zonder bromaattoevoeging)

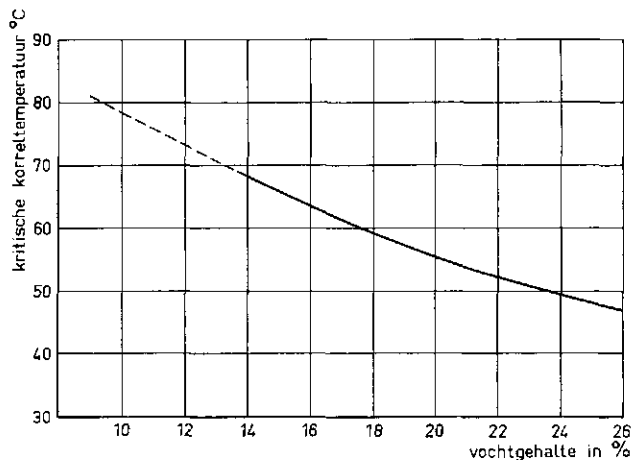
3 = met betrekking tot bakeigenschappen (met bromaattoevoeging)

De gevonden kritische korreltemperaturen volgens tabel 28, geldend voor tarwe, werden bepaald onder voortdurend roeren, zodat alle korrels dezelfde temperatuur hadden.

In figuur 15 zijn de gegevens van tabel 28, voorzover het de kiemeigenschappen betreft, grafisch in een lijn weergegeven. De lijn is voor de lagere vochtgehalten gestippeld doorgetrokken.

**FIGUUR 15**

**VERBAND TUSSEN VOOR DE KIEMEIGENSCHAPPEN KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR EN VOCHTGEHALTE (GRAAN) (23)**



Bij een ander onderzoek, waarbij diverse zaadsoorten met verschillend vochtgehalte, gedurende verschillende tijden in kolven in waterbaden werden verhit, werden resultaten gevonden als vermeld in tabel 29 (22).

De omstandigheden waren dus anders dan in een droger, waarbij zowel vochtgehalte als temperatuur voortdurend veranderen.

TABEL 29

ACHTERUITGANG VAN DE KIEMKRACHT BIJ VERSCHILLENDE VERHITTINGSDUREN, VOCHTGEHALTEN EN ZAADTEMPERATUREN

Zaadsoort	Vochtgehalte %	Temperatuur waarop de korrels zijn verhit				
		30° C	40° C	50° C	60° C	70° C
Koolzaad .....	6	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	1 uur -
	9	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	15 min x
	13	3 uur -	3 uur -	2 uur x	0.5 uur x	10 min x
Engels raigras	12	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	1 uur -
	15	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur x	15 min x
	22	3 uur -	3 uur -	2 uur x	15 min x	10 min x
Suikerbietenzaad	11	4 uur -	4 uur -	2 uur -	30 min. x	15 min x
	15	4 uur -	4 uur -	2 uur -	15 min x	15 min x
	20	3 uur -	3 uur -	2 uur -	15 min x	10 min x
Haver .....	12	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	15 min x
	14	4 uur -	4 uur -	2 uur -	15 min x	10 min x
	19	3 uur -	3 uur -	0.5 uur x	15 min x	10 min x
Rogge .....	13	4 uur -	4 uur -	2 uur -	15 min x	10 min x
	16	4 uur -	4 uur -	0.5 uur x	15 min x	10 min x
	21	3 uur -	3 uur -	0.5 uur x	15 min x	10 min x
Mais .....	12	4 uur -	4 uur -	2 uur -	15 min x	10 min x
	15	4 uur -	4 uur -	0.5 uur x	15 min x	10 min x
	21	3 uur -	3 uur -	0.5 uur x	15 min x	10 min x
Erwten .....	12	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	15 min x
	15	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur x	15 min x
	21	3 uur -	3 uur -	0.5 uur -	10 min x	10 min x
Lupine .....	10	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	1 uur -
	14	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	0.5 uur x
	19	3 uur -	3 uur -	2 uur -	0.5 uur x	10 min x
Wierbonen .....	12	4 uur -	4 uur -	2 uur -	1.5 uur -	15 min x
	16	4 uur -	4 uur -	2 uur -	15 min x	10 min x
	24	3 uur -	3 uur -	1 uur x	10 min x	10 min x

- geen achteruitgang kiemkracht      x wel achteruitgang kiemkracht

Een streepje geeft aan, dat na de opgegeven verhittingsduur en de korreltemperatuur en het vochtgehalte die daarbij behoren, nog geen achteruitgang in kiemkracht is opgetreden. Een kruisje geeft aan, dat dit binnen de betreffende opgegeven verhittingsduur wel het geval is geweest. Drie à vier uur verhitten op 40° C heeft bij geen van de zaadsoorten een nadelige invloed op de kiemkracht, althans niet bij de toegepaste vochtgehalten. Bij 50° C blijven alleen suikerbietenzaad en lupine vrij van beschadiging. Temperaturen van 60° C en hoger zijn funest. De opgegeven temperaturen betreffen die van de korrels zelf. Koolzaad en lupine blijken het meest resistent te zijn en rogge, bonen en mais het minst. Haver en erwten zijn zwak in vochtige toestand.

Mais en wierbonen vertonen een beeld, waaruit blijkt, dat er betrekkelijk weinig verschil is t.a.v. een meer of minder vochtige toestand.

In het algemeen kan worden opgemerkt, dat als er onder bepaalde omstandigheden een daling van de kiemkracht optreedt, deze tamelijk snel tot stand komt, waarna het cijfer min of meer om het lagere peil blijft schommelen. Met andere woorden, er is in het algemeen geen geleidelijk met de tijd afnemende kiemkracht te constateren.

Deze conclusie is merkwaardig omdat er uit volgt, dat van de factoren vochtgehalte, korreltemperatuur en verhittingsduur het voornamelijk de eerste twee zouden zijn, die gewicht in de schaal werpen. Men krijgt de indruk, dat van een bepaald zaad met een bepaald vochtgehalte een zeker percentage kiemen bij een bepaalde temperatuur onwerkzaam wordt en dat dit afsterven vrijwel onmiddellijk na het bereiken van de desbetreffende temperatuur optreedt. De andere kiemen verdragen deze temperatuur wel, ook al duurt de verhitting voort (tot een bepaalde grens uiteraard). Het zou dus een kwestie zijn van percentages kiemen, die bij voorbaat bestemd zijn om bij een bepaalde temperatuur uit te vallen.

Een daling tot minder dan 20% kiemkracht komt bij alle zaden voor bij 70° C en een evenwichtsvochtgehalte behorende bij ± 90% R.V. Met uitzondering van koolzaad en suikerbietenzaad komt deze daling reeds tot uiting na 10 min. verhitten.

In vele drooginrichtingen wordt met lucht gedroogd die dwars door een laag graan of zaad stroomt (dwarsstroom) (zie A 3.3). Bij het drogen in dwarsstroom doet zich het verschijnsel voor, dat elk dun laagje, als deel beschouwd van een laag van enige dikte, gedroogd wordt met de afgewerkte lucht van het naast liggende laagje. Elk laagje wordt dus blootgesteld aan andere z.g. uitwendige droogomstandigheden. Als er geen menging plaatsvindt tijdens de droging, zal in elk dun laagje een ander verloop van vochtgehalte en korreltemperatuur optreden. (In zeer veel drogers kan er van menging van enige betekenis niet of nauwelijks worden gesproken.)

Het complex op elkaar inwerkende factoren is zeer ingewikkeld. Om tot voor de praktijk bruikbare wijzigingen te geraken, dienen proeven genomen te worden onder met de praktijk vergelijkbare omstandigheden.

Proeven met gerst en tarwe onder omstandigheden zoals deze in verticale, continu werkende doorstroomdrogers kunnen zijn, gaven als resultaat dat voor het behoud van de kiemkracht geen hogere luchttemperaturen mogen worden toegepast dan 65° C. Een en ander blijkt uit de resultaten, samengevat in tabel 30 (18).

TABEL 30

## INVLOED VAN DE TEMPERATUUR VAN DE DROOGLUCHT OP DE KIEMEIGENSCHAPPEN VAN BALDER-GERST EN PEKO-TARWE

	Temperatuur van de drooglucht °C								
	55			65			75		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>Vochtonttrekking Balder-gerst</b>									
Oorspronkelijke kiemkracht (%)	93	94	95	92	94	95	93	94	93
Kiemkracht na drogen helft van de laag aan zijde waar de lucht intreedt (%)	94	94	95	86	93	92	64	88	90
Kiemkracht na drogen helft van de laag aan zijde waar de lucht uittreedt (%)	95	93	94	93	95	93	92	94	93
<b>Vochtonttrekking Peko-tarwe</b>									
Oorspronkelijke kiemkracht (%)	91	90	94	92	95	94	92	91	95
Kiemkracht na drogen helft van de laag aan zijde waar de lucht intreedt (%)	91	93	94	92	91	92	62	77	82
Kiemkracht na drogen helft van de laag aan zijde waar de lucht uittreedt (%)	91	93	92	93	94	92	92	94	93

Laagdikte : 14 cm  
 Luchtsnelheid: 0.2 m/sec.  
 Luchtrichting: van één zijde

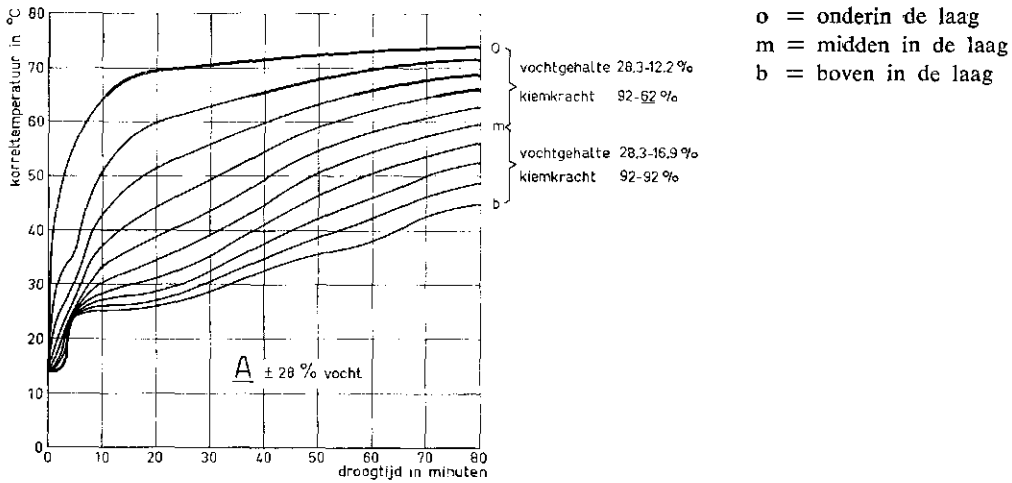
A vochtonttrekking 28—15 %  
 B „ „ 24—15 %  
 C „ „ 20—15 %

*Opmerking:* De vet gedrukte waarden duiden op een achteruitgang

Gebleken is, dat onder omstandigheden van luchtsnelheid en -temperatuur, zoals deze in dergelijke drogers heersen, er op elk moment en op elk punt in de laag slechts een onbetekenend verschil in luchttemperatuur (daar ter plaatse) en korreltemperatuur bestaat. Er heerst op elk punt in de laag op elk moment een evenwicht. De spreiding in lucht- en korreltemperatuur in de laag is des te groter naarmate de temperatuur van de drooglucht hoger is. Verschillen in vochtgehalte hebben vrijwel geen invloed op de verschillen in korreltemperatuur in de laag; wel op de duur van de droging (verhitting).

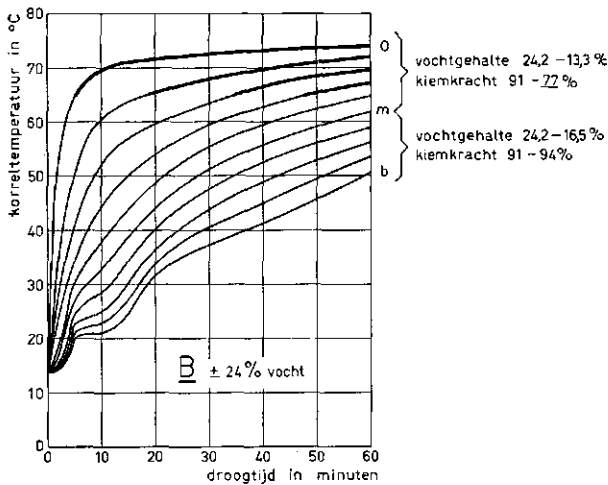
In de figuren 16 A, B en C is het verloop van de korreltemperatuur te zien bij een 14 cm dikke laag tarwe en wel voor elk tiende deel van de laag afzonderlijk bij een luchttemperatuur van 75° C, dus juist te hoog m.h.o. op de kiemeigenschappen.

De dik getrokken gedeelten van de temperatuurlijnen geven plaats en tijd aan, waarbij de korreltemperatuur in elk geval te hoog is geweest zonder dat daarmee bedoeld is dat 65° C de kritische grens voor de korreltemperatuur zelf zou zijn. Beginvochtgehalten en eindvochtgehalten alsmede begin- en eindkiemkracht van de twee helften van de laag zijn in de figuren vermeld. Men ziet dat de helft aan de luchtinlaatzijde te hoge temperaturen heeft ondervonden.

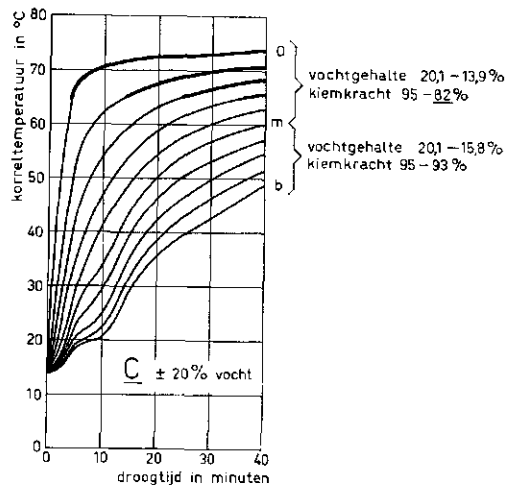


FIGUUR 16 A

VERLOOP KORRELTEMPERatuur, VOCHTGEHALTE EN KIEMKRACHT. DROGEN PEKO-ZAATARWE OOGST 1958. LUCHTSNELHEID 0.2 M/SEC. LAAG-DIKTE 14 CM. EENZIJDIGE LUCHTRICHTING, VAN ONDER NAAR BOVEN. LUCHTTEMPERatuur 75° C.



FIGUUR 16 B (ALS 16 A)



FIGUUR 16 C (ZIE 16 A)

Bij nadere analyse kan men uit de verkregen resultaten voor drie droogluchttemperaturen bij het drogen van tarwe een overzicht opstellen als in tabel 31.

De bereikte gemiddelde korreltemperaturen in de halve laag, gelegen aan de inlaat-zijde van de lucht, zijn te vinden op regel 5, terwijl de daarbij behorende bereikte vochtgehaltes op regel 4 zijn geplaatst.

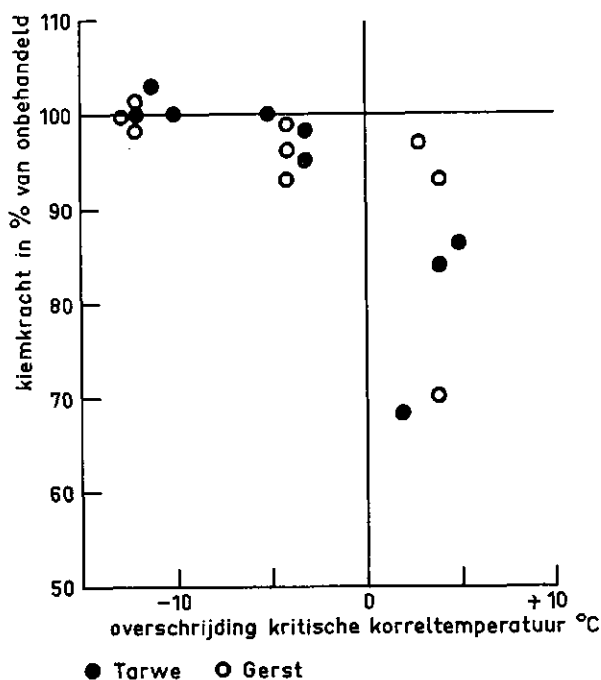
Uit figuur 15 zijn de bijbehorende kritische korreltemperaturen betrokken (regel 6) terwijl op regel 7 de overschrijdingen zijn vermeld. De resultaten aangaande de kiemkracht zijn op de regels 8 en 9 te vinden.

Grafisch is het verband tussen de mate van overschrijding van de korreltemperatuur en de achteruitgang van de kiemeigenschappen weergegeven in figuur 17 (zwarte stippen). Hetzelfde is gedaan voor gerst.

Het blijkt wel, dat de kiemkracht zelfs bij een geringe overschrijding sterk daalt. Eigenlijk moet men op grond van figuur 17 concluderen dat de grens (zoals deze uit figuur 15 blijkt) aan de hoge kant ligt, m.a.w. men zou geneigd zijn de lijn van figuur 15 5° C lager te leggen.

FIGUUR 17

VERBAND TUSSEN KIEMKRACHT NA DROGEN EN OVERSCHRIJDING KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR





**TABEL 31** VERBAND TUSSEN OVERSCHRIJDING KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR IN EEN DEEL VAN DE LAAG EN HET RESULTAAT VAN DE KIEMEIGENSCHAPPEN VAN TARWE, DROGEN IN DWARSSTROOM, LUCHTHOEVEBELHEID 4500 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/UUR

		Luchttemperatuur																				
		55° C						65° C						75° C								
		28.3	24.2	20.1	28.3	24.2	20.1	28.3	24.2	20.1	28.3	24.2	20.1									
1	Voor het drogen; vochtgehalte	%																				
2	Na het drogen (voor het koelen)																					
3	Vochtgehalte over gehele laag gemid- deld	%	15.3	15.4	15.2	15.8	15.4	15.0	15.5	15.3	15.0	15.5	15.3	15.0	15.5	15.3	15.0					
4	Korreltemperatuur over gehele laag gemiddeld	°C	50	50	49	55	56	56	60	62	56	60	62	56	60	62	61					
5	Vochtgehalte over halve laag lucht- inlaat zijde gemiddeld	%	13.6	14.3	14.6	13.5	14.0	14.0	12.2	13.3	14.0	12.2	13.3	13.9								
6	Korreltemperatuur over halve laag luchtinlaat zijde gemiddeld	°C	53	53	53	60	61	61	69	69	61	69	69	69								
7	Kritische korreltem- peratuur bij vocht- gehalte (4)	°C	65	64	63	65	64	64	67	65	64	67	65	64								
8	Overschrijding kritische korrel- temperatuur (5-6)	°C	--12	--11	--10	--5	--3	--3	+2	+4	--3	+2	+4	+5								
9	Verloop kiemkracht in halve laag lucht- inlaat zijde	%-%	91-91	90-93	94-94	92-92	95-91	94-92	92-62	91-77	94-92	92-62	91-77	95-82								
	Kiemkracht na drogen in % van beginwaarde	%	100	103	100	100	95	98	68	84	98	68	84	86								

Ook voor drogers van de categorie C (tabel 24) kunnen enkele voorbeelden van proefdrogingen worden gegeven en wel betreffende suikerbietenzaad met een hoog vochtgehalte in lagen van ca. 20 en ca. 30 cm dikte, met een flinke lichtsnelheid (ca. 0.5 m/sec.) en met luchttemperaturen van 30 tot 70° C. De resultaten zijn samengevat in de tabellen 32 en 33.

Men ziet, dat alleen bij luchttemperaturen van 70° C kiemkrachtdaling van enige betekenis is opgetreden in dat deel van de laag, dat gelegen is aan de zijde waar de lucht in-treedt. Vooral bij deze hoge beginvochtgehalten is duidelijk te zien hoezeer de vochtgehalten in de laag na de droging uiteenlopen, vooral als de toegepaste luchttemperaturen hoger worden. (Bij suikerbietenzaad met 43% vocht, gedroogd tot 16% vocht gemiddeld, varieerde het vochtgehalte in de laag na droging met lucht van 60° C van 6 tot 32%.)

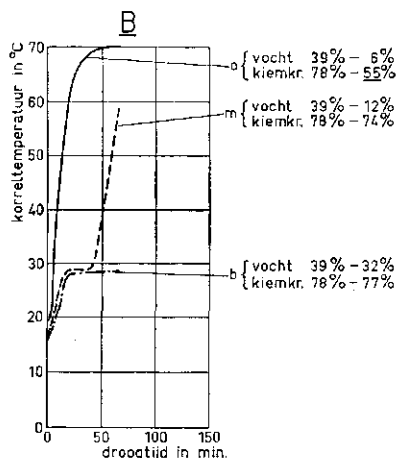
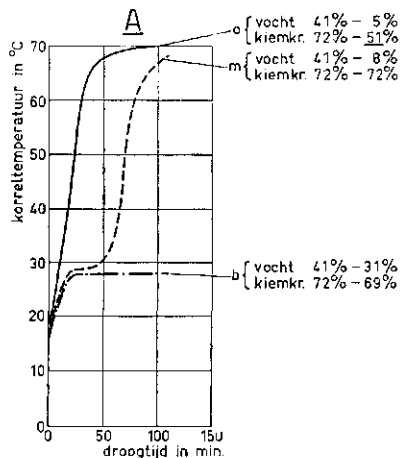
TABEL 32

RESULTATEN DROOGPROEVEN SUIKERBIETENZAAD IN EEN CA. 20 CM DIKKE LAAG

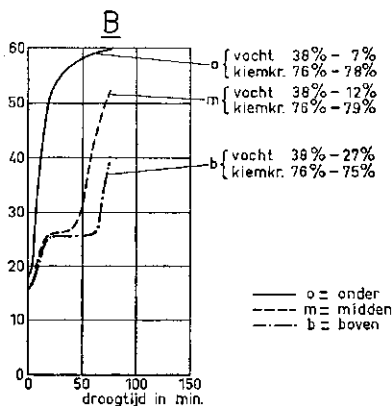
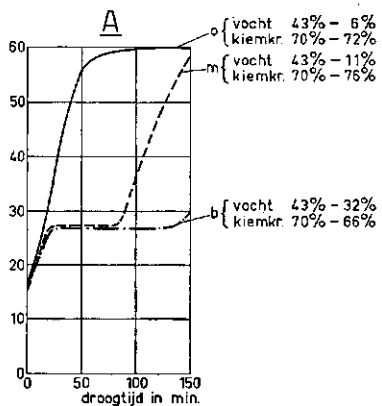
Aanduiding	Luchttemperatuur °C				
	30	40	50	60	70
<b>Vochtgehalte (%)</b>					
vóór het drogen	39	42	37	38	39
na het drogen onderste 1/3 deel	12	10	9	7	5
na het drogen middelste 1/3 deel	14	13	14	12	12
na het drogen bovenste 1/3 deel	22	28	28	27	32
na het drogen gemiddeld	16	16	16	16	16
<b>Droogduur (minuten)</b>	200	188	93	77	68
<b>Kiemkracht (%)</b>					
vóór het drogen	68	74	75	76	78
na het drogen onderste 1/3 deel	73	73	78	78	55
na het drogen middelste 1/3 deel	73	70	79	79	74
na het drogen bovenste 1/3 deel	68	68	75	75	77
<b>Kiemenergie (%)</b>					
vóór het drogen	68	73	74	76	77
na het drogen onderste 1/3 deel	73	70	77	77	53
na het drogen middelste 1/3 deel	72	70	79	79	73
na het drogen bovenste 1/3 deel	67	68	74	75	77

Laagdikte 21,5 cm (nat)  
Lichtsnelheid 0,5 m/sec.  
Eenzijdige luchtrichting; dwarsstroom

Luchttemperatuur 70 °C

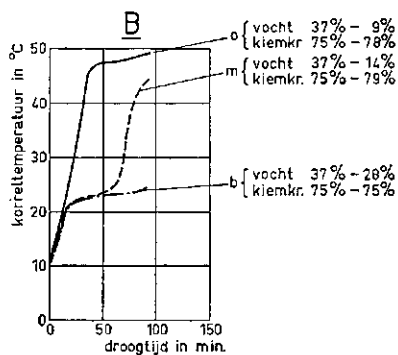
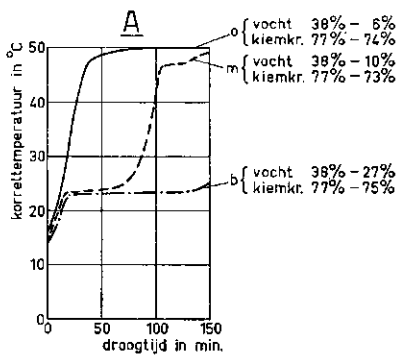


Luchttemperatuur 60 °C

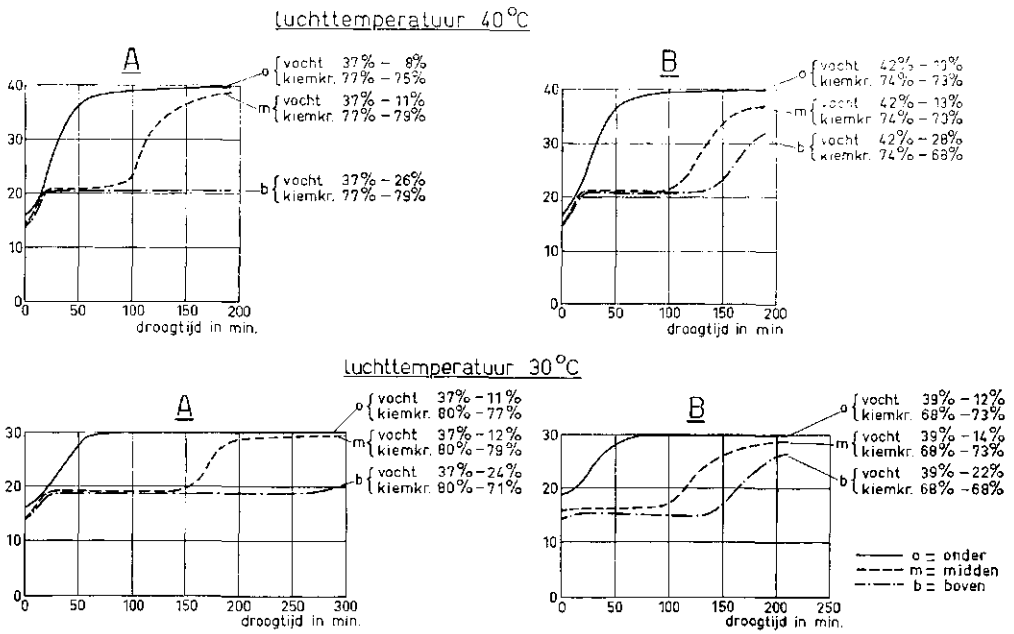


— o = onder  
 - - - m = midden  
 - · - · b = boven

Luchttemperatuur 50 °C

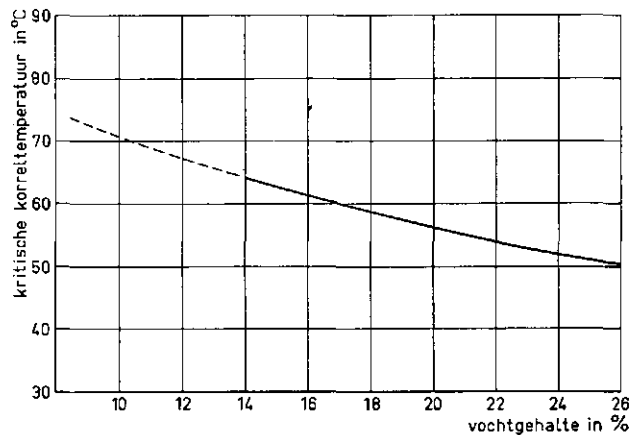


VOOR VERVOLG FIGUREN VOLGENDE PAGINA



FIGUUR 18

VERLOOP KORRELTEMPERATUREN TIJDENS DE DROGING VAN EEN LAAG SUIKERBIETENZAAD (A 28.5 CM DIK, B 21.5 CM DIK), LUCHTSNELHEID CA. 0.5 M/SEC., VERSCHILLENDE LUCHTTEMPERATUREN



FIGUUR 19

VERBAND TUSSEN VOOR DE BAKEIGENSCHAPPEN KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR EN VOCHTGEHALTE (TARWE) (23)

TABEL 33

RESULTATEN DROOGPROEVEN SUIKERBIETENZAAD IN EEN CA. 30 CM  
DIKKE LAAG

Aanduiding	Luchttemperatuur °C				
	30	40	50	60	70
<b>Vochtgehalte (%)</b>					
vóór het drogen	37	37	38	43	41
na het drogen onderste 1/3 deel	11	8	6	6	5
na het drogen middelste 1/3 deel	12	11	10	11	8
na het drogen bovenste 1/3 deel	24	26	27	32	31
na het drogen gemiddeld	16	15	15	16	16
<b>Droogduur (minuten)</b>	300	190	140	152	108
<b>Kiemkracht (%)</b>					
vóór het drogen	80	77	77	70	72
na het drogen onderste 1/3 deel	77	75	74	72	51
na het drogen middelste 1/3 deel	79	79	73	76	72
na het drogen bovenste 1/3 deel	71	79	75	66	69
<b>Kiemenergie (%)</b>					
vóór het drogen	78	77	76	69	72
na het drogen onderste 1/3 deel	76	75	72	71	49
na het drogen middelste 1/3 deel	69	77	73	75	65
na het drogen bovenste 1/3 deel	71	77	74	66	68

Laagdikte 28.5 cm (nat)  
Luchtsnelheid ca. 0.5 m/sec.

Eenzijdige luchtrichting; dwarsstroom

Men vindt in een en ander indirect een bevestiging van de in A 3.4 vermelde conclusie, dat men een sneldrogend zaad, zoals suikerbietenzaad, in dunne lagen moet drogen, wil men met de temperatuur zo hoog mogelijk gaan (60° C). Voor meer praktische droog-inrichtingen volgens categorie C (tabel 24), waarbij met dikkere lagen moet worden gewerkt, zal men moeten rekenen op veel lagere luchtsnelheden, b.v. 300 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> vloer per uur. Onder deze omstandigheden moet de temperatuur veel lager worden gehouden, wil men tenminste een niet al te ongelijkmatige indroging krijgen. De droogduren vallen dan overeenkomstig langer uit.

In figuur 18 ziet men voor twee series proefnemingen het verloop van de korreltemperaturen in drie delen tijdens de droging van een laag suikerbietenzaad grafisch uitgebeeld. Men ziet ook hier, dat er zeer grote verschillen in korreltemperatuur zijn tussen het onderste, middelste en bovenste deel van de laag.

Het zal wellicht enige verwondering wekken, dat bij deze proeven 60° C als luchttemperatuur nog toelaatbaar bleek te zijn. Men dient evenwel te bedenken, dat tijdens de droging met lucht de korreltemperatuur pas tot de waarde van de droogluchttemperatuur nadert, als de korrel ver is ingedroogd (bij 60° C blijkt de figuren tot 6 à 7% vocht). Bij een dergelijk laag vochtgehalte is de te verdragen temperatuur natuurlijk hoger dan bij een hoger vochtgehalte (maar dan is de temperatuur van de drogende korrel nog niet zo hoog).

### 3.6 KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR M.H.O. OP DE BAKEIGENSCHAPPEN (18)

In de praktijk is het feit dat men op moet passen met de toe te laten temperatuur van de drooglucht beter doorgedrongen als het om de kiemeigenschappen gaat, dan wanneer b.v. alleen de bakkwaliteit in het geding is. In tabel 28 zijn de kritische korreltemperaturen gegeven, zoals deze door Lindberg en Sørensen zijn gevonden.

In figuur 19 zijn deze temperaturen grafisch in beeld gebracht, waarbij de lijn als stip-pellijn is doorgetrokken voor de lagere vochtgehalten. (De lijn van figuur 19 geldt voor de bakeigenschappen).

Door het IBVL is een onderzoek t.a.v. het behoud van de bakeigenschappen uitgevoerd om uit te maken, hoe in dit opzicht de zaken staan bij verticale doorstroomdrogers (con-tinu werkend), een type dat zeer veel gebruikt wordt voor het drogen van granen (18). Zoals reeds in A 3.5 werd vermeld, heerst er op elk punt en op elk moment in de laag bij dergelijke drogers een evenwicht. De spreiding in korreltemperaturen in de laag is zeer groot.

Bij drogingen van tarwe met b.v. 24% vocht met luchttemperaturen van 160, 140, 120, 100, 80 en 60° C bleek dat op het moment dat het gemiddelde vochtgehalte gedaald was tot 18% de verdeling in korreltemperaturen als volgt was:

bij 160° C	luchttemperatuur,	korreltemperaturen	van	nauwelijks	160° C	tot	± 16° C
„ 140° C	„	„	„	„	140° C	„	„ 16° C
„ 120° C	„	„	„	„	120° C	„	„ 17° C
„ 100° C	„	„	„	„	100° C	„	„ 20° C
„ 80° C	„	„	„	„	80° C	„	„ 28° C
„ 60° C	„	„	„	„	60° C	„	„ 32° C

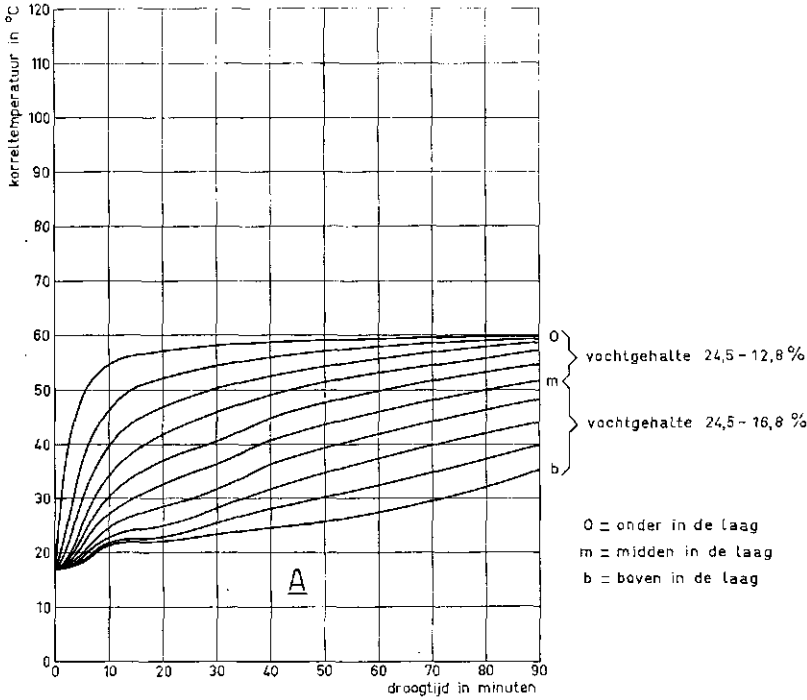
Het heeft kennelijk geen zin om te spreken van „de korreltemperatuur”.

Zou men de gemiddelde graantemperatuur meten (b.v. met behulp van een thermos-fles), dan heeft men nog geen idee van de afwijkingen. Er zullen in de laag altijd ge-deelten voorkomen, waarin de korreltemperatuur weinig lager is dan de luchttempera-tuur (ook als men de luchtrichting periodiek zou omkeren). Het nut van het meten van de graantemperatuur op een of andere plaats in een droger is, gezien in het licht van het voorgaande, dus twijfelachtig. Het lijkt beter om de luchttemperatuur als norm te nemen.

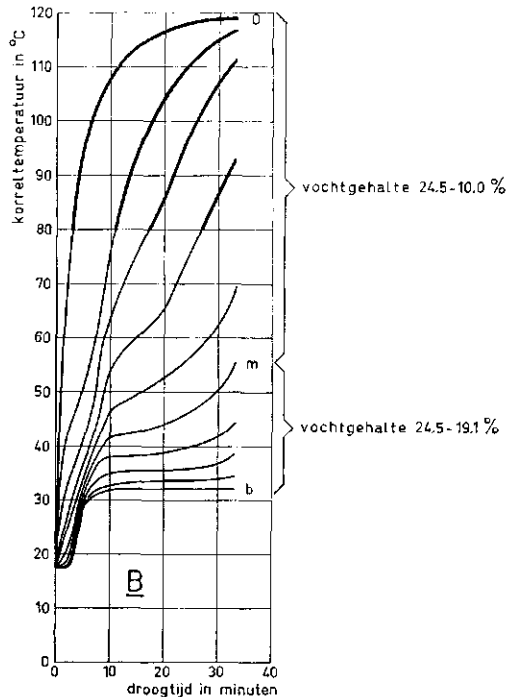
Een voorbeeld van het verloop van de korreltemperatuur in de verschillende delen van de laag vindt men grafisch weergegeven in figuur 20. Hier zijn drogingen vergeleken van tarwe waarbij resp. met lucht van een temperatuur van 60° C en van 120° C werd gedroogd.

FIGUUR 20 A

VERLOOP VAN DE KORRELTEMPERATUREN IN 10 GELIJKE DELEN VAN EEN LAAG CONSUMPTIETARWE. VOCHTGEHALTE CA. 24%; LAAGDIKTE 14 CM; LUCHTSNELHEID 0.18 M/SEC.; EÉNZIJDIGE LUCHTRICHTING (VAN ONDER NAAR BOVEN); VERSCHILLENDE LUCHTTEMPERATUREN: A = LUCHTTEMPERATUUR 60° C



FIGUUR 20 B B = LUCHTTEMPERATUUR 120° C



Het verloop van de korreltemperatuur in 10 gelijke delen van de laag, elk 1.4 cm dik, is te onderscheiden. Om een beeld te krijgen aangaande de invloed van de lucht- resp. korreltemperaturen op de uiteindelijke bakeigenschappen worden de terzake doende resultaten in tabel 24 nader verduidelijkt in de figuren 21, 22 en 23 (zie blz. 57).

Het blijkt dat onder droogomstandigheden zoals deze b.v. in verticale drogers kunnen voorkomen, luchttemperaturen van 100° C en hoger bij de onderzochte tarwe een schadelijk effect uitoefenden op de bakeigenschappen.

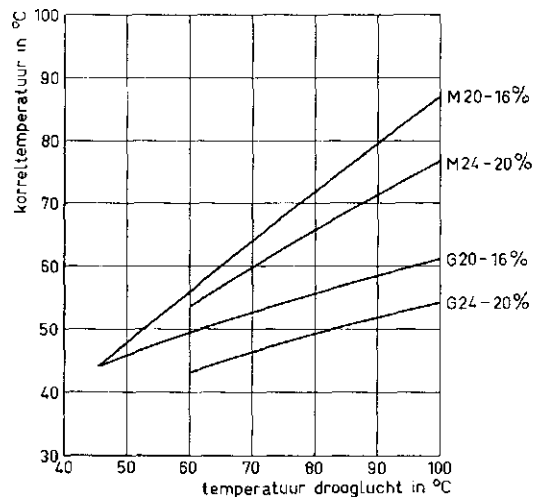
Een luchttemperatuur van 80° C is toelaatbaar, behalve wanneer het zou gaan om het drogen van tarwe met 24% vocht in eenmaal. In dat geval zou het drogen in tweeën zijn te prefereren of het drogen bij 60° C in eenmaal.

Een nadere analyse van de resultaten levert een beeld op zoals gegeven in figuur 24 waarin de samenhang wordt getoond tussen enerzijds de korreltemperaturen, gemiddeld in de gehele laag en die gemiddeld over de halve laag (aan de zijde waar de lucht intreedt) en anderzijds de droogluchttemperatuur. Dit is gedaan voor praktische vochtonttrekkingen (20—16% en 24—20%).

In deze figuur is duidelijk te zien, dat men bij luchttemperaturen van 80° C en hoger te hoge korreltemperaturen krijgt. Bedacht dient te worden, dat de korreltemperaturen, die op het einde van de droging bereikt worden, samengaan met het laagste vochtgehalte. Teneinde hieromtrent iets naders aan de weet te komen is een overzicht opgesteld, zoals opgenomen in tabel 35. Hierin zijn enkele resultaten verwerkt van drogingen over vochttrajecten 20—16% en 24—16%.

FIGUUR 24

VERBAND TUSSEN KORRELTEMPERATUUR OP HET EIND VAN DE DROGING (VÓÓR DE KOELING) EN DE LUCHTTEMPERATUUR (DROGEN IN DWARSTROOM 5000 M<sup>3</sup> LUCHT PER M<sup>3</sup> GRAAN PER UUR)



- M 20—16 % = korreltemperatuur gemiddeld halve laag luchtinlaatzijde
- M 24—20 %
- G 20—16 % = korreltemperatuur gemiddeld over gehele laag
- G 24—20 %



## RESULTATEN BAKPROEVEN

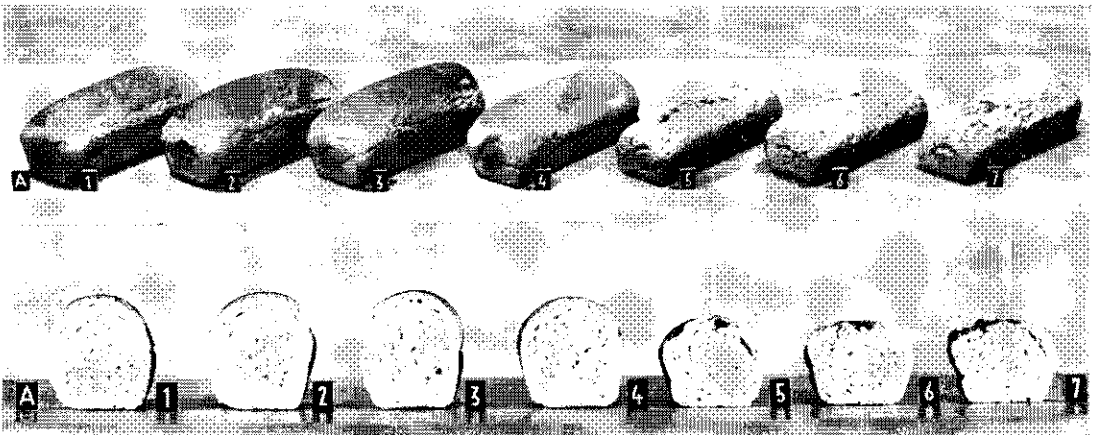


Fig. 21 Gedroogd van 20% - 15%

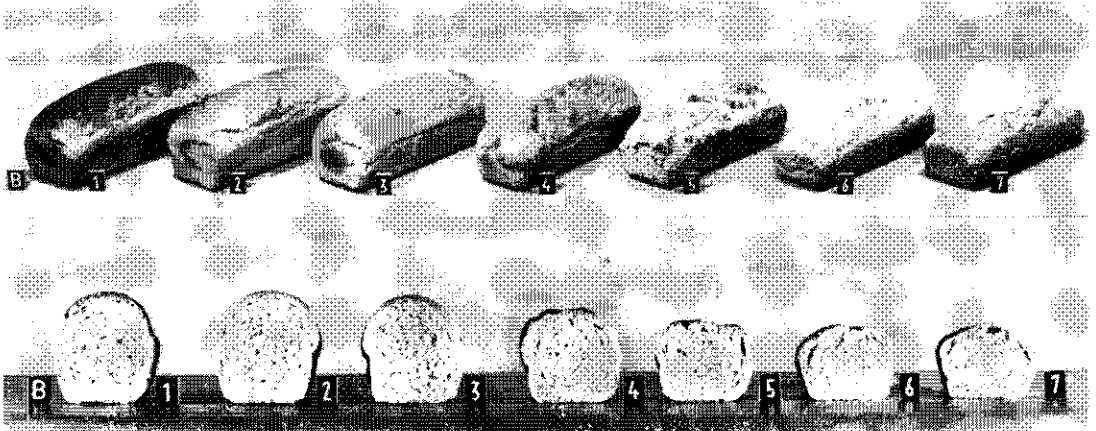


Fig. 22 Gedroogd van 24% - 15% (in éénmaal)

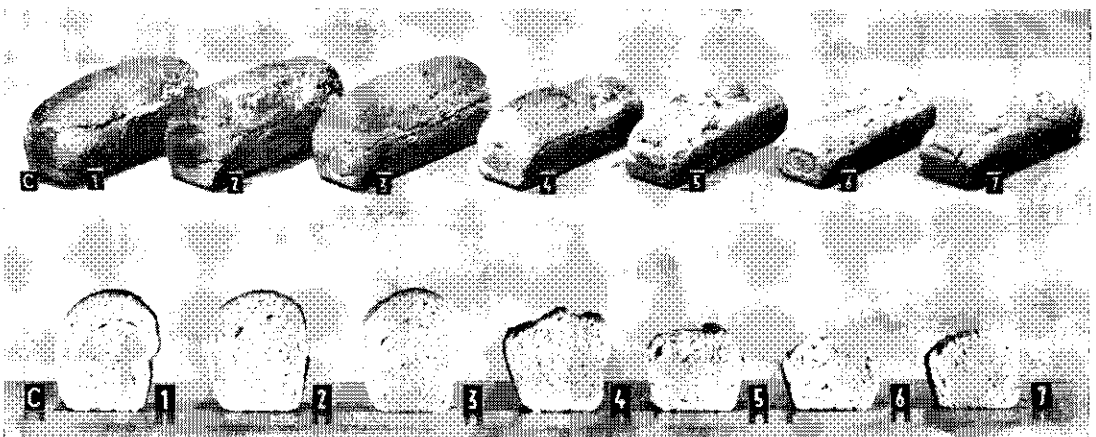


Fig. 23 Gedroogd van 24% - 15% (in tweeën)

- |   |                  |        |
|---|------------------|--------|
| 1 | blanco           |        |
| 2 | luchttemperatuur | 60° C  |
| 3 | "                | 80° C  |
| 4 | "                | 100° C |
| 5 | "                | 120° C |
| 6 | "                | 140° C |
| 7 | "                | 160° C |

Opm. De grondstof bestaat voor 100% uit inlandse tarwe.

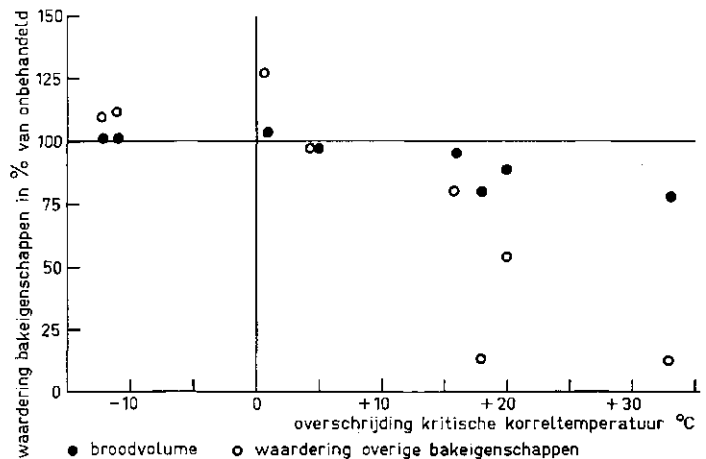
De gemiddelde korreltemperaturen in de halve laag, die door de lucht het eerst bereikt werd, zijn op regel 5 te vinden, terwijl de daarbij behorende uiteindelijk bereikte vocht gehalten op regel 4 zijn geplaatst. Uit figuur 19 zijn de bijbehorende kritische korreltemperaturen betrokken (regel 6), terwijl op regel 7 de overschrijdingen zijn vermeld. De resultaten van de betreffende bakproeven zijn op de regels 8 en 9 aangegeven. Het blijkt, dat bij een luchttemperatuur van 80° C de overschrijding van de kritische korreltemperatuur nog zeer gering is, tenzij men een grote vochtonttrekking ineens zou realiseren (in de tabel: 24.5—16.4%).

Bij 100° C als luchttemperatuur worden de overschrijdingen van de kritische korreltemperatuur te groot. Grafisch is het verband tussen de mate van overschrijding van de korreltemperatuur en de achteruitgang van de bakeigenschappen weergegeven in figuur 25.

De resultaten bevestigen de aanvaardbaarheid van figuur 19 (ook van de geëxtrapoleerde gedeelten van de lijn).

FIGUUR 25

VERBAND TUSSEN BAKEIGENSCHAPPEN EN OVERSCHRIJDING KRITISCHE KORRELTEMPERATUUR



TABEL 34  
 RESULTATEN VAN EEN SERIE PROEFDRINGEN MET LEDA-TARWE (BAKEIGENSCHAPPEN) (DWARSTROOM)

	TEMPERATUUR																		
	60			80			100			120			140			160			
	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	B <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	B <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	B <sub>7</sub>	C <sub>7</sub>	
<b>Vochtgehalte</b>																			
Voor 1e maal drogen	20.4	24.5	24.2	20.4	24.5	24.2	20.4	24.5	24.2	20.4	24.5	24.2	20.4	24.5	24.2	20.4	24.5	24.2	24.2
Na 1e maal drogen gem. %	15.5	15.7	20.1	16.2	16.4	21.0	16.7	16.8	21.7	17.1	17.6	21.8	17.6	18.1	22.0	17.8	18.1	22.4	22.4
Na 1e maal koelen	14.8	14.8	19.0	14.8	14.9	19.1	14.8	14.5	19.1	14.7	14.6	19.0	14.6	14.5	19.0	14.6	14.4	18.8	18.8
Na 1e maal koelen onderste laag	13.7	12.8	-	12.9	11.8	-	12.5	10.8	-	12.0	10.0	-	11.4	9.5	-	11.2	8.4	-	-
Na 1e maal koelen bovenste laag	16.1	16.8	-	16.9	18.0	-	17.5	18.1	-	17.6	19.1	-	17.8	19.5	-	18.0	20.2	-	-
Voor 2e maal drogen			18.9			19.0			19.0			18.9			18.8			18.6	18.6
Na 2e maal drogen gem. %			15.6			16.3			16.6			16.7			17.1			17.3	17.3
Na 2e maal koelen			14.9			14.9			14.7			14.5			14.5			14.6	14.6
Na 2e maal koelen onderste laag			13.8			13.2			13.0			12.4			12.0			11.8	11.8
Na 2e maal koelen bovenste laag			15.8			16.4			16.2			16.6			17.0			17.2	17.2
<b>Bakeigenschappen</b>																			
Broodvolume vóór drogen			441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	441
ml/100 g bloem	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	441
Idem na drogen	420	430	453	428	409	458	393	377	337	329	328	294	296	296	270	293	281	261	261
ml/100 g bloem	420	430	453	428	409	458	393	377	337	329	328	294	296	296	270	293	281	261	261
Waardering overige eigen- schappen vóór drogen	15	16	22.5	15	16	22.5	15	16	22.5	15	16	22.5	15	16	22.5	15	16	22.5	22.5
Idem na drogen	16.5	18	24	19	15.5	25	12	8.5	8.5	2	2	2	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0

Vet gedrukte cijfers: duidelijke achteruitgang in bakeigenschappen  
 \* zie figuren 21, 22 en 23





**B Het drogen en opslaan van inlandse granen, zaden en peulvruchten op centrale op- en overslagbedrijven**

J. Kreyger



# 1. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN INLANDSE GRANEN OP CENTRALE OP- EN OVERSLAGBEDRIJVEN

## 1.1 OPSLAG VAN GRANEN IN HOGE SILO'S

### 1.1.1 INLEIDING

Uit het geschrevene in deel A (2.3) blijkt wel, dat er alleen van werkelijk goed houdbaar graan kan worden gesproken, als het vochtgehalte 13 à 14% is. Iets dergelijks kan het geval zijn bij importpartijen uit Noord- of Zuid-Amerika. Het is dan ook niet verwonderlijk dat dergelijk graan in hoge silo's (tot meer dan 30 m hoog) wordt opgeslagen.

Voor inlandse granen evenwel leveren dergelijke hoge silo's grote bezwaren op.

Vóór de invoering van de nieuwe oogstmethoden (maaidorsers) had men de gunstige omstandigheden dat het graan eerst op het veld en later bij de teler in ongedorste toestand in de schuur bewaard werd. Dit graan kwam geleidelijk ter beschikking en kon vóór de opslag tot een redelijk peil worden gedroogd.

In A 2.3 is e.e.a. medegedeeld over vochnormen. Hierbij ging het als het ware om de „grondwet” van de bewaring voorzover het de samenhang vocht - temperatuur - tijd betreft. In de praktijk evenwel heeft men nog met andere factoren te maken, zoals de invloed van de grootte van de partijen, de ongelijkmatigheid in vocht en temperatuur, verontreinigingen, groene korrels, onkruidzaden etc.

Een partij graan met groene korrels, beschadigde korrels, vochtplekken, broeihaarden etc. zal sneller bederven dan een homogene partij.

Het is duidelijk dat grote partijen graan die vochtiger zijn dan het werkelijk houdbare peil van 13% vocht niet al te lange tijd aan zichzelf kunnen worden overgelaten.

### 1.1.2 OMLOPEN - TEMPERATUURCONTROLE

In de praktijk van de opslag in hoge silo's bestaat dan ook de gewoonte om het graan te laten „omlopen”. Door deze bewerking wordt de partij als het ware door elkaar geroerd en wat belucht. Dit is van tijd tot tijd nodig, zelfs als het vochtgehalte b.v. slechts 15% is.

Het omlopen wordt vaak geïntensiveerd door het graan tevens over een aspirateur en/of over een „koude” droger te voeren. Vooral bij koud droog weer kan een dergelijke maatregel effectief zijn. Een goede controle van de temperatuur van het graan in de verschillende delen van de silo is eigenlijk noodzakelijk.

Toch mankeert er vaak veel aan dergelijke temperatuurcontrole in hoge silo's. Een reden hiervoor is dat een installatie die deze controle uitvoert zeer duur is.

Bij een grote partij in een silo zal er onder invloed van onvermijdelijke verschillen in toestand een transport van warmte en vocht gaan optreden in de partij. Zijn de wanden van de silo kouder dan het graan dan zal er vocht op de koude wanden neerslaan en zal de relatieve vochtigheid vlak bij de wanden hoog worden. Er bestaat daar ter plaatse kans op beschimmelings. De silowanden dienen daarom een redelijk goede isolatiewaarde te bezitten.

Bij goed geïsoleerde wanden heeft men weliswaar het voordeel dat het graan dat tegen de wanden ligt niet vochtig zal worden en niet zal beschimmelen, doch de warmte of het teveel aan warmte in het graan wordt moeilijker afgevoerd.

### 1.1.3 VENTILEREN VAN HOGE SILO'S

Om de temperatuurverschillen zoveel mogelijk te vereffenen en om een plaatselijk teveel aan warmte af te voeren heeft men ook bij de opslag in hoge silo's aan ventilatie gedacht. Het doel daarvan was om de temperatuur te verlagen en op een peil te brengen dat zo weinig mogelijk verschilde met dat van de buitenlucht. Zodoende zouden de hierboven genoemde onaangename verschijnselen vermeden kunnen worden. Nu kost het eenvoudig ventileren van boven naar beneden of omgekeerd, ook al wordt er met een betrekkelijk kleine luchthoeveelheid gewerkt, veel energie omdat de weerstand tegen doorstroming bij de lange weg van de lucht door het graan te groot is. Hierdoor wordt de lucht opgewarmd door ventilatorarbeid. Men krijgt daardoor een ongewenst effect; er wordt een droging bereikt over een smal front waarbij verder op de luchtweg kans op een condensatiefront bestaat. Deze beide fronten verplaatsen zich in een zeer langzaam tempo.

Er bestaan bepaalde systemen (Rank - Suka) waarbij een zekere mate van ventilatie mogelijk is en waarbij de lucht niet in de lengterichting van de silo door het graan wordt gevoerd maar in de dwarsrichting. De silowanden zijn daartoe op een bepaalde wijze geconstrueerd met luchttoevoer- en afvoerinrichtingen. De hierbij mogelijk zijnde ventilatie is geschikt voor het beluchten van betrekkelijk droog graan.

Voor het opslaan van graan met een hoger vochtgehalte moet men maatregelen treffen als beschreven in B 1.7 die aangeduid worden als geventileerd bewaren van graan in „laagbouw“-silo's.

### 1.1.4 MECHANISCHE KOELING VAN HET GRAAN

Een andere maatregel die wel gepromoveerd wordt betreft het mechanisch koelen van de graaninhoud van een silo; daartoe wordt er kunstmatig gekoelde lucht in de silo geblazen. De luchthoeveelheid kan met het oog op een verantwoord krachtverbruik slechts gering zijn; de koeling vindt dan ook in een langzaam tempo plaats. Volgens een desbetreffende interne studie, verricht op het IBVL (24) kunnen bij wijze van voorbeeld de volgende cijfers gegeven worden.

De capaciteit van een koelmachine voor het koelen van graan in een silo (door ventilatie met gekoelde lucht) hangt van verschillende factoren af, t.w.:

- A
  - 1. de hoeveelheid graan, die per uur gekoeld moet worden
  - 2. het temperatuurtraject waarover moet worden gekoeld
  - 3. de vereiste eindtemperatuur van het graan
  - 4. de temperatuur van de beschikbare lucht
- B het krachtverbruik van de ventilator, nodig voor de verplaatsing van de benodigde hoeveelheid koellucht door het graan

Voor wat betreft de factoren sub A kan het volgende worden opgemerkt. Als men aanneemt, dat

- A
  - 1. = 1 ton per uur
  - 2. = 15° C
  - 3. = 5° C
  - 4. = 20° C

dan krijgt men de volgende rekenwaarden:

koelcapaciteit i.v.m. de factoren sub A : 9000 kcal per ton graan per uur

luchtverplaatsing: 2000 m<sup>3</sup> voor elke ton graan, die gekoeld moet worden

Voor de factoren sub B kan verwezen worden naar B 1.7.3.6 waarin het globaal te verwachten krachtverbruik bij ventilatie onder verschillende omstandigheden behandeld wordt.

Teneinde de lezer in de gelegenheid te stellen zich door een kleine berekening een beeld te verschaffen van de koelcapaciteit die in een bepaald geval nodig is, volgt hieronder een tweetal voorbeelden. Er blijkt uit dat ook het koelen bij hoge silo's geen eenvoudige zaak is.

#### Voorbeeld 1

Gegeven:

Silo's met een grondoppervlak van  $7.5 \text{ m}^2$ , maximale storthoogte  $22.5 \text{ m}$  moeten voorzien worden van een installatie voor het koelen van de graaninhoud tot  $\pm 5^\circ \text{ C}$ . Men wenst één silo te koelen in  $\pm 3$  etmalen.

Men rekent op een begintemperatuur van het graan  $20^\circ \text{ C}$  en op een gemiddelde luchttemperatuur van  $20^\circ \text{ C}$ .

Gevraagd:

Capaciteit van de koelmachine en krachtverbruik van de beluchtingsventilator.

Antwoord:

De inhoud van de silo is  $170 \text{ m}^3$  of  $\pm 125$  ton. Deze  $125$  ton moeten in  $72$  uur gekoeld worden, in een tempo dus van  $\frac{125}{72} = 1.74 \text{ ton/uur}$ . De capaciteit van de koelmachine moet dus, voor wat dit deel betreft,  $1.74 \cdot 9000 = \pm 16000 \text{ kcal/uur}$  zijn.

De luchthoeveelheid, die noodzakelijk is bedraagt  $2000 \text{ m}^3$  per ton. Voor  $125$  ton dus  $125 \cdot 2000 = 250000 \text{ m}^3$  in  $72$  uur. Per uur dus  $\frac{250000}{72} = 3500 \text{ m}^3$  of  $\frac{3500}{170} = \pm 20 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur.

Het krachtverbruik voor het verplaatsen van deze luchthoeveelheid door de silo met  $22.5$  hoogte kan als volgt globaal worden berekend.

De luchthoeveelheid is  $3500 \text{ m}^3$  per uur. Het oppervlak is  $7.5 \text{ m}^2$ . De hoeveelheid lucht is dus  $\frac{3500}{7.5} = 470 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur.

Uit tabel 45 volgt, dat de luchtweerstand per  $\text{m}$  storthoogte ongeveer  $60 \text{ mm}$  zal zijn voor gerst. Voor een storthoogte van  $22.5 \text{ m}$  zou deze weerstand  $22.5 \cdot 60 = 1350 \text{ mm WK}$  bedragen!

Het krachtverbruik hiervoor zou zeker  $30 \text{ pk}$  belopen. Alleen al om deze reden is het beoogde koelen van een silo met deze storthoogte niet praktisch.

#### Voorbeeld 2

Gegeven:

Silo's met een grondoppervlak van  $22.5 \text{ m}^2$ , maximale storthoogte  $7.5 \text{ m}$  moeten voorzien worden van een installatie voor het koelen van de graaninhoud tot  $\pm 5^\circ \text{ C}$ . Men wenst één silo te koelen in  $\pm 3$  etmalen.

Men rekent op een begintemperatuur van het graan van  $20^\circ \text{ C}$  en op een gemiddelde luchttemperatuur van eveneens  $20^\circ \text{ C}$ .

Gevraagd:

Capaciteit van de koelmachine en krachtverbruik van de beluchtingsventilator.

Antwoord:

De inhoud van een silo is  $170^3$  of  $\pm 125$  ton. Deze  $125$  ton moeten in  $72$  uur gekoeld worden, in een tempo dus van  $\frac{125}{72} = 1.74 \text{ ton/uur}$ . De capaciteit van de koelmachine moet dus, voor wat dit deel betreft,  $1.74 \cdot 9000 = \pm 16000 \text{ kcal/uur}$  zijn.

De luchthoeveelheid die noodzakelijk is bedraagt  $2000 \text{ m}^3$  per ton, dus in totaal voor  $125$  ton  $125 \cdot 2000 = 250000 \text{ m}^3$  (in  $72$  uur). Per uur is dus nodig  $\frac{250000}{72} = 3500 \text{ m}^3$  of  $\frac{3500}{170} = \pm 20 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur.

Uit de grafiek van figuur 56 volgt bij  $20 \text{ m}^3/\text{m}^3$  uur en een storthoogte van  $7\frac{1}{2} \text{ m}$  een te verwachten krachtverbruik van  $2.15 \text{ pk}/100 \text{ ton}$ , dus  $1.25 \cdot 2.15 = 2.7 \text{ pk}$  voor de gehele silo. Deze energie moet eveneens door de koelmachine worden verwerkt. Nu komt  $1 \text{ pk}$  krachtverbruik per uur overeen met  $632 \text{ kcal}$ . De energie ( $2.7 \text{ pk}$  gedurende een uur), komt dus overeen met  $2.7 \cdot 632 = 1700 \text{ kcal}$ .



De capaciteit van de koelmachine moet dus zijn  $16000 + 1700 = 17700$  kcal/uur.

*Opmerking:* De indroging van het graan door deze koeling is van zeer weinig belang en zal slechts enkele tienden van procenten kunnen bedragen.

Uit deze voorbeelden blijkt wel dat het mechanisch koelen bij hoge silo's om dezelfde reden niet goed uitvoerbaar is als het op een eenvoudige wijze toepassen van het ventileren met onverwarmde buitenlucht.

Hoge silo's zijn geschikt voor redelijk goed houdbaar graan mits men herhaaldelijk laat omlopen. Andere maatregelen zoals een eenvoudige ventilatie of het mechanisch koelen kan men bezwaarlijk toepassen; daarvoor zouden de silo's veel lager moeten zijn.

## 1.2 INVLOED VAN DE NIEUWE OOGSTMETHODEN OP DE INRICHTING VAN CENTRALE BEDRIJVEN VOOR DE OP- EN OVERSLAG VAN INLANDSE GRANEN

De moeilijkheden, verbonden aan de ontvangst, de bewerking en de opslag van inlandse granen zijn zeer vergroot door de invoering van het arbeidsbesparende maaidorsen. Vroeger had men gedurende de opslag van ongedorst graan op het veld en later in de schuur min of meer ideale opslagomstandigheden, waarbij onder natuurlijke „luchtige” droging een evenwichtsvochtgehalte van 18—19% of lager werd bereikt.

Tegenwoordig wordt het graan in een korte tijd geogst en gedorst met vochtgehalten die aanzienlijk hoger kunnen zijn. Waarden van 22—26% zijn heel gewoon, alleen in uitzonderlijke jaren, zoals in 1959, kunnen regelmatig lage vochtcijfers geconstateerd worden.

Om deze reden is het duidelijk dat bij het invoeren van de maaidorser de droogcapaciteit aanzienlijk vergroot moet worden, doch een maatregel in deze zin kan niet alle bezwaren opheffen. Ook de wijze van opslag moet veranderd worden en wel om drie redenen:

- a. De droogcapaciteit kan niet zodanig worden vergroot, dat al het geogste graan onmiddellijk tot een zodanig peil wordt gedroogd dat het in conventionele „hoge” silo's kan worden opgeslagen.
- b. Bij het invoeren van losgestort transport heeft men afscheid genomen van het gebruik van zakken. Ook uit een oogpunt van arbeidsbesparing is dit bij bewerking en opslag ongewenst. Intussen was het bij zakkenopslag ook vroeger al mogelijk bij een 1 à 1.5% hoger vochtgehalte op te slaan dan bij losgestorte opslag in cellen of silo's.
- c. Met de maaidorser geogst graan is minder goed houdbaar dan het volgens de vroeger toegepaste methoden geogste graan, zelfs al is het kunstmatig gedroogd tot hetzelfde vochtgehalte. Dit is een ernstige handicap, vooral omdat men de vochnorm tot nu toe hetzelfde wil houden ( $\pm 17\%$ ).

Een universele maatregel ter verbetering van de praktische bewaring is de geventileerde opslag. Gemaaidorst graan waarvan het vochtgehalte is teruggebracht tot  $\pm 17\%$  kan in z.g. „laagbouw”-silo's geventileerd worden opgeslagen tot een praktische storthoogte van 8 m, welke storthoogte aanvaardbaar is voor centrale bedrijven. Deze hoogte is veel minder dan vroeger gebruikelijk was. Dergelijke laagbouwsilo's met ventilatiemogelijkheid zijn kenmerkend voor de moderne bewaring van gemaaidorst graan.

Zoals reeds werd aangestipt kan de droogcapaciteit ondanks de vergroting die noodzakelijk is en ook wordt gerealiseerd, niet „in de pas” blijven met de stijging van het vochtgehalte bij de nieuwe oogstmethoden en met de ongelijkmatige aanvoer.

De ongelijkmatigheid kan men op een etmaal en op een langere termijn b.v. een week of een maand betrekken. Hoe het zij, het is duidelijk, dat er behoefte bestaat aan bufferruimten in het voorste deel van een graanopslagbedrijf en dat er zelfs wel eens een zekere bufferruimte „geleend” zal moeten worden voor de opslag van voorgedroogd graan of nog niet voldoende droog graan, door tussentijdse tijdelijke opslag in opslagsilo's.

Een modern opslagbedrijf voor inlands graan moet daarom op deze mogelijkheid zijn ingesteld.

### 1.3 KENMERKEN VAN VERSCHILLENDE TYPEN OP- EN OVERSLAGBEDRIJVEN VOOR INLANDS GRAAN (25)

Een belangrijk kenmerk betreft het meer of minder neigen naar het opslag- dan wel naar het overslagtype.

Voorbeelden van 2 typen bedrijven:

- a. extreem overslagbedrijf: opslag 10—20% van de aanvoer
- b. extreem opslagbedrijf: opslag 50—80% van de aanvoer

De opslagaccommodatie van type a is gekarakteriseerd door de noodzaak van een veelmalig gebruik. Aandacht moet dus besteed worden aan een mogelijkheid tot vlot vullen en ledigen. De duur van de opslag is beperkt. Bij een opslagbedrijf van b.v. het type b is de opslag zelf meer het primaire doel. In een groot deel van de opslagruimte is er slechts sprake van een eenmalig gebruik voor het betreffende deel van het aangevoerde produkt. Men kan daarbij heel wat op de transport-, vul- en losapparatuur laten vallen, m.a.w. deze opslaginrichting zo goedkoop mogelijk houden en alle aandacht besteden aan de opslagomstandigheden.

Men spreekt vaak van een silogebouw van zoveel ton. Na het voorgaande is het wel duidelijk dat men daarmee maar een zeer eenzijdige karakteristiek geeft. Bij eenzelfde hoeveelheid tonnen opslagmogelijkheid kan men b.v. een a- of een b-type onderscheiden met respectievelijk voor a een relatief groot bewerkingsdeel en een grote aanvoermogelijkheid en voor b een relatief kleiner bewerkingsdeel en een veel kleinere aanvoer. Naast de onderscheiding op- of overslagbedrijf (en tussenvormen) moet men nog een onderscheid maken t.a.v. de verscheidenheid van de aangevoerde produkten en naar de eisen die men aan de produkten stelt.

Het zal duidelijk zijn, dat naarmate het aantal apart te houden partijen naar graansoort, ras of kwaliteit groter wordt, hogere eisen ten aanzien van de ontvangst, bewerking en opslag worden gesteld. Indien de apart te houden partijen bovendien vrijwel gelijktijdig worden aangevoerd, betekent dit een verzwaring van de eisen. Als voorbeeld zou men dit als volgt in een schema kunnen weergeven (tabel 36).

TABEL 36

VOORBEELDEN BETREFFENDE VERSCHIEDENHEID VAN AANGEVOERDE  
PRODUKTEN

Aangevoerde produkten		
Tijd van aanvoer	type bedrijf	
	1	2
1e week	rogge	zomergerst
2e week	rogge zomergerst haver	zomergerst
3e week	rogge zomergerst haver	zomergerst wintertarwe
4e week	haver zomertarwe	wintertarwe zomertarwe
5e week	zomertarwe	zomertarwe

Bedrijf 1: ontvangt in hoofdzaak 2 rassen zomergerst, die apart gehouden moeten worden. De haver wordt in 2 kwaliteiten gescheiden.

Bedrijf 2: ontvangt in hoofdzaak 1 ras zomergerst. Alle tarwerassen worden samengevoegd.

De 1e week van aanvoer hoeft niet in dezelfde tijdsperiode te vallen. Bedrijf 1 kan b.v. in het noorden van het land zijn gevestigd, bedrijf 2 in het zuidwesten.

De globale conclusies uit deze vergelijkingen van de in dit verband onderscheiden 2 bedrijfstypen (onder overigens gelijke omstandigheden) zijn:

- a. Bij type 1 zijn meer ontvangstruimten gewenst dan bij 2. Dit betekent tevens meer transportlijnen. Ook zal men in bedrijf 1 met meerdere droogeenheden vlotter werken.
- b. De te vormen eenheden bij verwerking en opslag zijn bij bedrijf 1 kleiner dan bij 2. Bij 1 zal het dikwijls ook moeilijker zijn de cellen steeds volledige te benutten.

Op grond van de hiervoor genoemde overweging kan men verschillende typen onderscheiden (tabel 37).

TABEL 37

## GRONDTYPEN VAN DE BEDRIJVEN

Type-aanduiding	Aangevoerde produkten	Aard van het bedrijf
I	meerdere	overslag
II	meerdere	opslag
III	enkele	overslag
IV	enkele	opslag

In de praktijk is de variatie uiteraard groter en zijn er allerlei tussenvormen te onderscheiden. Verdere bijzonderheden, die onderscheiden moeten worden bij het aanduiden van het type van een bedrijf hebben te maken met de kwaliteit en de grootte.

Ten aanzien van de kwaliteit kan worden opgemerkt dat de voornaamste eisen die in dit verband hun stempel op de inrichting van het bedrijf drukken, het behoud van een goede kiemkracht betreffen en het voorkomen van vermenging beogen. Laten wij zaaizaden hier buiten beschouwing, dan gaat het vooral om de kwaliteit van brouwerst en consumptietarwe. De brouwersteisen t.a.v. kiemkracht en vermenging zijn, zoals bekend, hoog.

#### 1.4 GROOTTE VAN DE ONTVANGST-, DROOG-, BEWERKINGS-, BUFFER- EN TRANSPORTINRICHTING VOOR VERSCHILLENDE TYPEN OP- EN OVERSLAG-BEDRIJVEN (25)

Het is zaak om de capaciteit van de drooginrichting vooral niet te krap te kiezen. Men moet er op rekenen dat het droogseizoen bij toepassing van de maaidorser slechts betrekkelijk kort kan duren. Een aanvaardbaar aantal effectieve drooguren per seizoen hangt mede af van de beschikbare bufferruimte. Zonder goed geventileerde bufferopslag voor tijdelijke (uiteraard slechts kort) bewaring vóór het drogen kan het beschikbare aantal effectieve drooguren op 400 worden gesteld. Naarmate de grootte van een geschikte geventileerde bufferruimte toeneemt, kan dit aantal drooguren toenemen. Bij een typisch opslagbedrijf bestaat bovendien de mogelijkheid graan met een wat hoger vochtgehalte op te slaan.

Is het aantal effectieve drooguren bij een extreem overslagbedrijf 400, naarmate men tot een extreem opslagbedrijf met veel bufferruimte komt kan dit oplopen tot wellicht 1000. Het vaststellen van de benodigde droogaccommodatie heeft verder te doen met de gesteldheid van het klimaat van de betreffende streek en met het feit of men te maken heeft met een bedrijf met een grote of geringe verscheidenheid van produkten en met de kwaliteit van de produkten.

De benodigde droogcapaciteit kan in verband met de verschillende omstandigheden variëren van 3 ton per uur per 1000 ton aangevoerde produkten tot 1 ton per uur per 1000 ton (zie tabel 38). Hierbij is aangenomen, dat de kwaliteitseisen vrij hoog worden gesteld.

TABEL 38

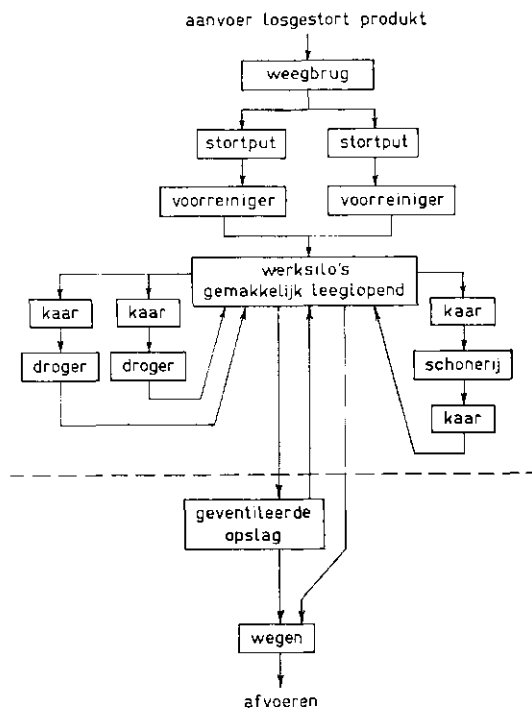
BENODIGDE DROOGCAPACITEIT IN TONNEN PER UUR PER 1000 TON AANGEVOERD (INLANDS) GRAAN

Aanduiding aard en type bedrijf	Benodigde nominale droogcapaciteit ton/uur per 1000 ton aanvoer
I overslag - meerdere produkten	nominaal: 3
II opslag - meerdere produkten	„ : 1½
III overslag - enkele produkten	„ : 2
IV opslag - enkele produkten	„ : 1

Bij een zeer vochtig klimaat moet rekening gehouden worden met een verhoging. Ook bij een niet werken 's nachts moeten deze waarden worden verhoogd.  
 Een centraal bedrijf kan worden gezien als te bestaan uit twee delen: een bewerkingsdeel en een opslagdeel. In de figuren 26 en 27 is de opzet schematisch weergegeven.

FIGUUR 26

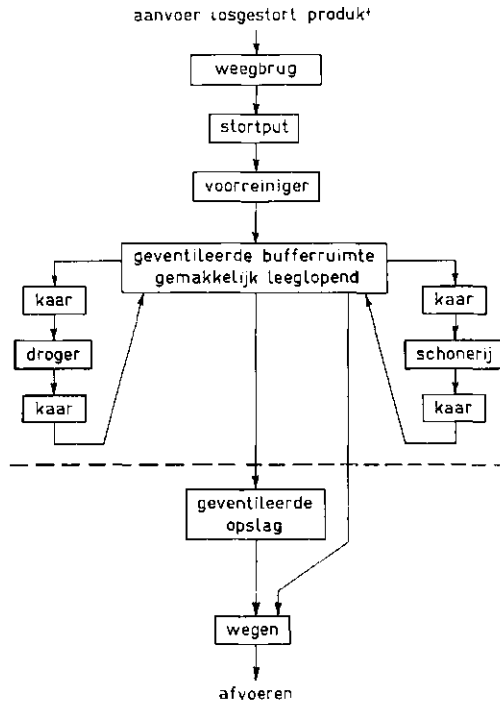
SCHEMA VAN DE OPZET VAN EEN CENTRAAL BEDRIJF VAN HET OVERSLAG-TYPE (INLANDS GRAAN)



*Opmerking: Boven de gestreepte lijn bewerkingsdeel; onder de gestreepte lijn opslagdeel*

FIGUUR 27

SCHEMA VAN DE OPZET VAN EEN CENTRAAL BEDRIJF VAN HET OPSLAG-TYPE (INLANDS GRAAN)



*Opmerking: Boven de gestreepte lijn bewerkingsdeel; onder de gestreepte lijn opslagdeel*

De grootte van de hoeveelheid aangevoerde produkten heeft rechtstreeks invloed op de grootte van de ontvangst-, droog-, bewerkings-, transportaccommodatie en de direct daarbij betrokken bufferruimten.

Het zuivere opslagdeel wordt voor wat de grootte en geaardheid betreft, bepaald door andere overwegingen. De scheiding tussen bufferruimte en opslag hoeft niet altijd duidelijk te zijn. Men kan vaak uiteindelijk in de bufferruimte definitief opslaan, aan de andere kant kan men een deel (soms wisselend) van de opslagruimte als bufferruimte bestemmen. Men kan dan stellen dat een deel van de opslag altijd als bufferruimte voor de bewerking moet dienen. Dit geldt zowel voor het op- als overslagtype. In deze ruimte worden de onregelmatigheden in de aanvoer opgevangen. Het ontvangen graan komt hierin en van hieruit gaat het naar de drogerij. Het gedroogde graan komt uit de droger weer in deze bufferruimte. Het grote transport voert het dan later naar de definitieve opslagruimten. Bij het overslagtype kunnen de bufferruimten deels ongeventileerd en gemakkelijk leeglopend zijn (werksilo's), deels geventileerd en gemakkelijk leeglopend. Bij het opslagtype kunnen ze meestal alle geventileerd zijn.

De droogcapaciteit bij een overslagtype dient groter te zijn dan bij een opslagtype. Men moet in een kortere tijd eenzelfde kwantum drogen. Bij een opslagtype kan men de „toppen” eraf drogen, om daarna te bewaren in geventileerde cellen en eventueel later na te drogen.

Het transportsysteem dient bij een overslagtype uitgebreider te zijn. Men moet immers naast ontvangen, bewerken en opslaan in dezelfde tijd graan afvoeren.

De investering, gerekend naar ton opslagruimte is bij een overslagtype aanmerkelijk hoger dan bij een opslagtype om de volgende redenen:

de opslag is relatief kleiner, de droogcapaciteit is groter en het transport is relatief duurder. Het opslagdeel is relatief onbelangrijker.

Gegevens over kosten per ton opslag werken daarom in de praktijk misleidend. Men zou voor het zuivere opslagdeel vergelijkende kosten kunnen hanteren per ton opslag (b.v. incl. transport en beluchting). Voor het verwerkingsdeel zou men de kosten per ton te verwerken produkt als criterium moeten nemen.

Op grond van voorgaande analyse volgt hierna een schema (tabel 39) van enkele bedrijfstypen, t.w.: I, II, III en IV (tabel 37), waarbij eerst de opslagcapaciteit van alle typen gelijk is genomen maar waarbij de aangevoerde hoeveelheid produkt uiteraard verschilt. Het gaat hierbij niet om de juiste absolute hoogte van de genoemde cijfers (daarvoor zou men voor een concreet geval nadere gedetailleerde gegevens nodig hebben van ieder bedrijf) doch om de relatieve hoogte. Dit schema bevestigt, dat een vergelijking van de kosten voor een bedrijf als totaliteit per ton opslagruimte weinig zin heeft. Verder is het duidelijk dat het inrichten van een bedrijf niet kan gebeuren naar standaardvoorschriften maar dat wel degelijk rekening moet worden gehouden met de afzonderlijke factoren waarvan de invloed in het voorgaande stuk voor stuk is belicht.

Tabel 39 dient daarom alleen ter illustratie van de verhoudingen in de dimensies van de verschillende onderdelen van verschillende typen centrale bedrijven.

TABEL 39

**SCHEMA BETREFFENDE VERGELIJKING VAN ENKELE HOOFDGEGEVENS VAN VERSCHILLENDE TYPEN CENTRALE BEDRIJVEN**

Omschrijving	Eenheid	Centrale bedrijven			
		type bedrijf (zie tabel 37)			
		I	II	III	IV
Aanvoer	ton	20000	5000	20000	5000
Opslagcapaciteit	"	3500	3500	3500	3500
Verdeeld over:					
werksilo's : totaal inhoud	"	1000	-	1000	-
inhoud per cel	"	75-150	-	100-200	-
geventileerde bufferruimte : totaal inhoud	"	2500	500	2500	500
inhoud per cel	"	75-150	50-75	100-400	75-150
geventileerde „laagbouw” : totaal inhoud	"	-	3000	-	3000
inhoud per cel	"	-	100-200	-	250-500
Aantal stortputten	stuks	4	3	4	2
Capaciteit per stortput	ton/uur	50	20	50	30
Aantal drogers *)	stuks	4	2	2	1
Droogcapaciteit totaal (nominaal *)	ton/uur	60	7½	40	5

\*) *Opmerking:* Gerekend op oogsten met maaidorsers - normaal klimaat - dag en nacht drogen

## 1.5 GEWICHTSVERLIES BIJ HET DROGEN

Het percentage gewichtsverlies dat door het indrogen ontstaat, kan worden berekend met de volgende formule:

$$x = \frac{100}{100 - V_d} (V_n - V_d)$$

$x$  = gewichtsverlies in %, m.a.w. kg verlies per 100 kg nat graan  
 $V_n$  = vochtgehalte vóór het drogen in %  
 $V_d$  = vochtgehalte na het drogen in %

Bij: 20% op 17% wordt  $x = \frac{100}{100 - 17} (20 - 17) = 3.6\%$

25% op 17% wordt  $x = \frac{100}{100 - 17} (25 - 17) = 9.6\%$

30% op 17% wordt  $x = \frac{100}{100 - 17} (30 - 17) = 15.6\%$

Zolang het eindvochtgehalte 17% is, is het verliespercentage  $\frac{100}{100 - 17}$  maal het indrogingspercentage ( $V_n - V_d$ ).

Bij het opstellen van de formule is aangenomen, dat er bij het drogen geen droge stof verloren gaat, doch alleen vocht verdampt wordt.

In figuur 28 kan men de factoren vinden waarmee het indrogingspercentage moet worden vermenigvuldigd.

*Voorbeeld:* Men droogt b.v. een partij van 37600 kg graan met een vochtgehalte van 20.3 % tot een gemiddeld vochtgehalte van 16.1 %. De vochtonttrekking is  $20.3 - 16.1 = 4.2$  %. In figuur 28 vindt men voor een eindvochtgehalte van 16.1 % een factor van 1.191. Het gewichtsverlies is dus  $1.191 \cdot 4.2 = 5.0022$  %. In kg dus  $376 \cdot 5.0022 = 1880.8$  kg.

In figuur 29 is een grafiek gegeven waaruit het gewichtsverlies als gevolg van het drogen direct kan worden afgelezen (tot op  $\pm 0.1\%$ ).

*Voorbeeld:* vochtgehalte vóór het drogen 21.3 % (punt A)  
vochtgehalte na het drogen 15.3 % (punt B)  
gewichtsverlies 7.1 % (punt C)

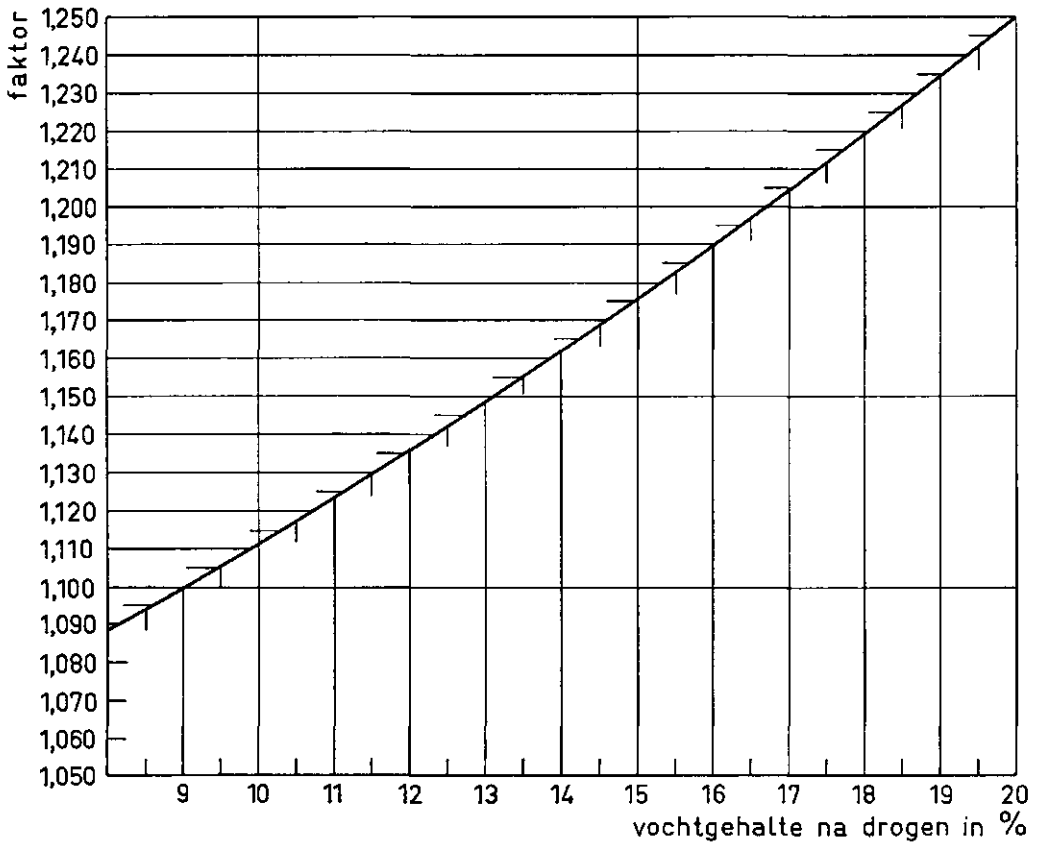
In de praktijk zijn er nogal eens klachten, dat men met deze berekening niet uitkomt. Erg verwonderlijk is dit niet, omdat er altijd een mechanisch verlies zal optreden (stof dat ontstaat of droog wordt en in de lucht verdwijnt).

Verder kan bij zeer nat graan, dat enkele dagen na de bemonstering pas gedroogd wordt, inmiddels een drogestofverlies zijn opgetreden van enkele tienden van een procent. Na 10 dagen bewaring bij  $20^\circ$  C kan bij tarwe met 26% vocht ruim 1% droge stof door verademing zijn omgezet. (Er is dan weliswaar reeds een geringe beschimmeling; de kiemkracht is sterk gedaald.)



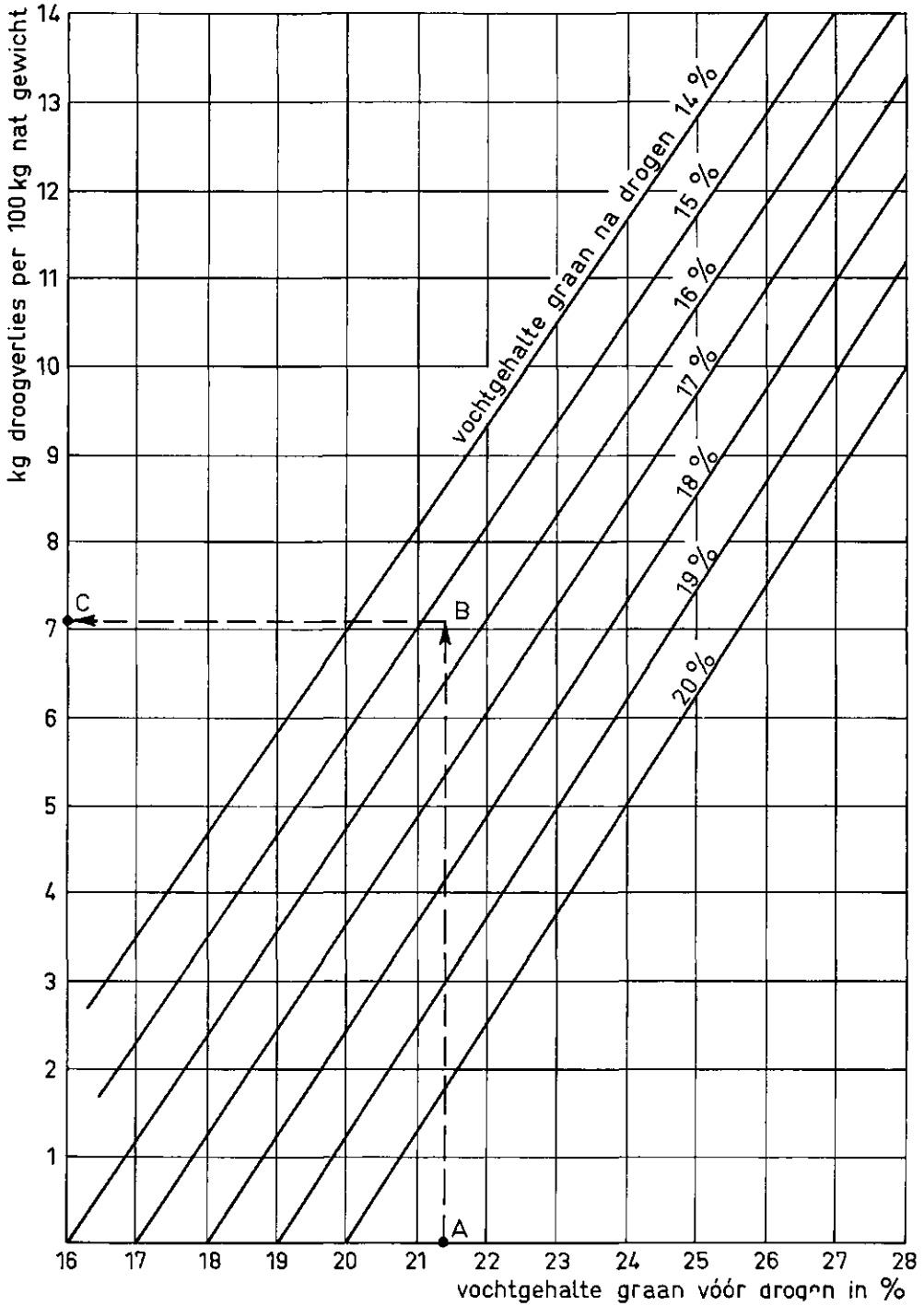
FIGUUR 28

FACTOR WAARMEDE HET PERCENTAGE INDRINGING MOET WORDEN VER-  
MENIGVULDIGD OM HET PERCENTAGE GEWICHTVERLIES TE BEREKENEN



FIGUUR 29

GRAFIEK TER GLOBALE BEPALING VAN HET GEWICHTSVERLIES BIJ HET DROGEN



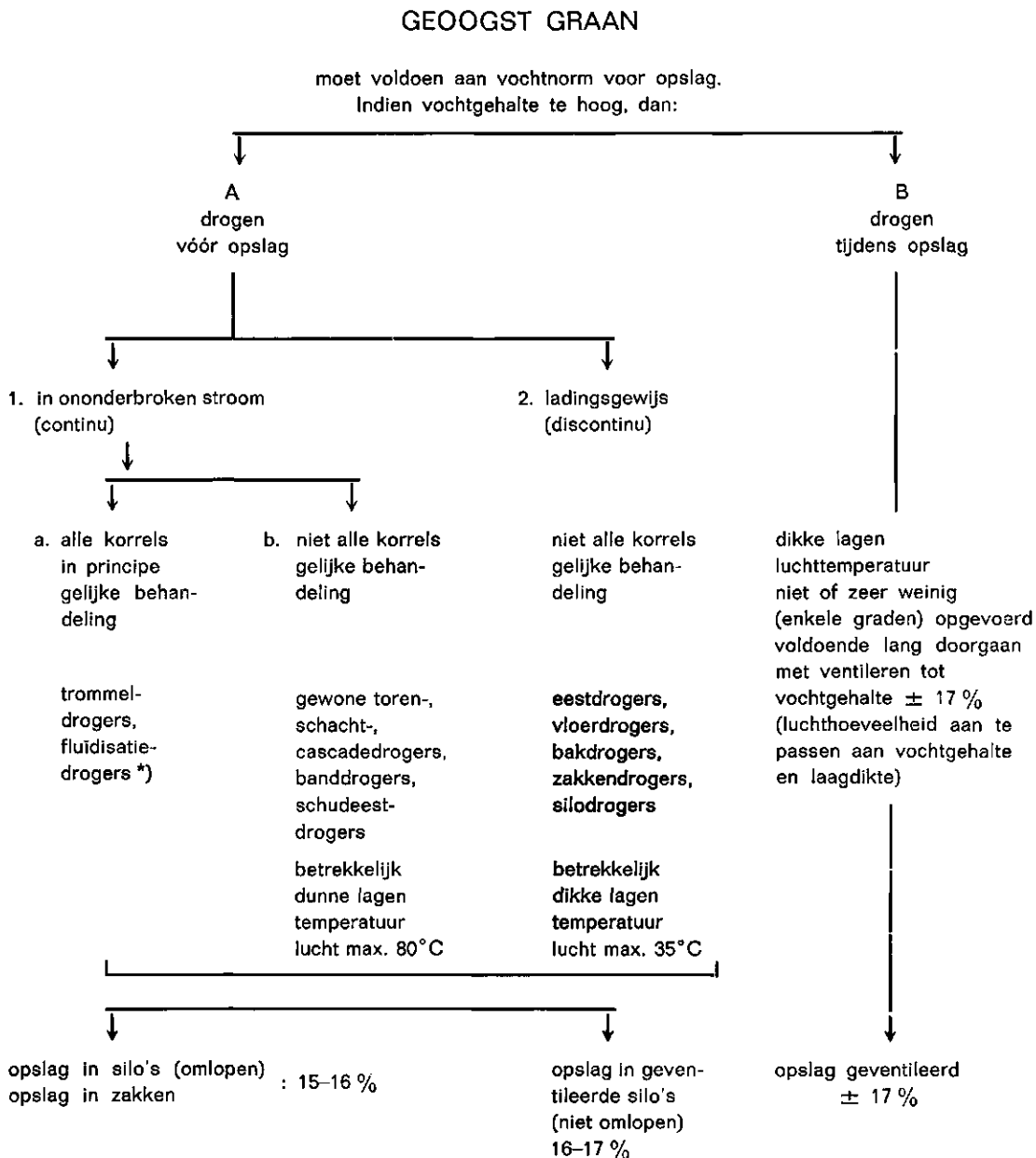
## 1.6 KEUZE VAN HET DROGERTYPE OP CENTRALE GRAANBEDRIJVEN

### 1.6.1 INDELING DROGERTYPEN

Indeling van droogsystemen voor centrale graanbedrijven.  
In tabel 40 vindt men de indeling in schema weergegeven.

TABEL 40

### INDELING GRAANDROOGSYSTEMEN OP CENTRALE BEDRIJVEN



\*) nog in het proefstadium.

In de gevallen van categorie A is er sprake van een voorbereiding (droging) vóór opslag. In het geval B wordt tijdens de opslag gedroogd.

Op centrale bedrijven werd en wordt in verreweg de meeste gevallen gedroogd volgens de methode A 1b. Drogers volgens dit principe kunnen van betrekkelijk eenvoudige constructie zijn. Dergelijke drogers zijn verticale doorstroomdrogers (cascadedrogers, drogers met „dakjes”, z.g. torendrogers e.d.). Het kenmerkende van deze drogers is, dat ze eenvoudig van constructie zijn en dat het graan in een laag ter dikte van  $\pm 14$  cm in dwarsstroom wordt gedroogd met verwarmde lucht, terwijl de luchtrichting nagenoeg éénzijdig is en het graan tijdens het drogen vrijwel niet wordt gemengd.

Bij het drogen in drogers van een min of meer industrieel type (categorie A) is vooral de temperatuurgevoeligheid van betekenis omdat men bij dergelijke drogers vaak de neiging heeft om ter vergroting van de capaciteit met de luchttemperatuur te ver te gaan.

Ladingsgewijs werkende graandrogers (A 2) komen voor bij kleinere bedrijven. Hierbij wordt als regel in dikkere lagen gedroogd dan bij de continu werkende drogers. Bovendien zijn de luchthoeveelheden (b.v. m<sup>3</sup> lucht per m<sup>3</sup> drogend graan per uur) veel geringer (met het oog op een economisch krachtverbruik). Daardoor is de verblijftijd (droogduur) langer. Als gevolg daarvan moet men met de temperatuur van de drooglucht op een lager peil blijven.

De verschillende typen drogers worden in het navolgende nader behandeld; hierbij is het de bedoeling om op enkele essentiële punten te wijzen.

## 1.6.2 TROMMELDROGERS

### 1. Algemene gezichtspunten

Trommeldrogers hebben draaiende trommels, voorzien van een binnenwerk, dat tot taak heeft het te drogen materiaal zo goed mogelijk over de trommeldoorsnede te verdelen, zodat de drooglucht met al het materiaal over de doorsnede in contact komt. In afbeelding 30 is schematisch een gelijkstroom-trommeldroger geschetst, in afbeelding 31 zijn enkele vormen van binnenwerken getekend.

Men kan het drogen van graan in een trommel in principe beschouwen als het drogen in een laag, met dien verstande, dat aan de „droge zijde” van de laag het materiaal steeds wordt weggenomen, terwijl aan de „natte zijde” van de laag steeds vers materiaal wordt toegevoegd.

Het gelijkstroomprincipe wordt bij het drogen van graan in trommels het meest aangetroffen. Tegenstroom is wat meer warmte-economisch, doch heeft het nadeel, dat het droogste materiaal met de warmste lucht in aanraking komt. Bij gelijkstroom komt het natste materiaal met de heetste lucht in aanraking, doch bij een goed gekozen luchthoeveelheid en een gelijkmatige doorstroming van materiaal kan de stijgende korreltemperatuur in een passende verhouding tot de dalende luchttemperatuur worden gehouden. Over de „laag”, dus in de lengterichting van de trommel, is er een temperatuur- en vochtgradiënt. Aangezien het materiaal zich in de richting van de lucht verplaatst (met de luchtrichting mee of tegen de luchtrichting in) krijgen de korrels in principe alle dezelfde behandeling.

Doordat men bij trommeldrogers heeft gezorgd voor een gedwongen gelijkmatige behandeling van het materiaal, zijn in principe hogere luchttemperaturen en kortere droogduren mogelijk dan bij de meer eenvoudige drogers die dwarsstroom toepassen. Toch dient men, vooral bij graan met wisselend vochtgehalte uiterst voorzichtig te zijn.

Bij trommeldrogers moet de koelinstallatie apart worden geplaatst. Deze kan bestaan uit een tweede trommel werkend met koude lucht of een koeler, die in principe als een verticale droger werkt, waarin het graan in lagen door eigen gewicht naar beneden zakt en waardoorheen in dwarsrichting koude lucht stroomt (dwarsstroom). Het feit dat de koelinstallatie constructief eigenlijk niet bij de trommel past, doet veel afbreuk aan een harmonisch geheel.

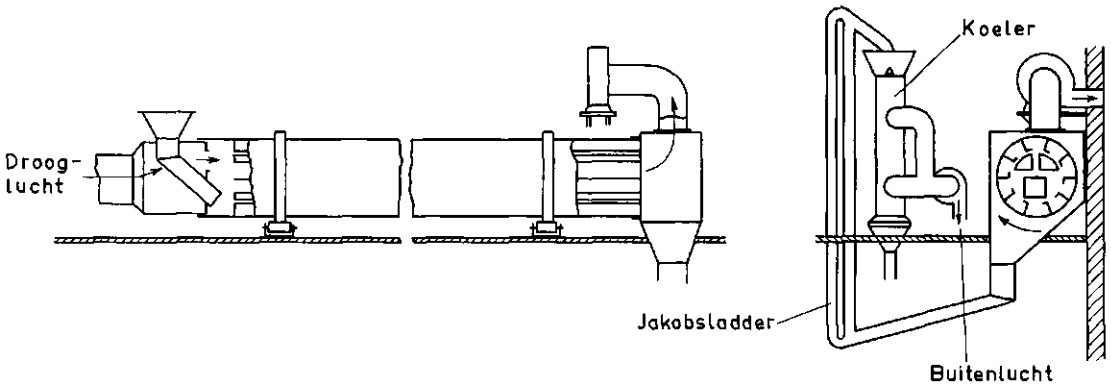
Vooraf omdat er bij trommeldrogers met een tamelijk hoge inlaattemperatuur van de lucht kan worden gewerkt, is er extra veel aandacht te besteden aan het installeren van een voldoende ruime koelcapaciteit. Bij het koelen wordt bovendien nog vrij veel vocht verdampt (soms tot 30% van de totaal te verdampen hoeveelheid). In de trommel vindt in dergelijke gevallen slechts een deel van de droging plaats; ze dient in zekere zin als vóórverwarmer en vóórdroger.

In afbeelding 32 is een constructie afgebeeld van een trommeldroger, voorzien van een binnenwerk, zoals dit ook wordt toegepast bij bepaalde typen Amerikaanse groenvoederdrogers. De droogweg wordt hierbij verlengd zonder de trommel langer te maken.

Trommeldrogers lenen zich in principe voor industrieel gebruik, waarbij het om het drogen van materialen met een constant, althans niet op korte termijn veranderend, vochtgehalte gaat. Voor het drogen van graan zouden ze in principe voor zeer grote bedrijven geschikt zijn; voor kleinere bedrijven, die wisselende en niet te grote partijen moeten drogen, lijken ze enigszins bezwaarlijk toe te passen.

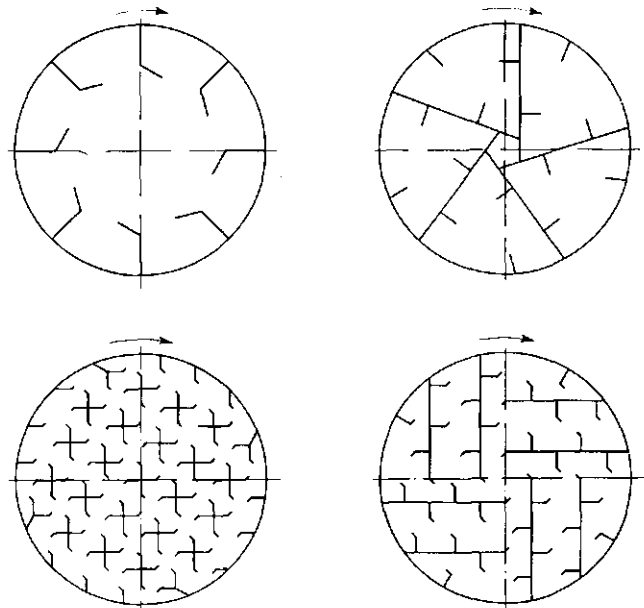
FIGUUR 30

EENVOUDIGE TROMMELDROGER, GELIJKSTROOM (BÖRGELING)



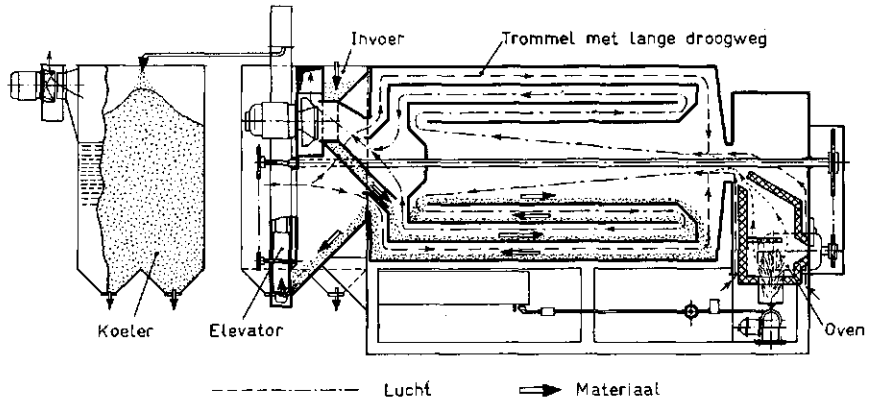
FIGUUR 31

VERSCHILLENDE TYPEN BINNENWERK (TROMMELDROGERS)



FIGUUR 32

TROMMELDROGER MET VERLENGDE DROOGWEG (EMCEKA)



Het hangt er nl. zeer van af of de luchthoeveelheid, gecombineerd met de luchttemperatuur is afgesteld op het beginvochtgehalte en de hoeveelheid toegevoerd produkt. De samenhang is nogal subtiel. Wanneer het gaat om het drogen van zaden heeft men het gevaar dat de korreltemperatuur te hoog wordt.

Bovendien hangt het er i.v.m. het drogen van zaden erg van af of de spreiding in de verblijftijd van de korrels in de trommel niet te groot is. Zijn er te veel „achterblijvers” dan zullen deze beschadigd worden. Hiermede samenhangend komt het zeer aan op een goede constructie van het binnenwerk.

Trommeldrogers zijn niet geschikt om zeer grote vochtonttrekkingen te bewerkstelligen. Bij één doorvoer moet men op een wateronttrekking van b.v. max. 4% rekenen.

Voor het drogen van b.v. graan is het bij een goede constructie mogelijk met vrij hoge luchtinlaattemperaturen te werken. Voorwaarde is dat men te doen heeft met een graan- of zaadsoort die betrekkelijk gemakkelijk vocht afgeeft (zie A 3.4). Voor langzaam drogende zaadsoorten (b.v. peulvruchten etc.) zijn dergelijke drogers in principe niet geëigend.

## 2. Capaciteit van trommeldrogers

Bij een trommel met schoepen is de inhoud aan materiaal ongeveer 1/10 deel van de trommelinhoud. Bij trommels met een binnenwerk kan de materiaalinhoud groter zijn, t.w. 2/10 à 3/10 deel.

De luchthoeveelheid kan men stellen op ongeveer 2500 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> in behandeling zijnd materiaal per uur (als lucht van kamertemperatuur gerekend).

De netto droogtijden kunnen dan bij een normaal drogende zaadsoort, zoals tarwe, voor een vochtonttrekking van ± 5% (inclusief koelen) gesteld worden op de volgende waarden:

bij 110° C inlaattemperatuur ± 48 minuten

	lucht		
„ 120° C	„	„ 42	„
„ 130° C	„	„ 38	„
„ 140° C	„	„ 34	„
„ 150° C	„	„ 30	„
„ 200° C	„	„ 22	„
„ 250° C	„	„ 16	„

Hierbij wordt een deel van de indroging in de koeler bewerkstelligd, welk deel groter wordt naarmate de droogluchttemperatuur hoger is.

### 3. Krachtverbruik bij trommeldrogers

Het geïnstalleerd vermogen bedraagt ongeveer  $6\frac{1}{2}$  kW per ton uurcapaciteit voor kleine drogers en 5 kW per ton uurcapaciteit voor grote drogers.

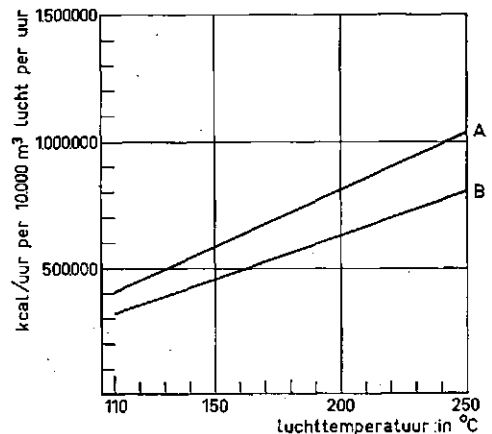
### 4. Brandstofverbruik bij trommeldrogers

Dit hangt samen met de mate van opwarming van de lucht en met het feit of men een direct gestookte of een indirect gestookte luchtverhitter toepast (zie figuur 33).

FIGUUR 33

### TE VERWACHTEN BRANDSTOFVERBRUIK BIJ TROMMELDROGERS IN KCAL PER UUR PER 10.000 M<sup>3</sup> DROOGLUCHT PER UUR

- A = indirect gestookte verhitters
- B = direct gestookte verhitters



### 5. Voorbeelden (trommeldrogers).

#### 1. Gegeven:

Een trommeldroger met diameter 1 m, lang 6 m met schoepen. Men wil graan drogen bij een inlaattemperatuur van de lucht van  $150^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5\%$  indroging) (indirecte verhitting).

Gevraagd:

Een globaal idee omtrent capaciteit, benodigde koeler, kracht en brandstofverbruik.

Antwoord:

Inlaattemperatuur  $150^{\circ}\text{C}$ . Droogduur 30 min.

Inhoud droger bruto:  $\frac{\pi}{4} \cdot 1^2 \cdot 6 = 4.7 \text{ m}^3$ .

Inhoud aan materiaal (schoepen)  $0.1 \cdot 4.7 = 0.47 \text{ m}^3$ .

Gewicht materiaal in de trommel:  $700 \cdot 0.47 = \pm 350 \text{ kg}$ . Deze hoeveelheid wordt gedroogd in 30 min. Capaciteit dus: 700 kg per uur.

Benodigde luchthoeveelheid:  $2500 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan.

Inhoud droger:  $350 \text{ kg} = \pm 0.5 \text{ m}^3$ . Er is dus  $0.5 \cdot 2500 = 1250 \text{ m}^3$  lucht per uur nodig. (Berekend als bij kamertemperatuur).

De benodigde koelinstallatie kan berekend worden aan de hand van: 1. 6. 3. 2.

Als er aan lucht  $2500 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  koelend graan wordt toegepast is de koelduur 45 min. (tabel 41).

De netto inhoud van de koelzone wordt dus:  $\frac{45}{60} \cdot 700 = 525 \text{ kg} = \pm 0.8 \text{ m}^3$ .

De hoeveelheid koellucht wordt:  $0.8 \cdot 2500 = 2000 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

Geïnstalleerd vermogen:

Globaal te stellen op:  $0.7 \cdot 6.5 = 4.5 \text{ KW}$  of ruim 6 pK (kleine droger).

Brandstofverbruik (zie figuur 33).

Dit wordt (indirecte verhitter)  $\frac{1250}{10000} \cdot 580000 = \pm 72000 \text{ kcal/ur}$ .

## 2. Gegeven:

Een trommeldroger met diameter 2 m, lang 8 m, met goed binnenwerk over de gehele doorsnede. Men wil consumptiegraan drogen bij een inlaattemperatuur van de lucht van 250° C (directe verhitte). De vochtonttrekking moet 5 % zijn.

Gevraagd:

Een globaal idee omtrent capaciteit, benodigde koeler, kracht- en brandstofverbruik.

Antwoord:

Men droogt consumptiegraan. Inlaattemperatuur 250° C. Netto droogduur 16 min. (5 % indroging incl. koelen).

$$\text{Inhoud droger bruto: } \frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \cdot 8 = 25 \text{ m}^3.$$

$$\text{Inhoud aan materiaal (binnenwerk)} 0.2 \cdot 25 = 5 \text{ m}^3.$$

Gewicht materiaal in de trommel:  $700 \cdot 5 = \pm 3500 \text{ kg}$ . Deze hoeveelheid wordt in de trommel vóórgedroogd in 16 min. *Capaciteit dus:*  $\frac{60}{16} \cdot 3500 = 13000 \text{ kg/uur}$ .

Benodigde luchthoeveelheid (drooglucht): 2500 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> in behandeling zijnd materiaal, dus 2500 · 5 = 12500 m<sup>3</sup>/uur (kamertemperatuur).

De koeler moet 13 ton per uur kunnen koelen. Deze is dus van de grootte van een koelgedeelte van een verticale doorstroomdroger van deze capaciteit, m.a.w. de koeler is een apparaat van grote afmetingen.

Als men koelt met een luchthoeveelheid van 3750 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> koelend graan per uur (zie 1.6.3.2.) is de koelduur 30 min. (tabel 41). De netto inhoud van de koeler wordt dus:

$$\frac{30}{60} \cdot 13 \text{ ton} = 6.5 \text{ ton} = \pm 8.5 \text{ m}^3.$$

$$\text{De hoeveelheid koellucht is: } 8.5 \cdot 3750 = 32000 \text{ m}^3/\text{uur}.$$

Geïnstalleerd vermogen: globaal te stellen op: 13.5 = 65 kW (± 87.5 pk).

Brandstofverbruik (zie figuur 33).

$$\text{Dit wordt (directe verhitte)} \frac{12500}{10000} \cdot 800000 = 1.000.000 \text{ kcal/uur}.$$

## 1.6.3 CONTINU IN DWARSSTROOM WERKENDE VERTICALE DOORSTROOMDROGERS

### 1. Algemene gezichtspunten

Verticale drogers, waarbij het graan van boven naar beneden zakt en in dwarsstroom wordt gedroogd en gekoeld, komen het meest voor. Ze zijn constructief het gemakkelijkst te verwezenlijken. Het koelgedeelte is ondergebracht in het onderste deel van de droger. Ook de koellucht stroomt in dwarsstroom.

De allereenvoudigste drogers van de sub B genoemde categorie uit tabel 40 hebben verticale graanschachten tussen geperforeerde platen. Evenals bij andere verticale drogers wordt de snelheid van graandoorstroming geregeld bij de uitlaat van de droger onder aan de koelzone. Figuur 34 geeft een voorbeeld van een droger volgens dit principe.

Men heeft hierbij een eenzijdige luchttrichting en geen menging van het graan.

Bij pogingen om meer „actieve” droogruimte te scheppen, is men bij een bepaalde categorie drogers gekomen tot hellende, geperforeerde platen. Men krijgt dan de z.g. cascadedrogers. In figuur 35 ziet men het principe van een dergelijke droger geschetst.

In de koelzone is de laag dunner dan in de droogzone. Ook bij deze droger is de luchttrichting eenzijdig. Het mengen in de zig-zag-lagen kan worden verwaarloosd.

Een bezwaar is, dat de perforatie van deze drogers, zoals bij alle drogers met geperforeerde platen, wel eens verstopt raakt. Ook is de stroming van het produkt i.v.m. dode hoeken en wrijving niet ideaal.

Een andere categorie verticale drogers is voorzien van dakjes die zich in de drogeruimte bevinden. Daardoor vormt het graan bij het zakken aparte stromen, die elkaar telkens raken en dan weer zijdelings (zig-zag) afbuigen. De dakjes vormen kanalen voor toe- en afvoer van de drooglucht.



In de afbeeldingen 36, 37 en 38 ziet men voorbeelden van verschillende vormen van dergelijke dakjes getekend. Een voordeel van deze drogers is, dat ze gemakkelijk geheel kunnen leeglopen en dat er geen geperforeerde platen aanwezig zijn, die kunnen verstoppen. De luchtdoorstroming door de zig-zag-lagen is min of meer eenzijdig, mengen van graan in de stromen is te verwaarlozen. Dit kan als nadeel worden aangemerkt, evenals bij de hierboven genoemde typen cascadedrogers.

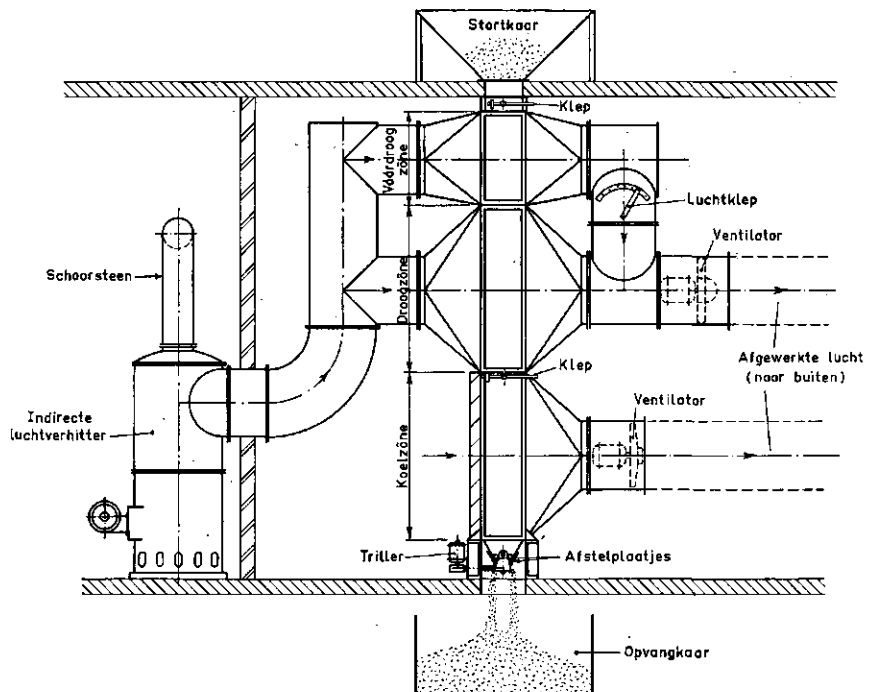
Een ander nadeel, zowel bij cascadedrogers als bij drogers met dakjes, kan zijn, dat men bij de constructie niet genoeg aandacht heeft geschonken aan de luchtverdeling over de cascades of de dakjes. Bij sommige drogers zijn de luchtaansluitingen zodanig, dat een goede luchtverdeling stromings-technisch gezien onmogelijk is. De hier geschetste moeilijkheden houden verband met het streven naar kleine afmetingen van de droger en een goedkope constructie.

Bij de verticale doorstroomdrogers moet er goed op gelet worden dat het uitstromen van het gedroogde gekoelde produkt gelijkmatig over de gehele doorsnede plaatsvindt. Het samenvoegen van graanstromen, zoals in figuur 35, biedt de kans op ongelijkmatige doorstroming. Een stel schommelschuiwen, verdeeld over de gehele doorsnede, verzekert in dit opzicht een goede werking.

Een tamelijk veel voorkomend euvel heeft te maken met een ondoelmatig ingerichte toe- en afvoer van de lucht waardoor plaatselijke temperatuurverschillen in de droger in de hand worden gewerkt. Bij bepaalde typen Russische drogers (26) heeft men hieraan veel aandacht besteed. Ook enkele Duitse drogers zijn in dit opzicht goed geconstrueerd (27).

FIGUUR 34

VERTICALE SCHACHTDROGER (RIETBERG)



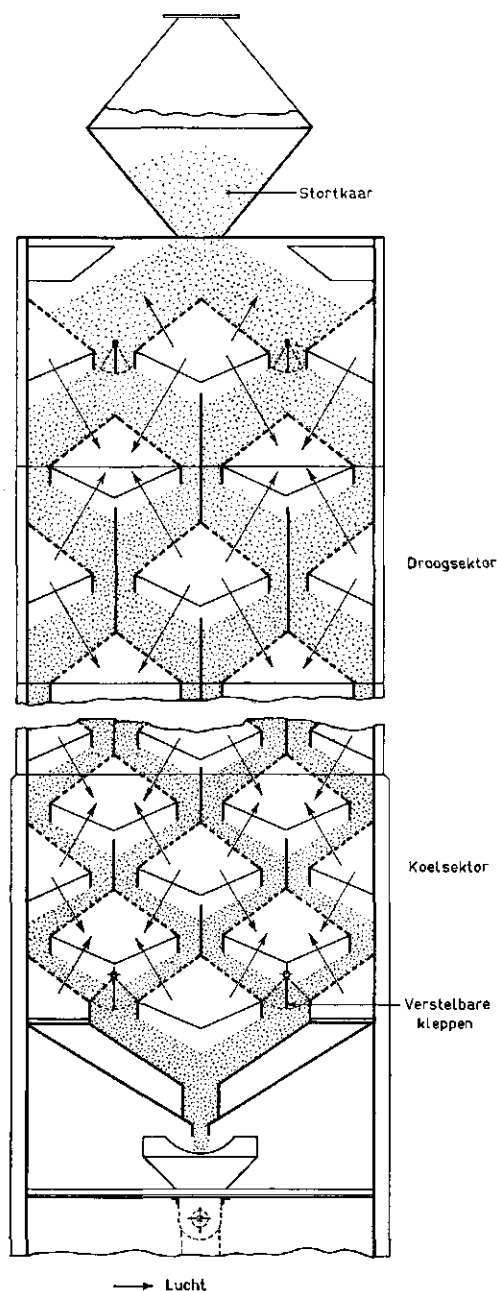
Enkele bezwaren verbonden aan het in dwarsstroom drogen, heeft men bij bepaalde typen getracht te verminderen en gepoogd de luchtrichting periodiek om te keren of toch enige menging in de graankolom te bewerkstelligen. Er zijn soms schuine platen aangebracht, waarvan wordt verwacht dat daardoor een periodieke menging van het graan

zal ontstaan. Bij doorstromsnelheden, zoals deze in drogers voorkomen, zal er van een menging evenwel niet veel zijn te bespeuren.

Beter is een uitvoering, waarbij de zakkende graanstream op enkele plaatsen door een roterende inrichting doorengemengd wordt (figuur 39).

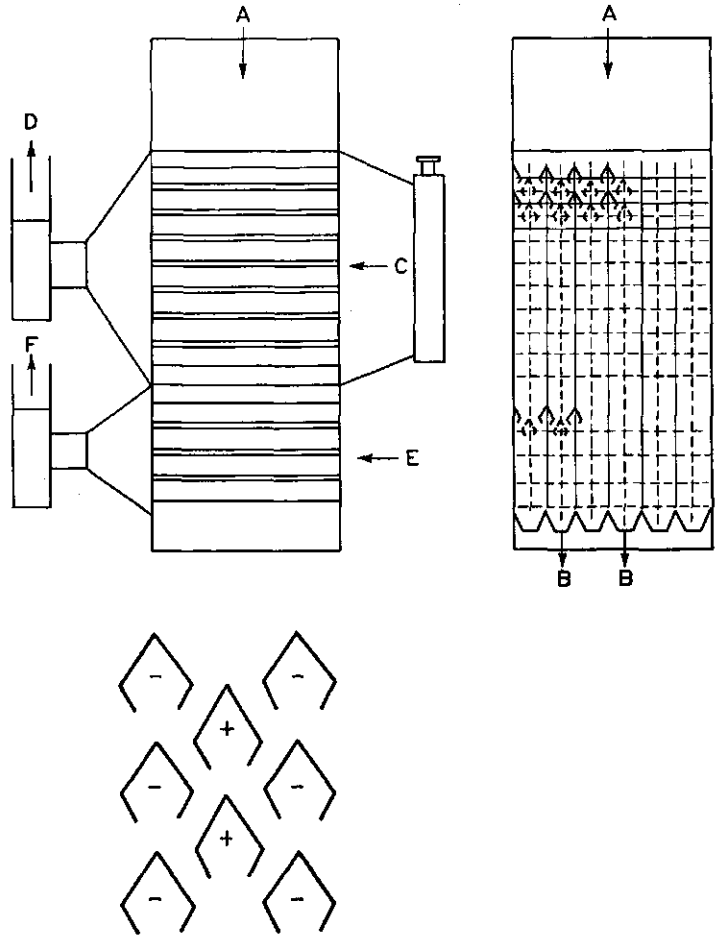
Sommige fabrikanten bouwen drogers, waarin de dakjes groepsgewijs kruislings zijn ingebouwd. Figuur 40 toont het principe van een dergelijke droger. Hiermee bereikt men, dat de graansoorten periodiek verdeeld en anders gegroepeerd worden. Een zekere verbetering is dit ongetwijfeld. Drogers als van figuur 41 zijn in de Verenigde Staten in gebruik; ze staan soms in de buitenlucht opgesteld.

FIGUUR 35  
 CASCADEDROGER (VAN OPSTAL, PLEVIER)



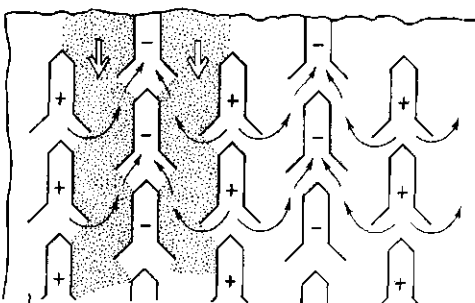
FIGUUR 36

DROGER MET DAKJES (SLUIS - MORRIS)



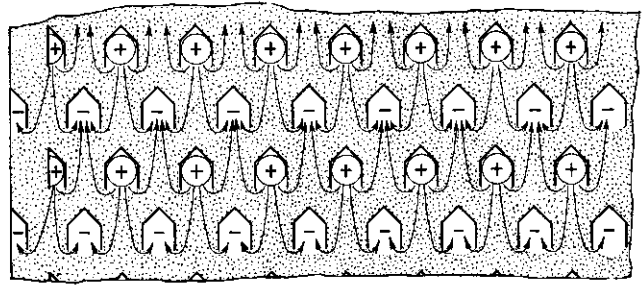
FIGUUR 37

DAKJES IN DROGER (RANDOLPH)



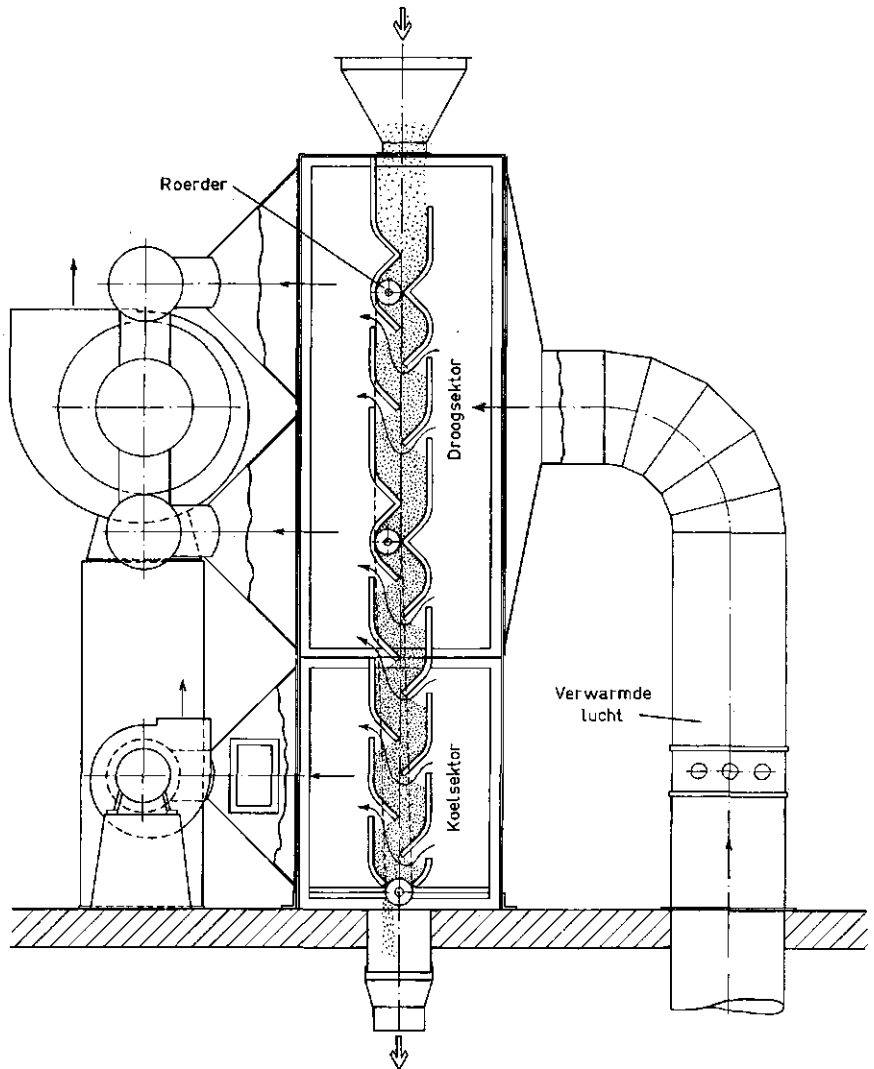
FIGUUR 38

DAKJES IN DROGER (HESS - KVARNMASKINER)



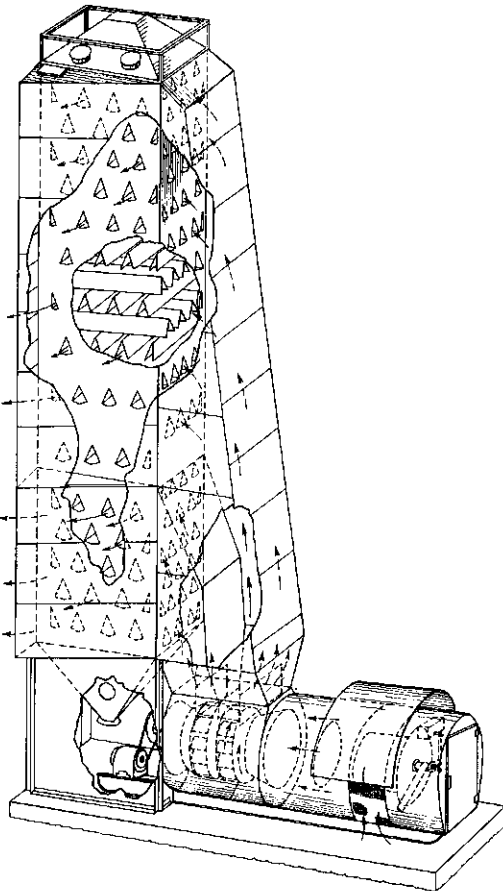
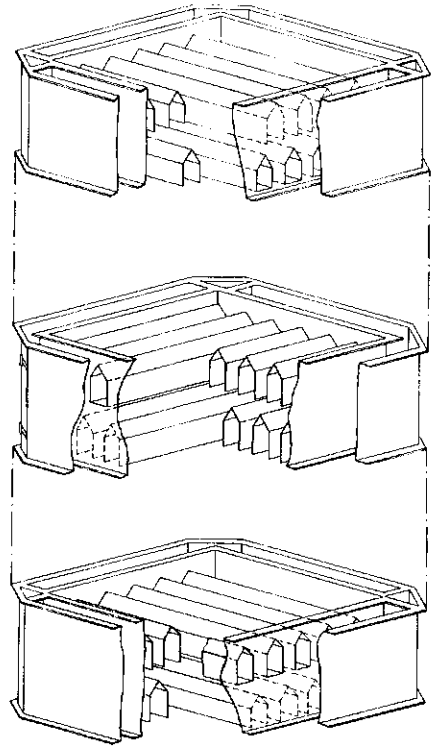
FIGUUR 39

SCHACHTDROGER MET ROEDERS (WILJÄK)



FIGUUR 40

KRUISLINGS GEPLAATSTE DAKJES (ALDERSLEY)



FIGUUR 41

KRUISLINGS GEPLAATSTE DAKJES (CAMPBELL)

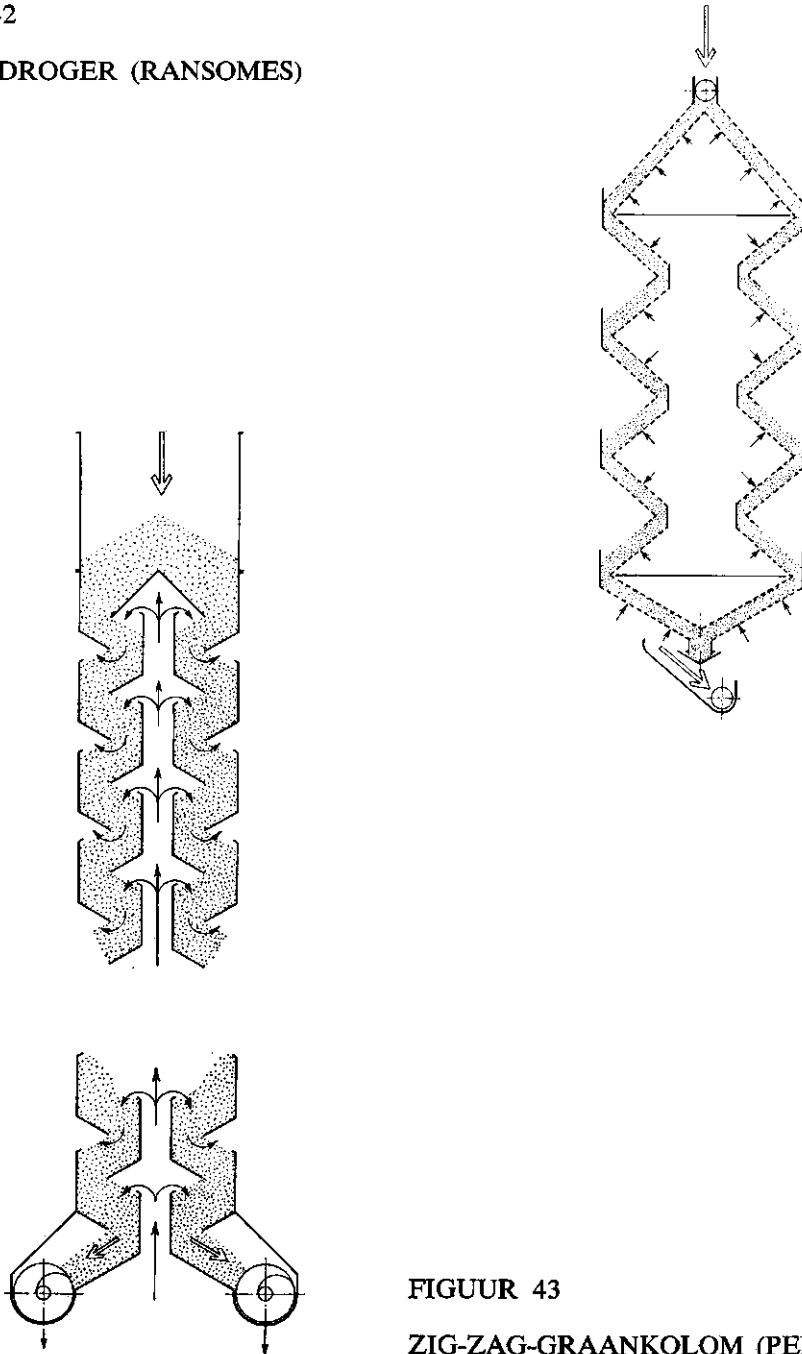
Bij de tot dusver behandelde verticale doorstroomdrogers werd de afgewerkte lucht opgevangen en uit het gebouw gevoerd (waarbij de droger volgens afb. 41 een uitzondering kan vormen).

Er is ook een categorie eenvoudiger geconstrueerde verticale doorstroomdrogers hetzij cascade-, hetzij dakjestyle, waarbij de afgewerkte drooglucht in het gebouw terecht komt. Indien dit geen bezwaar oplevert, hetgeen overigens in vele gevallen wel het geval zal zijn, zijn deze drogers toe te passen.

De figuren 42, 43 en 44 geven in principe voorbeelden van dergelijke verticale doorstroomdrogers.

FIGUUR 42

CASCADEDRAGER (RANSOMES)

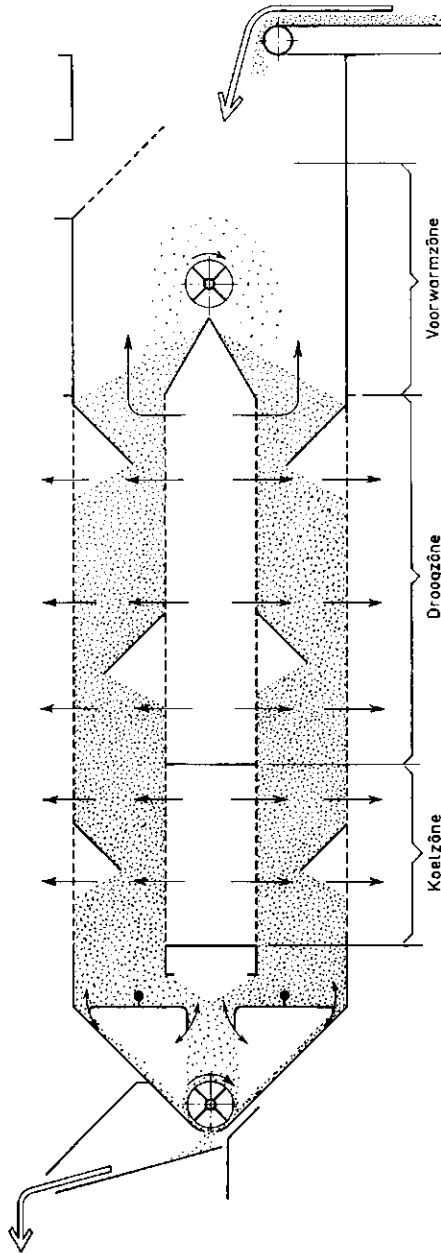


FIGUUR 43

ZIG-ZAG-GRAANKOLOM (PERFECT)

FIGUUR 44

SCHACHTDROGER (MATHUR EN PLATT)



### CONTACTVERWARMING IN VERTICALE DOORSTROOMDROGERS

In bepaalde gevallen wordt een deel van de benodigde warmte, vooral die, nodig om het graan te verwarmen, door contact overgebracht. Dit gebeurt b.v. in verticale drogers waarin warmwaterelementen zijn ingebouwd, die warmte door contact op de korrels overbrengen (figuur 45). De korrels worden zodoende verwarmd zonder dat ze drogen; daardoor wordt bewerkstelligd, dat het vochttransport in de korrel zelf wordt vergemakkelijkt. Men kan b.v. een contactverwarmingszone afwisselen met een zone waarin lucht door het graan wordt geblazen.

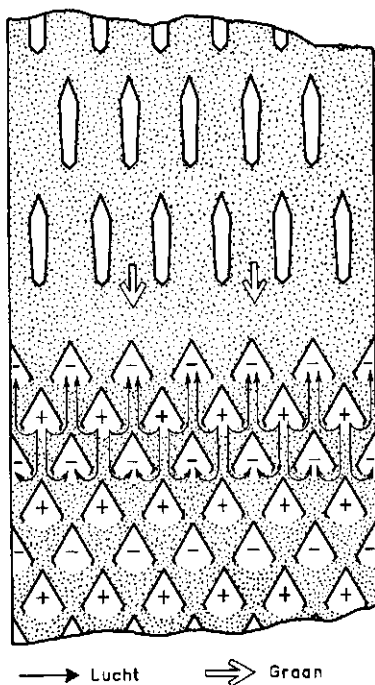
Drogers met stoom- of warmwaterelementen voor contactverwarming zijn uiteraard nogal duur. Dergelijke drogers laten een zeer goede temperatuurregeling toe en zijn geschikt voor grote bedrijven. Wel moet men voorzichtig zijn met het voorwarmen door contact, dus verwarmen zonder te drogen. Verwezen kan worden naar tabel 29, waaruit de temperatuurgevoeligheid van vochtige zaden blijkt. As men dus niet verzekerd is van een perfecte temperatuurregeling moet men met een contactverwarming oppassen, als het om zaaigoed of brouwergerst gaat. Aanbevolen moet worden de watertemperatuur voor de contactverwarming niet hoger te kiezen dan  $\pm 45-50^{\circ} \text{C}$ . Het is niet aan te bevelen om het water (b.v. van  $90-95^{\circ} \text{C}$ ), dat voor de luchtverhitters wordt gebruikt, ook toe te passen voor contactverwarming.

Er zijn ook drogers waarbij contactverwarming wordt toegepast door middel van elementen waardoor verhitte lucht wordt gevoerd (27).

De hierboven gegeven waarschuwingen gelden ook voor dergelijke drogers.

FIGUUR 45

VERWARMINGSELEMENTEN IN VERTICALE DROGER (SLUIS - MIAG - KVARNMASKINER)



2. Capaciteit van verticale doorstroomdrogers

Droogduur - koelduur.

Op grond van laboratoriumdroogproeven, verricht op het IBVL, kunnen de te verwachten netto droogduren voor deze drogers worden vastgesteld overeenkomstig de waarden, opgenomen in tabel 41.

Voor de benodigde koelduur kan men 22, 30 en 45 minuten rekenen bij respectievelijk 5000, 3750 en 2500 m<sup>3</sup> koellucht per m<sup>3</sup> koelend graan per uur. Verschillen door hogere of lagere luchttemperaturen resulterend in hogere of lagere gemiddelde korreltemperaturen na het drogen en vóór het koelen worden gecompenseerd omdat bij de hogere luchttemperaturen meer vocht wordt verdampt bij het koelproces, hetgeen tot het koelen bijdraagt.



NETTO TE VERWACHTEN DROOGDUREN IN MINUTEN (ZONDER KOELEN) TARWE EN GERST  
BIJ VERTICALE DOORSTROOMDROGERS

Luchttemperatuur	Luchthoeveelheden m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> graan per uur										Netto droogduur (zonder koelen) in minuten			
	5000	3750	2500	5000	3750	2500	5000	3750	2500	5000		3750	2500	
40° C	180	240	360	150	225	300	120	180	240	300	120	180	240	
50° C	115	154	230	100	134	200	80	107	160	200	80	107	160	
60° C	85	113	170	74	98	148	60	80	120	148	60	80	120	
65° C	78	104	156	65	87	130	53	71	106	130	53	71	106	
70° C	68	91	136	57	76	114	47	63	94	114	47	63	94	
80° C	56	75	112	46	62	92	38	51	76	92	38	51	76	
90° C	48	64	96	39	52	78	32	43	64	78	32	43	64	
100° C	42	56	84	34	45	68	27	36	54	68	27	36	54	
										24 %	22 %	20 %		
										Beginvochtgehalte				

Opmerking: getaxeerde koelduren . bij 5000 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> graan per uur 22 min.

. bij 3750 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> graan per uur 30 min.

. bij 2500 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> graan per uur 45 min.

Grootte van de droger.

Voor het berekenen van de grootte lijkt het het eenvoudigst om deze uit te drukken in  $m^3$  inhoud aan graan of in een aantal tonnen graan dat de droger kan bevatten.

Wenst men een capaciteit van  $x$  ton per uur en is de verblijftijd b.v. 1.5 uur (drogen + koelen) dan moet de inhoud van de droger  $1.5 \cdot x$  ton zijn.

### 3. Kracht- en warmteverbruik bij verticale doorstroomdrogers

Het krachtverbruik hangt ermee samen of men de afgewerkte lucht door een cycloon afvoert of niet. Verder met de hoeveelheid lucht per  $m^3$  graan per uur en met de laagdikte, met toepassing van geperforeerde platen etc.

Het te installeren vermogen komt volgens praktijkgegevens gemiddeld op ongeveer  $4\frac{1}{4}$  kW per ton uurcapaciteit (5.8 pk).

Een taxatie kan als volgt luiden:

drooglucht:

luchthoeveelheid	met cyclonen	zonder cyclonen
5000 $m^3/m^3$ /uur	11 kW/10000 $m^3$ lucht uur	$5\frac{1}{2}$ kW/10000 $m^3$ lucht uur
3750 „	$8\frac{1}{2}$ „	4 „
2500 „	6 „	3 „

koellucht 85% van bovengenoemde waarden.

Voor drogers met z.g. directe verhitting (mengen verbrandingsgassen met lucht) is het warmteverbruik  $\pm 260000$  kcal/uur per 10000  $m^3$  lucht die per uur naar de droogzone wordt gevoerd (voor baktarwe). Bij brouwergerst wordt dit cijfer 200000 kcal/uur. Voor drogers met z.g. indirecte verhitting van de lucht is dit cijfer  $\pm 310000$  kcal/uur (baktarwe) resp. 250000 kcal/uur (brouwergerst).

### 4. Voorbeelden (verticale doorstroomdrogers)

a. Gegeven:

Men wenst brouwergerst te drogen in een verticale doorstroomdroger met een luchttemperatuur (passend voor brouwergerst) van  $65^\circ C$ . De capaciteit moet 10 ton per uur zijn bij 20—15 % vochtonttrekking.

Als luchthoeveelheid wordt voor het drogen 3750  $m^3$  per  $m^3$  drogend graan gekozen en voor het koelen 5000  $m^3$  per  $m^3$  koelend graan.

Gevraagd:

Een globaal idee omtrent de grootte van de droger, het te installeren vermogen en het warmteverbruik.

Antwoord:

Grootte droger

In tabel 41 vindt men een *droogduur* ( $65^\circ C$  - 3750  $m^3$   $\infty$  uur - 20—15 %) van 71 minuten.

De koelduur zal 22 minuten zijn (5000  $m^3/m^3$ /uur). Totale verblijfsduur dus  $71 + 22 = 93$  min.

De netto inhoud van de droger dient dus te zijn  $\frac{93}{60} \cdot 10 = \pm 15.5$  ton gerst = ( $\pm 22 m^3$ ), waarvan  $\pm 12$  ton ( $17 m^3$ ) voor de droogzone en  $\pm 3.5$  ton ( $5 m^3$ ) voor de koelzone.

Luchthoeveelheid

De benodigde hoeveelheid drooglucht wordt  $17 \cdot 3750 = 64000 m^3$  per uur. De benodigde hoeveelheid koellucht moet zijn  $5 \cdot 5000 = 25000 m^3$ /uur (alles gerekend op kamertemperatuur).

Geïnstalleerd vermogen (gerekend op cyclonen)

$$\text{Voor de droogzone: } \frac{64000}{10000} \cdot 8.5 = 54 \text{ kW} = \pm 74 \text{ pk}$$

$$\text{Voor de koelzone: } \frac{25000}{10000} \cdot \frac{85}{100} \cdot 11 = 23 \text{ kW} = \pm 31 \text{ pk}$$

Brandstofverbruik

Aannemende dat er gewerkt wordt met een direct gestookte olieoven als luchtverhitter, moet gerekend worden op de mogelijkheid van een brandstofverbruik van:  $\frac{64000}{10000} \cdot 200000 = \pm 1.300.000$  kcal/uur.

b. Gegeven:

Men wenst baktarwe te drogen van 20—15 % in een verticale doorstroomdroger. Luchttemperatuur passend bij baktarwe max. 80° C. De capaciteit moet 15 ton per uur zijn.

Luchthoeveelheid voor drogen 3750 m<sup>3</sup>, voor koelen eveneens 3750 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> in bewerking zijnd graan per uur.

Gevraagd:

Globaal idee omtrent grootte droger, te installeren vermogen, brandstofverbruik.

Antwoord:

Grootte droger

In tabel 41 vindt men voor de netto droogduur (80° C - 3750 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> per uur - 20—15 %) 51 minuten.

De koelduur zal 30 minuten zijn (3750 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur).

Totale verblijfsduur 51 + 30 = 81 minuten.

De netto inhoud van de droger dient dus te zijn:  $\frac{81}{60} \cdot 15 = \pm 20$  ton tarwe ( $\pm 27$  m<sup>3</sup>), waarvan 13 ton (17 m<sup>3</sup>) voor de droogzone en (10 m<sup>3</sup>) voor de koelzone.

Luchthoeveelheid

Drooglucht 17 · 3750 = 64000 m<sup>3</sup> per uur.

Koellucht: 10 · 3750 = 37500 m<sup>3</sup> per uur (alles gerekend op kamertemperatuur).

Geïnstalleerd vermogen (gerekend op cyclonen)

$$\text{Voor de droogzone: } \frac{64000}{10000} \cdot 8.5 = 54 \text{ kW} = 74 \text{ pk}$$

$$\text{Voor de koelzone: } \frac{37500}{10000} \cdot \frac{85}{100} \cdot 8.5 = 27 \text{ kW} = 37 \text{ pk}$$

Brandstofverbruik (direct gestookte verhitter)

$$\frac{64000}{10000} \cdot 260000 = 1.650.000 \text{ kcal/uur}$$

#### 1.6.4 BANDDROGERS, SCHUDEESTROGERS

Deze drogers werken continu; het graan wordt gedroogd in een zich verplaatsende laag. Evenals bij de verticale doorstroomdrogers wordt in dwarsstroom gedroogd.

Voor consumptiegraan mag de luchttemperatuur niet hoger zijn dan 80° C, voor brouwergerst en voor zaaigranen ook bij deze continu werkende drogers nimmer hoger dan 65° C.

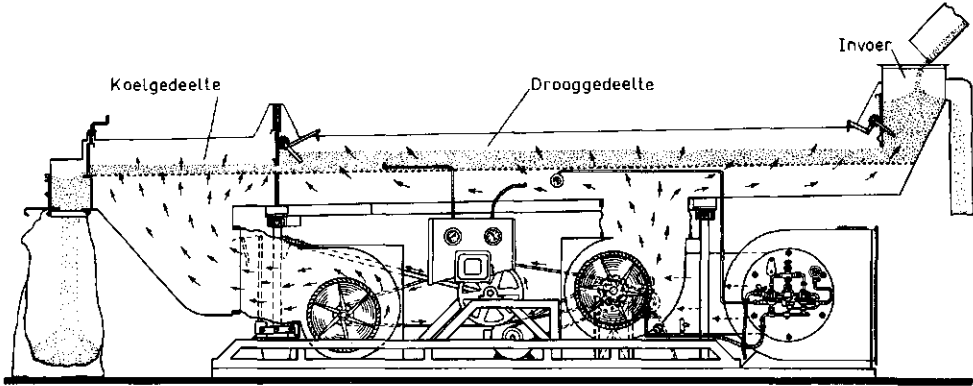
In figuur 46 is een schudeestdroger afgebeeld, werkend met direct verhitte (oliebrander) lucht. De afgewerkte lucht komt bij deze drogers in de ruimte waarin de droger staat opgesteld. Dit levert meestal bezwaren op zodat men voorzieningen moet treffen door een wasemkap met afzuiging toe te passen.

De droger leent zich bij het drogen van consumptiegraan voor vochtonttrekkingen van 3—4%.

Banddrogers worden i.v.m. de plaatsruimte niet veel toegepast.

FIGUUR 46

SCHUDEESTDROGER (GASCOIGNE)



Metingen aan een droger als van afb. 46, breedte 1.53 m, lengte droogzone 4.55 m, lengte koelzone 1.75 m, 10 pk aandrijfmotor, gaven aanleiding tot het opstellen van het volgende overzicht aangaande capaciteit en brandstofverbruik:

80° C	luchttemperatuur	2000 kg per uur	20%—15.2%
		3000	„ 20%—17.0%
60° C	„	2000	„ 20%—16.4%
		3000	„ 20%—17.9%

Olieverbruik 21 liter per uur bij 80° C als luchttemperatuur.

## 1.7 GEVENTILEERDE BEWARING IN DE PRAKTIJK OP CENTRALE GRAAN-BEDRIJVEN

### 1.7.1 INLEIDING

Voor de praktijk van de centrale bedrijven zijn de volgende varianten van geventileerde bewaring van belang:

1. Het definitief geventileerd bewaren van granen met een vochtgehalte van 17—18% in najaar, winter en voorjaar.
2. Het tijdelijk bewaren van te vochtig graan (21—24% vocht) in afwachting van het drogen.
3. Het tijdelijk geventileerd bewaren van onvoldoende droog graan (19—20%) in afwachting van het drogen.
4. Het definitief opslaan, tevens langzaam drogen tijdens deze opslag van granen met 18—20% vocht.

De grondslagen hiervan zijn behandeld in A 2.5 In het volgende zal meer op de techniek en de uitvoering worden ingegaan, die op een zo eenvoudig mogelijke wijze worden behandeld (hier en daar tamelijk vereenvoudigd).

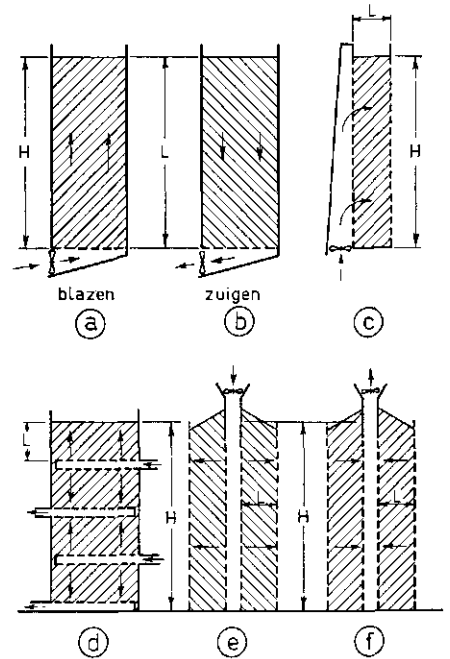
Praktische voorbeelden zullen worden gegeven.

## 1.7.2 VERSCHILLENDE VARIANTEN VAN DOORVOER VAN DE VENTILATIETLUCHT

In figuur 47 zijn verschillende varianten in principe aangegeven.

Deze figuren behoeven geen nadere toelichting, ze spreken voor zichzelf. Men ziet dat er onderscheid gemaakt kan worden tussen storthoogte en „laagdikte”. Onder „laagdikte” wordt verstaan de afstand die de lucht door het produkt moet afleggen.

Het streven naar een kleine „laagdikte” hangt samen met de wens om de luchtverplaatsing met een zo gering mogelijk krachtverbruik te bewerkstelligen.



FIGUUR 47

### VERSCHILLENDE VARIANTEN VAN DOORSTROMING VAN DE LUCHT BIJ VENTILATIE VAN GRAAN

$L$  = AFSTAND WAAROVER DE LUCHT DOOR HET GRAAN STROOMT („LAAGDIKTE”)

$H$  = STORTHOOGTE

Opmerking: de varianten c en d komen zelden voor, doch zijn in principe mogelijk.

## 1.7.3 DE LUCHTWEERSTAND BIJ HET VENTILEREN

De lucht, die door een systeem geblazen wordt ondervindt een weerstand. Deze weerstand kan worden gedacht te zijn opgebouwd uit drie delen, t.w.:

- de weerstand van het toevoersysteem
- de weerstand van het verdeelsysteem
- de weerstand van de graanlaag zelf

Een bepaald systeem (bestaande uit toevoerleidingen, luchtverdeling en partij graan) heeft t.a.v. de toevoer van de lucht bepaalde eigenschappen. Ook de ventilator die de

lucht moet leveren heeft bepaalde eigenschappen. Het gaat erom het zo in te richten, dat de eigenschappen van systeem en ventilator goed aan elkaar zijn aangepast.

In het navolgende zal op e.e.a. nader, ook aan de hand van voorbeelden, worden ingegaan.

### 1. De luchtweerstand van de toevoerleidingen van de lucht

#### LUCHTSNELHEID

Als een luchthoeveelheid van  $Q$  m<sup>3</sup> per uur door een buis met een netto doorsnede van  $O$  m<sup>2</sup> stroomt is de snelheid in de buis  $\frac{Q}{O}$  m per uur. Om de snelheid per minuut te

weten moeten we delen door 60, de snelheid is dus  $\frac{Q}{60 \cdot O}$  m/min. (of  $\frac{Q}{3600 \cdot O}$  m/sec.).

#### DYNAMISCHE DRUK (P DYN)

Zelfs al zou de lucht in de buis in het geheel geen weerstand ondervinden dan zal er toch een bepaalde luchtdruk nodig zijn (eigenlijk een drukverschil) om de luchtsnelheid in de buis te onderhouden. Deze druk hangt samen met de snelheid (is evenredig met het kwadraat van de snelheid).

Als we de druk in kg/m<sup>2</sup> = mm Water Kolom (mm WK) uitdrukken dan geldt de betrekking zoals deze uit figuur 48 volgt.

Men vindt b.v.:

bij 25 m/sec. en kamertemperatuur is de dynamische druk 38 mm WK

bij 8 m/sec. en kamertemperatuur is de dynamische druk 4 mm WK

#### LUCHTWEERSTAND - STATISCHE DRUK (P STAT)

Bij het stromen van lucht door leidingen, bochten, vernauwingen, verwijdingen, lagen graan e.d. ondervindt de lucht weerstand. Om ondanks de weerstanden toch een luchtsnelheid te onderhouden is behalve de hierboven genoemde dynamische druk een extra druk, de z.g. statische druk nodig.

Zoals uit figuur 48 volgt, hangt de dynamische druk in hoofdzaak samen met de luchtsnelheid en verder nog met de temperatuur (eigenlijk het soortelijk gewicht) van de lucht.

De statistische druk hangt samen met de aard van de obstakels en verder ook met de luchtsnelheid en de temperatuur.

Men kan zich de statische weerstand (statische druk) voorstellen als te bestaan uit een aantal malen de dynamische druk

$$\text{dus } p_{\text{stat}} = a \cdot p_{\text{dyn}}$$

waarin de factor  $a$  betrekking heeft op de aard van het obstakel.

De factor  $a$  is dus belangrijk. De gegevens van tabel 42 dienen ter verduidelijking.

TABEL 42

Aard van het obstakel	Factor $a$ waarmee de dynamische druk (fig. 48) vermenigvuldigd moet worden om de statische druk te vinden
Kniestuk 45°	± 0.5
Bocht 45°	± 0.2
Kleine bocht 90°	± 0.7
Grote bocht 90°	± 0.5
Rechthoekige knik 90°	± 1.4
Scherpe ombuiging 180°	± 4

Voor alle mogelijke vormen van obstakels zijn in de literatuur factoren te vinden. Genoemde tabel dient alleen ter globale oriëntering.

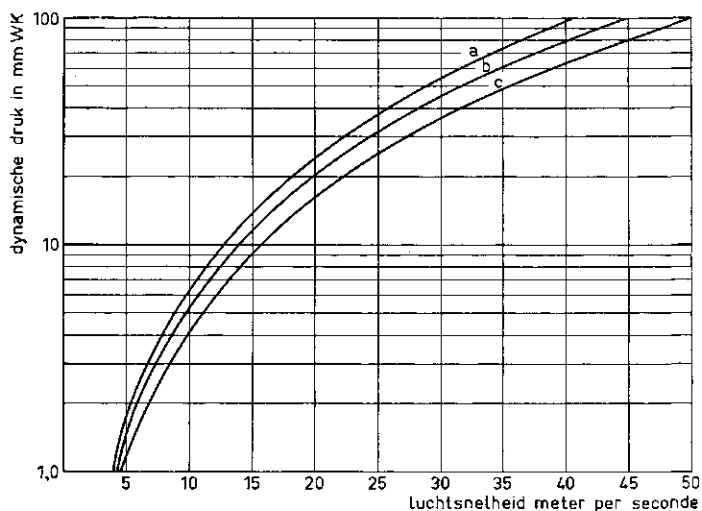
FIGUUR 48

### DYNAMISCHE DRUK BIJ VERSCHILLENDE LUCHTSNELHEDEN

A = KAMERTEMPERatuur

B = 50—70° C

C = 80—120° C



### TOTALE DRUK (P TOT)

Ook deze wordt uitgedrukt in mm WK. De totale druk is de som van de dynamische en de statische druk

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{dyn}} + p_{\text{stat}}$$

### LUCHTWEERSTAND VAN EEN LEIDINGSYSTEEM

Globaal voorbeeld:

Gegeven:

Een luchtleiding van matige lengte bevat 2 scherpe rechthoekige knikken.

Gevraagd:

Wat is de dynamische druk en wat is de statische druk en hoeveel bedraagt de benodigde totale druk om de lucht door dit leidingsysteem te persen als men een luachtsnelheid in de leiding toelaat van:

- a 6 m/sec.
- b 10 m/sec.
- c 15 m/sec.
- d 25 m/sec.

De luchttemperatuur is 35° C.

Oplossing:

De *dynamische druk* is als het ware de rekeneenheid, die als basis dient.

Deze is volgens *figuur 49*:

- bij 6 m/sec. ± 2 mm WK
- bij 10 m/sec. ± 6 mm WK
- bij 10 m/sec. ± 13 mm WK
- bij 25 m/sec. ± 35 mm WK

De totale weerstand van de obstakels vindt men door optelling van de weerstanden:

1 scherpe rechthoekige knik (tabel 42)	a = 1.4	
1 idem	a = 1.4	
	a = 2.8	totaal

De statische weerstand wordt dus:

bij 6 m/sec.	$2.8 \cdot 2 = \pm 6$ mm WK
bij 10 m/sec.	$2.8 \cdot 6 = \pm 17$ mm WK
bij 15 m/sec.	$2.8 \cdot 13 = \pm 36$ mm WK
bij 25 m/sec.	$2.8 \cdot 35 = \pm 98$ mm WK

De totale benodigde druk om de lucht door het leidingsysteem te persen wordt dan:

bij 6 m/sec.	$2 + 6 = 8$ mm WK
bij 10 m/sec.	$6 + 17 = 23$ mm WK
bij 15 m/sec.	$13 + 36 = 49$ mm WK
bij 25 m/sec.	$35 + 98 = 133$ mm WK

Voor degenen die niet vertrouwd zijn met de stromingsleer is het wellicht nuttig bovengenoemd geval aanschouwelijk voor te stellen op de wijze als gedaan in fig. 49, waarbij i.p.v. lucht water wordt verplaatst.

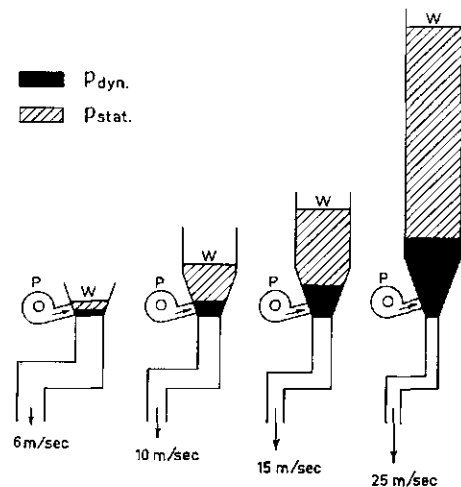
In deze figuur ziet men vier „watertorens” W naast elkaar afgebeeld. In elke watertoren staat het water op een zodanige hoogte dat er voldoende waterdruk ontstaat om een bepaalde hoeveelheid water door een leiding met twee haakse scherpe bochten te laten wegvloeien. De doorlaten van de leidingen zijn verschillend doch doordat het water in de toren een verschillende hoogte heeft vloeit er door elke leiding evenveel water per uur. De snelheid waarmee het water door de leidingen vloeit is omgekeerd evenredig met de doorlaat (kwadraat van de dikte).

Op elke watertoren staat een pomp B die ervoor zorgt dat het water ondanks het wegvloeien op dezelfde hoogte blijft. De pompen verplaatsen dus evenveel, alleen de druk waartegen ze in moeten pompen is verschillend. De oorzaak hiervan ligt in de verschillen in afmeting van de leidingen. Men ziet het aandeel van de druk dat nodig is voor het in beweging brengen van het water ( $p_{dyn}$ ) en het deel dat nodig is voor het overwinnen van de weerstanden ( $p_{stat}$ ).

De dynamische en de statische drukken zijn evenredig met het kwadraat van de snelheid van het water. Dit geldt eveneens voor lucht. Dit alles spreekt nog sterker als men aan de verhouding in diameter van b.v. een rond buizenstelsel denkt. Als men twee buizensystemen heeft waardoor evenveel lucht stroomt, waarbij het ene systeem een 2 maal zo grote diameter heeft, zal de weerstand bij het systeem met de grote diameter  $1/16$  zijn van dat met de kleine diameter bij eenzelfde hoeveelheid doorstromende lucht in b.v.  $m^3/uur$ .

FIGUUR 49

**SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE INVLOED VAN DE AFMETINGEN VAN DE LEIDINGEN OP DE BENODIGDE DRUK**





Men ziet dus:

- a. Hoge luchtsnelheden leiden tot grote luchtweerstand en dienovereenkomstig hoge krachtverbruiken. Obstakels in de leidingen doen dit eveneens. Men moet de leidingen dus niet te nauw maken.
- b. Men dient bij het projecteren van luchtleidingen vooral niet kwistig om te springen met scherpe knikken, overbodige bochten etc.

Meer dan bij vlakke lagen moet men bij de cilindrische silo's letten op extra luchtweerstand in toevoerbuizen voor de lucht waarin bochten aanwezig kunnen zijn en waarin soms vrij hoge luchtsnelheden worden toegelaten. Men moet dit vermijden en voor luchtsnelheden in de buizen geen hogere waarden toelaten dan  $\pm 8-10$  m/sec.

Er zijn wel (meestal kleinere) doorblaassilo's in de handel gebracht met een zeer nauwe binnenbuis en toevoerleiding.

Als voorbeeld zullen twee gevallen worden behandeld, t.w.: 2 doorblaassilo's volgens figuur 50 a en b. De maten zijn op de figuur aangegeven. De binnenbuizen en aanvoerbuizen zijn verschillend; bij a 0.18 m en bij b 0.35 m in diameter. De doorlaten zijn bij a 0.025 m<sup>2</sup> en bij b 0.095 m<sup>2</sup>. De inhoud van de silo a is 87 m<sup>3</sup> (65 ton).

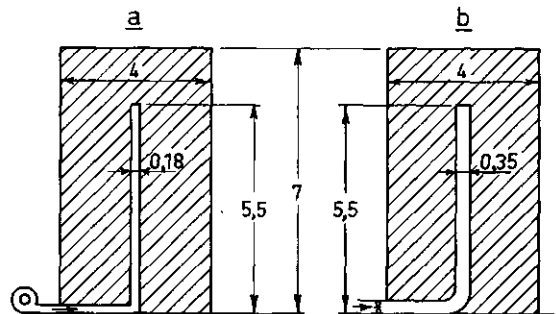
De luchthoeveelheden zijn bij beide silo's 40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur, totaal  $87 \cdot 40 = 3500$  m<sup>3</sup> per uur of  $\pm 1$  m<sup>3</sup> per seconde.

De luchthoeveelheid in de aanvoerleiding is bij a  $\frac{1}{0.025} = 40$  m/sec. en bij b

$\frac{1}{0.095} = 10.5$  m/sec. De dynamische druk is bij a  $\pm 90$  mm WK, bij b  $\pm 6$  mm WK (fig. 50).

De statische weerstand van de bocht is bij a  $0.7 \cdot 90 = 63$  mm WK en bij b  $0.7 \cdot 6 = 4$  mm WK (tabel 42).

FIGUUR 50  
(ZIE TEKST)



## 2. De luchtweerstand van het verdeelsysteem

Deze hangt af van de luchtsnelheid die door het verdeelsysteem wordt toegelaten en van het verdeelsysteem zelf.

## GEPERFOREERDE PLAAT

De weerstand vindt men in tabel 43.

TABEL 43

LUCHTWEERSTAND VAN EEN GEPERFOREERDE PLAAT IN AFHANKELIJKHEID VAN DE LUCHTSNELHEID

Doorlaatpercentage van de lucht	Luchtsnelheid berekend op bruto luchtdoorlatend oppervlak van de plaat			
	1800 m <sup>3</sup> per m <sup>2</sup> per uur	3600 m <sup>3</sup> per m <sup>2</sup> per uur	5400 m <sup>3</sup> per m <sup>2</sup> per uur	7200 m <sup>3</sup> per m <sup>2</sup> per uur
10 %	1.5 mm WK	6 mm WK	14 mm WK	± 25 mm WK
20 %	0.3 mm WK	1.2 mm WK	3 mm WK	5 mm WK
30 %	0.1 mm WK	0.5 mm WK	1.5 mm WK	2 mm WK

Opm.: De vet gedrukte waarden zijn niet aan te bevelen.

*Voorbeeld a:* Een silo waarin het graan in een vlakke laag wordt geventileerd heeft als luchtverdeelsysteem een geperforeerde plaat die op latten steunt. De silo meet 10 x 5 m bodemoppervlak. Langs de zijden is 0.5 m dicht. Verder nemen de latten 2/3 van het overblijvende oppervlak in beslag. Het bruto plaatoppervlak dat overblijft is dus 1/3 (9 x 4) = 12 m<sup>2</sup>. Als de luchthoeveelheid 180 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> silo-oppervlak per uur is betekent dit voor het plaatgedeelte waar de lucht doortreedt

50  
 — . 180 = 750 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur. Zelfs bij toepassing van een plaat met 10 % doorlaat blijft 12 de luchtweerstand van de plaat zelf onbetekenend.

*Voorbeeld b:* Een cilindrische doorblaassilo heeft een hoogte van 8 m, een diameter van 4 m. De inhoud is = ± 100 m<sup>3</sup>. De luchthoeveelheid is 50 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur, dus 5000 m<sup>3</sup> in totaal. De binnenbuis (geperforeerde plaat) heeft een diameter van 0.25 m en is 6.5 m lang. Oppervlak buis 5.2 m<sup>2</sup>.

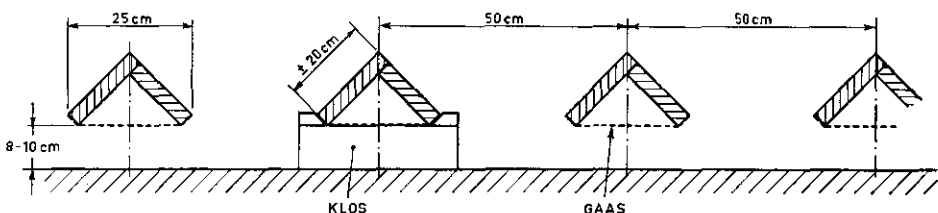
Luchtsnelheid door de buis  $\frac{5000}{5.2} = \pm 1000$  m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> uur. Zelfs bij een doorlaatpercentage van 10 % is de luchtweerstand van de buis zelf onbetekenend.

VERDEELELEMENTEN

De onderlinge afstand (50 cm in figuur 51) hangt af van het vochtgehalte van het graan (zie tabel 44).

FIGUUR 51

BELANGRIJKE MATEN BETREFFENDE LUCHTVERDEELELEMENTEN



TABEL 44

ONDERLINGE AFSTAND LUCHTVERDEELELEMENTEN IN AFHANKELIJKHEID VAN HET VOCHTGEHALTE VAN HET TE VENTILEREN GRAAN

Vochtgehalte graan	Afstand luchtverdeel-elementen h.o.h.
24 %	0.5 m
22 %	0.65 m
20 %	0.8 m
18 %	1 m

In figuur 51 is een verdeling getekend voor betrekkelijk vochtig graan. Men dient te letten op de gaasbespanning. Laat men deze achterwege dan kan het voorkomen dat de lucht graan onder in de dakjes blaast en ze verstopt.

Als men de maten van tabel 44 aanhoudt is er geen betekende luchtweerstand van het verdeelsysteem te verwachten.

LUCHTVERDELING DOOR EEN RINGBUIS MET SPLEET

Men heeft b.v. bij cilindrische silo's de luchtverdeling opgelost door een cirkelvormige ronde buis met een spleet onderin.

Nemen we als voorbeeld een cilindrische silo met een diameter van 4 m en een ringbuis met een straal van 1.20 m met een spleet van 2 cm. De oppervlakte van de spleet zal dan zijn 0.15 m<sup>2</sup>.

Als de luchthoeveelheid in de silo 40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur is moet er per uur bij een storthoogte van 4 m 2000 m<sup>3</sup> lucht door de spleet in het graan treden. De luchtsnelheid bedraagt dan  $\frac{2000}{0.15} = 13300$  m per uur (3.7 m per seconde).

Als men bedenkt, dat het graan tegen de spleet ligt kan men zich voorstellen, dat daar ter plaatse een obstakel ontstaat dat met een geperforeerde plaat met  $\pm 20\%$  doorlaat (wellicht nog minder) kan worden vergeleken. Men moet dan bij deze spleet rekenen op een luchtweerstand van  $\pm 16$  mm WK. Een dergelijke weerstand lijkt ons te groot om toegelaten te worden. Bovendien is de verdeling over het vlak van de bodem ongelijkmatig; dit systeem is daarom af te raden.

In het algemeen kan men stellen, dat als men ervoor zorgt, dat de luchtsnelheid gemiddeld over het oppervlak van intrede niet hoger is dan 1800 m<sup>3</sup> per uur, men de weerstand van het luchtverdeelsysteem kan verwaarlozen.

Alvorens over te gaan tot het behandelen van de luchtweerstand, die de graanlaag zelf biedt, lijkt het gewenst enige aandacht te besteden aan de ventilator.

Het gaat bij deze kwesties altijd om een „samenspel” van de silo's en de ventilator.

### 3. Ventilatoren

De benodigde totale druk die moet worden onderhouden om een bepaalde hoeveelheid lucht door een leiding met verdere obstakels te laten stromen wordt opgewekt door een ventilator.

De capaciteit van een ventilator is geen constante grootte. Het debiet hangt samen met de tegendruk die geboden wordt. In hoeverre het met de samenhang gesteld is hangt af van de ventilator. De samenhang komt tot uiting in de karakteristiek van de ventilator.

Bij het aanschaffen van een ventilator moet men op de volgende zaken letten:

1. Bij een bonafide ventilatorfabrikant te rade gaan
2. Geen ventilator kopen die niet door een deskundig fabrikant is vervaardigd
3. Een goede ventilatorfabrikant kan nauwkeurige karakteristieken overleggen, eventueel bulletins van het onderzoek door een neutrale instantie.

De ventilatorfabrikant moet georiënteerd zijn omtrent de benodigde hoeveelheid lucht, de totale weerstand van de obstakels, de wisseling van deze weerstand, de temperatuur van de lucht, aanwezigheid van stof e.d., regelmatig of incidenteel gebruik etc.

De variatie in omstandigheden is zeer groot zodat het aantal typen ventilatoren eveneens zeer groot is. Hierop wordt nu niet verder ingegaan. Volstaan wordt met een tweetal voorbeelden van karakteristieken van ventilatoren (figuur 52 en 53).

Er zijn in beide figuren drie getrokken lijnen te zien, betrekking hebbend op  $p$  tot en  $p$  stat, die het verband aangeven tussen deze waarden (af te lezen op linker verticale schaal) en het debiet (horizontale schaal) en op het krachtverbruik. Bij elk debiet kan men via de  $pk$ -lijn op de rechter verticale schaal het krachtverbruik aflezen.

In figuur 52 is een voorbeeld gegeven van een karakteristiek van een z.g. axiaalventilator (propellor-ventilator) en figuur 53 geeft een voorbeeld van een centrifugaalventilator (slakkenhuisventilator).

De eerste categorie ventilatoren leent zich voor het verplaatsen van relatief veel lucht tegen matige tegendrukken ( $p$  stat,  $p$  tot  $\pm 80$ —100 mm WK bij de grotere of de snellopende typen). Axiaalventilatoren maken nogal wat lawaai. De centrifugaalventilatoren kunnen in principe veel hogere drukken geven. Ze maken minder lawaai. Al naar gelang het doel kan men grootte en type kiezen; de keuze is zeer ruim.

Bij beide voorbeelden gaat het om ventilatoren met een begrensde krachtverbruik. Hierop moet men goed letten bij de aanschaf van ventilatoren voor doeleinden als waarom het hier gaat. Er zijn nl. ook ventilatoren die bij een te geringe weerstand zoveel lucht leveren en zoveel kracht verbruiken (iets dat in de praktijk van de graanbewaring en -droging onverhoopt kan voorkomen) dat de motor zou kunnen doorbranden.

In beide figuren is links en rechts een gebied aangegeven (door arcering) waarin het werkpunt van de ventilator niet moet komen te liggen omdat het rendement hier te laag is en omdat er nog andere bezwaren zijn.

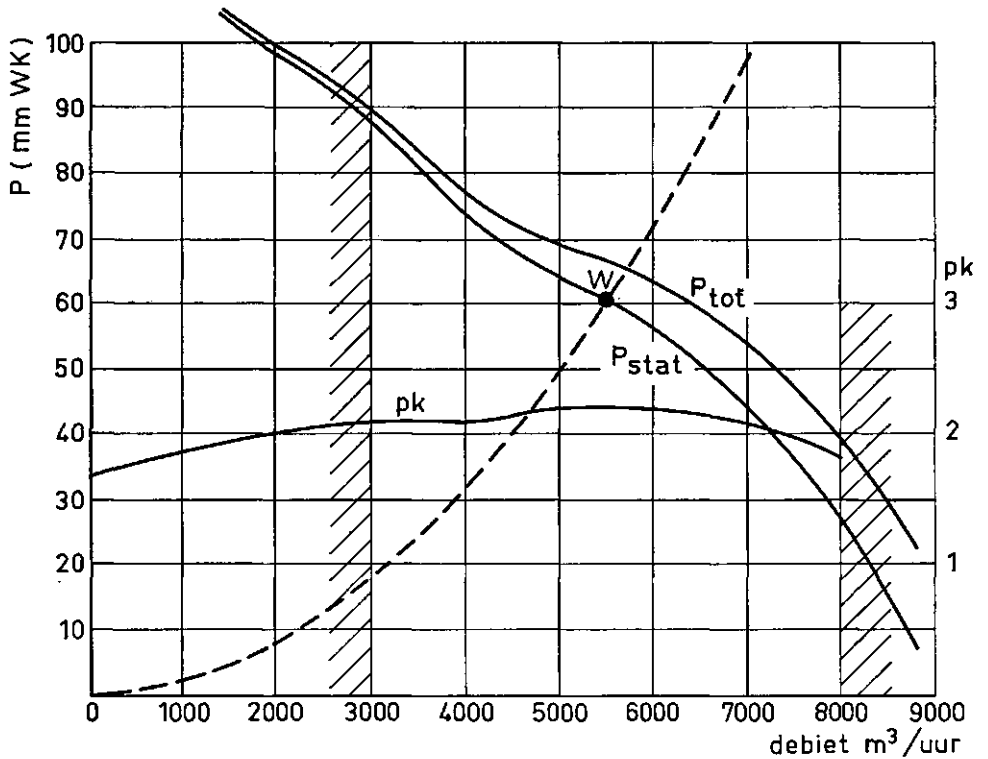
Het werkpunt van de ventilator geeft aan de combinatie van druk en debiet geldend zowel voor de ventilator als voor het luchtsysteem waardoor de ventilator de lucht moet persen.

In fig. 52 zowel als in fig. 53 is een gestreepte kromme lijn getekend die de karakteristiek van een bepaald systeem voorstelt, nl. de statische weerstand van het systeem in afhankelijkheid van de luchthoeveelheid die er door stroomt. Is de luchthoeveelheid die door eenzelfde leidingstelsel stroomt b.v. tweemaal zo groot, dan is de luchtsnelheid eveneens tweemaal zo hoog en de weerstand viermaal zo hoog. Het snijpunt van beide karakteristieken die het verband van  $p$  stat met het debiet voorstellen is het werkpunt van de ventilator. In het geval van figuur 52 zal de ventilator dus 5500 m<sup>3</sup> per uur leveren tegen een statische tegendruk van 60 mm WK (krachtverbruik 2 pk).

Zou de ventilator van fig. 53 lucht door hetzelfde systeem moeten blazen dan zou het werkpunt van deze ventilator liggen bij punt  $W^1$ . Deze ventilator zou bijna 8000 m<sup>3</sup> lucht per uur verzetten bij een statische weerstand van ruim 120 mm WK (krachtverbruik 4½ pk).

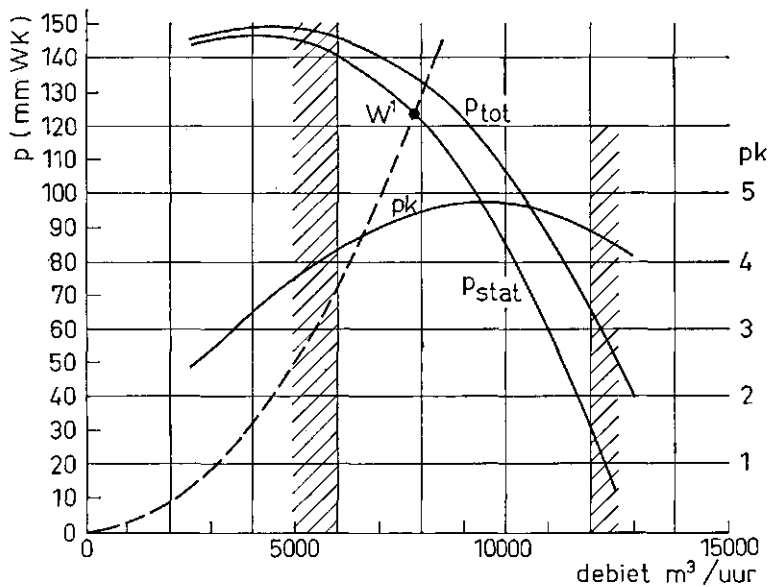
FIGUUR 52

KARAKTERISTIEK VAN EEN AXIAALVENTILATOR 2850 OMW./MIN.



FIGUUR 53

KARAKTERISTIEK VAN EEN CENTRIFUGAALVENTILATOR 1450 OMW./MIN.



#### 4. Luchtweerstand bij vlakke lagen

Om op een gemakkelijke wijze uit te maken hoe het werkpunt van de ventilator zal uitvallen, is een grafiek samengesteld, weergegeven in figuur 54. In deze grafiek is het verband te zien tussen de weerstand van een laag graan waarop gerekend moet worden en de dikte van de laag bij verschillende luchthoeveelheden. De gebogen lijnen geven de verschillende luchthoeveelheden aan in  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan per uur, de rechte schuine lijnen in  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^2$  grondvlak per uur. Als weerstand van de laag moet men zien de waarde, die ten naaste bij is te verwachten. Men kan nl. niet spreken van „de” weerstand; deze varieert ook nog met de soort, het vochtgehalte etc. In tabel 45 vindt men enkele gegevens.

Hieronder volgen enkele voorbeelden betreffende het gebruik van de grafiek van figuur 54.

#### SCHATTEN VAN DE DOORSTROMENDE LUCHTHOEVEELHEID

*Gegeven:* Dikte graanlaag 6 m.

Druk onder de laag gemeten 56 mm WK (statisch).

*Gevraagd:* De luchthoeveelheid die door het graan stroomt (althans ten naaste bij).

*Antwoord:* Het punt, passend bij graanlaagdikte 6 m. en statische weerstand 56 mm WK, komt te liggen op de kromme lijn, aangeduid met 20  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur (punt A).

Men kan dus aannemen dat de door de laag stromende luchthoeveelheid  $\approx 20 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan per uur is.

TABEL 45

#### OPGAVE LUCHTWEERSTAND VOOR VLAKKE LAGEN IN MM WK BIJ 1 METER STORTHOOGTE EN VERSCHILLENDE LUCHTHOEVEELHEDEN (ONGEVEER OP GROND VAN GEGEVENS VAN MATTHIES)

Materiaal	Luchthoeveelheid $\text{m}^3$ per $\text{m}^2$ grondoppervlak per uur										
	50	75	100	150	200	250	300	400	500	600	900
Klaverzaad	30	40	60	80	120	150	190	250	320	400	720
Koolzaad	12	20	25	37	55	70	90	140	180	220	370
Haver	6	9	13	18	28	36	47	68	90	130	225
Gerst / Rogge	3	5	7	11	18	24	30	49	68	88	150
Tarwe	2	3	5	7	12	17	22	32	47	60	120
Bruine bonen	1	2	2½	4	6	9	12	18	26	34	64
Groene erwten	½	1	1½	3	4	6	8	13	18	23	41

*Opmerking:* 1. Bij afwijkende storthoogte bijv. 3 m, de waarde uit de tabel met 3 vermenigvuldigen en bijv. bij 40 cm met 0.4.

2. De waarden dienen mede als gegevens bij de keuze van de ventilator; ze dienen niet al te strikt genomen te worden, aangezien er in de praktijk wel wat afwijkende waarden kunnen worden gevonden.

## 5. Keuze ventilator bij vlakke graanlaag

Een voorbeeld kan e.e.a. verduidelijken.

*Gegeven:* Een silo heeft een bodemoppervlak van  $20 \text{ m}^2$  en een hoogte van  $8 \text{ m}$ . Inhoud bij volle silo  $160 \text{ m}^3$ .

Men wil over een ventilator beschikken die  $20 \text{ m}^3$  lucht per  $\text{m}^3$  graan per uur kan leveren bij een volle silo (dus  $8 \text{ m}$  hoog). De luchthoeveelheid is dus bekend, nl.  $160 \times 20 = 3200 \text{ m}^3$  per uur.

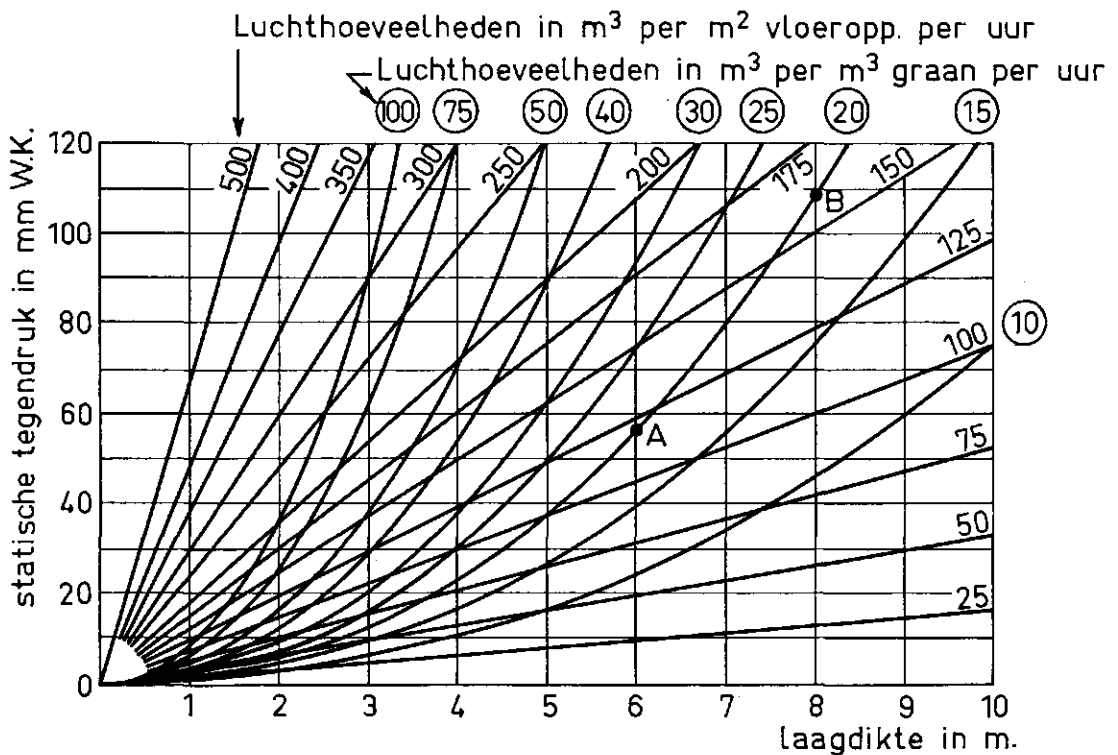
*Gevraagd:* Welke eis moet aan de ventilator gesteld worden t. a. v. de statische tegendruk bij dit debiet van  $3200 \text{ m}^3$  lucht per uur?

*Antwoord:* Het werkpunt van de benodigde ventilator zal in figuur 54 moeten liggen in punt B (laagdikte  $8 \text{ m}$ , luchthoeveelheid  $20 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur). De statische druk die de ventilator, voorzover het de graanlaag betreft, moet overwinnen is dus  $108 \text{ mm WK}$ . Hierbij kan men b.v.  $5 \text{ mm WK}$  opstellen als statische tegendruk van een eenvoudig luchtaanvoersysteem met lage luchtsnelheid en geen bijzondere obstakels.

De betreffende ventilator zal m. h. o. op de vrij hoge tegendruk in dit geval een z.g. centrifugaalventilator moeten zijn.

FIGUUR 54

SAMENHANG TUSSEN LUCHTHOEVEELHEID, LAAGDIKTE GRAAN EN LUCHTWEERSTAND WAAROP DE VENTILATOR BEREKEND MOET ZIJN BIJ VENTILATIE VAN VLAKKE LAGEN



## INVLOED VAN DE STORTHOOGTE OP DE LUCHTHOEVEELHEID

(Samenhang tussen storthoogte en beluchttingsintensiteit bij een bepaalde ventilator-/silo-combinatie.)

Voorbeeld:

*Gegeven:* Men heeft laagbouwcellen met een oppervlak van 10 x 5 m. Op elke cel is een centrifugaalventilator aangesloten die zo gekozen is, dat de cellen, die tot maximaal 6½ m hoog gevuld kunnen worden, een luchthoeveelheid krijgen van ± 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur bij volle vulling. Daarvoor is een ventilator gekozen met de volgende karakteristiek (opgave fabrikant van debiet en tegendruk).

	debiet m <sup>3</sup> per uur	tegendruk p stat mm WK	luchthoeveelheid op de cel m <sup>3</sup> per m <sup>2</sup> per uur
a	10920	20	218
b	9720	40	194
c	7920	60	158
d	5160	80	103

*Opmerking:* Deze debieten in m<sup>3</sup> per uur kunnen worden omgerekend in m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> grondvlak van de cellen per uur, m. a. w. in dit geval worden gedeeld door 10 x 5. Men krijgt dan de waarden van de 3e kolom.

*Gevraagd:* Welke luchthoeveelheden stuurt de ventilator door het graan (uitgedrukt in m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur) als de laagdikten zijn:

6½ m (vol)
5 m
3 m
2 m

*Antwoord:* Men moet de karakteristiek van de ventilator uitzetten in fig. 54, t.w. de waarden van de kolommen 2 (stat druk) en 3 (m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur).

In *figuur 55* is de karakteristiek getrokken door de verschillende gevonden werkpunten (a, b, c en d). Men kan nu de luchthoeveelheden aflezen die verwacht kunnen worden bij de verschillende laagdikten.

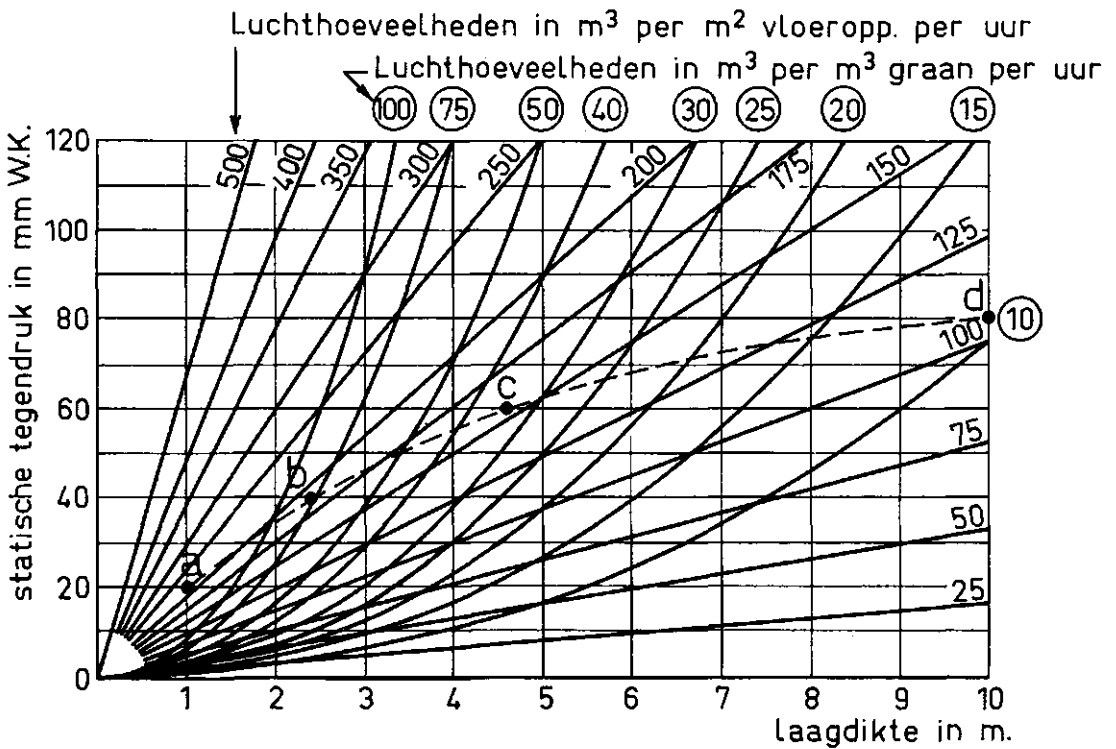
Men leest af:

bij 6½ m	ruim 20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur
bij 5 m	30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur
bij 4 m	40 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur
bij 3 m	60 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur

*Opmerking:* Hierbij is de weerstand van het toevoersysteem en het verdeelsysteem van de lucht verwaarloosd (zie 1. 7. 3.1 en 1. 7. 3. 2). Eventueel kan men de gevonden laagdikten veiligheidshalve met b.v. ½ m verlagen. Overigens zijn de te verwachten weerstanden waarop *figuur 54* is gebaseerd aan de veilige kant zodat de verwaarlozing (bij vlakke lagen) geen betekende fout behoort te veroorzaken.



FIGUUR 55



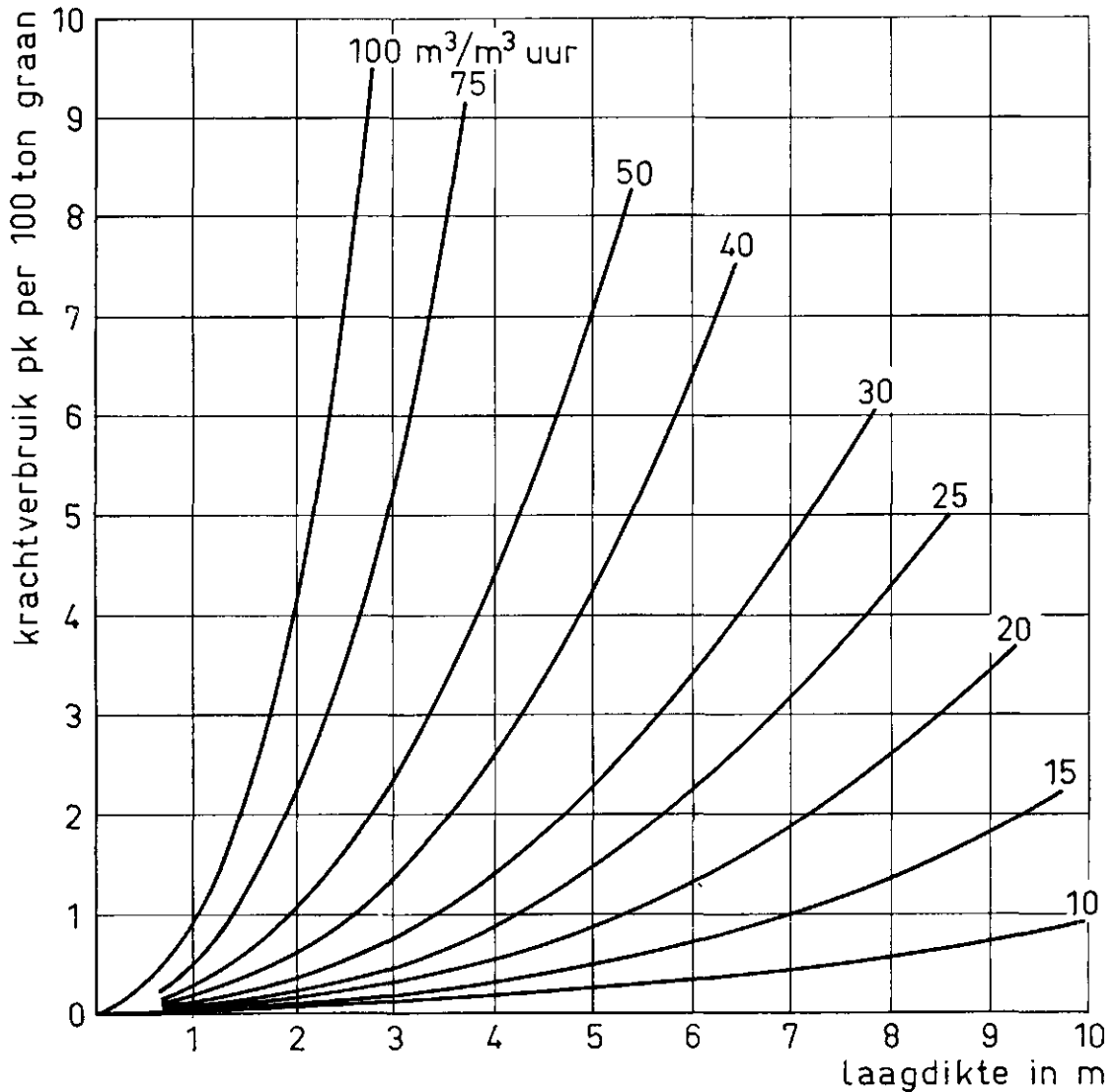
6. Krachtverbruik bij het beluchten van vlakke graanlagen

In figuur 56 is een grafische voorstelling geconstrueerd waaruit globaal het te verwachten krachtverbruik is op te zoeken voor bepaalde omstandigheden betreffende luchthoeveelheid en laagdikte bij de varianten a en b (figuur 47).

*Voorbeeld:* Silo-inhoud 250 ton bij storthoogte 8½ m. Als men bij volle storthoogte van 8½ m een luchthoeveelheid van 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> uur wil geven, zal dit voor deze silo een krachtverbruik vergen van ± 3 pk per 100 ton; voor 250 ton dus ± 2½ x 3 = ± 7½ pk.

FIGUUR 56

TEN NAASTE BIJ TE VERWACHTEN KRACHTVERBRUIK BIJ HET VENTILEREN VAN VLAKKE GRAANLAGEN MET VERSCHILLENDE HOEVEELHEDEN LUCHT



7. De luchtweerstand bij het ventileren van graanlagen met ongelijk oppervlak van in- en uitstroming van de lucht

#### ALGEMENE GEZICHTSPUNTEN

Het kenmerkende is dat de luchtsnelheid in de laag niet gelijkmatig is. De meest voorkomende toepassing is die, waarbij graan geventileerd wordt in een cilindrische doorblaas-silo met binnenpijp.

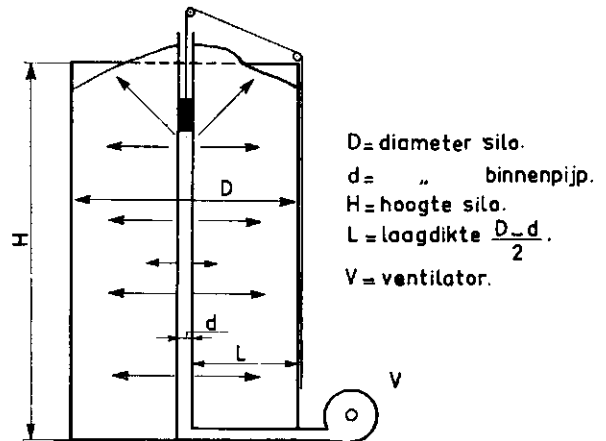
In figuur 57 is een dergelijke silo schematisch getekend en toegelicht. De „laagdikte” L is beperkt tot hoogstens enkele meters terwijl de silo's 6 tot 10 m hoog kunnen zijn.

Onder „laagdikte” wordt ook hier verstaan de lengte van de weg, die de lucht door het graan aflegt.

Een redelijke hoogte, gecombineerd met een betrekkelijk kleine „laagdikte” en dus een geringer krachtverbruik is een aantrekkelijk punt bij deze silo's. Een verder voordeel ligt in een mogelijke eenvoudige constructie. Een nadeel is dat de ronde silo's meer vloeroppervlak vragen dan rechthoekige.

FIGUUR 57

SCHEMA VAN EEN CILINDRISCHE DOORBLAASSILO MET BINNENPIJP



### LUCHTWEERSTAND VAN EEN KROMME GRAANLAAG

Men moet rekening houden met het feit, dat het oppervlak van instroming van de lucht en dat van uitstroming niet aan elkaar gelijk zijn. Hierdoor ontstaat een extra luchtweerstand en een ongelijkmatiger droog- of koeleffect.

In figuur 58 is een correctiegrafiek getekend, waarin men een correctiefactor kan opzoeken, behorende bij een bepaalde verhouding tussen in- en uitstromend oppervlak. Met deze correctiefactor is dan de weerstand van de graanlaag „om een binnenpijp” te berekenen als men uitgaat van de weerstand van een vlakke laag met gelijke luchtnorm ( $\text{m}^3/\text{m}^3$  uur) zoals deze te vinden is uit de grafiek van figuur 54.

Een voorbeeld van de berekening van de luchtweerstand van een kromme graanlaag volgt hieronder.

*Gegeven:* Diameter cilindrische silo 4 m, diameter binnenbuis 0.20 m, luchtnorm 40  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan per uur.

Rekening houdende met het oppervlak van de binnenbuis waarover lucht in- of uittreedt en met het oppervlak van de silo + bovenvlak vindt men een verhouding tussen deze oppervlakken van b.v. 1 : 22.

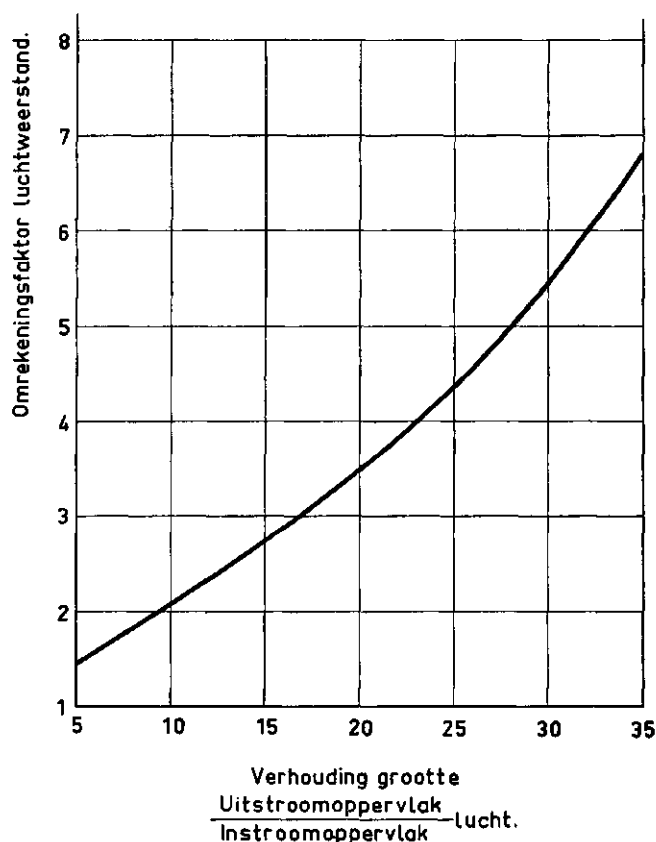
*Gevraagd:* De luchtweerstand van de graanlaag.

*Antwoord:* De „laagdikte”  $\frac{4 - 0.2}{2} = 1.9$  m.

Bij een vlakke laag, dik 1.9 m en een luchtnorm van 40  $\text{m}^3/\text{m}^3$  uur, is de luchtweerstand volgens figuur 54  $\pm 10$  mm WK.

De correctiefactor (1 : 22) is volgens figuur 58  $\pm 3.7$ .

De weerstand van de graanlaag is dus  $3.7 \cdot 10 = 37$  mm WK.



FIGUUR 58

GRAFIEK TER BEPALING VAN DE OMREKENINGSFACTOR VOOR HET BEREKENEN VAN DE LUCHTWEERSTAND VAN NIET VLAKE GRAANLAGEN

#### 8. Ongelijkmatigheid in koel- of droogeffect (zuigen of blazen)

Deze ongelijkmatigheid wordt in de hand gewerkt doordat de snelheid van de lucht in de laag op elk punt anders is. De luchtsnelheid is vlak bij de binnenpijp groot en wordt klein aan de buitenkant van de silo. Bij blazen krijgt men dan aan de binnenkant zeer droog graan, aan de buitenkant blijft het graan nat. Bij zuigen krijgt men een minder ongelijkmatig effect. Evenwel trekt men dan geen profijt van de opwarming door de ventilator. Men geeft in de praktijk wel de voorkeur aan zuigen. Wellicht is dit te verklaren door het feit, dat men bij blazen aan de buitenkant van het droog worden niet veel merkt. Dit is wel het geval bij het zuigen.

De warmte die door de ventilator wordt ontwikkeld heeft een gunstig effect (klimaatverbetering). Een krachtverbruik van b.v. 2 pk/100 ton geeft een RV van de lucht, die  $\pm 4\%$  lager ligt.

#### 9. Krachtverbruik bij het ventileren van kromme graanlagen; invloed diameter binnenbuis bij cilindrische doorblaassilo's

Dit kan worden gevonden door uit figuur 56 het krachtverbruik te betrekken op grond van de waarden voor de laagdikte en de luchthoeveelheid in  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur. De gevonden waarde moet dan met behulp van figuur 58 worden gecorrigeerd.

Voorbeeld:

Gegeven: Diameter silo 5 m, diameter binnenpijp 0.5 m. Inhoud silo bij 8 m storthoogte 120 ton.

$$\text{Correctiefactor (verhouding 1 : 14)} \approx 2.6. \text{ „Laagdikte” } \frac{5 - 0.5}{2} = 2.25 \text{ m.}$$

Luchthoeveelheid 40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur.

Gevraagd: Krachtverbruik.

Antwoord: Ongecorrigeerd krachtverbruik per 100 ton (zie figuur 56) 0.75 pk per 100 ton; voor 120 ton dus  $\pm 0.9$  pk.

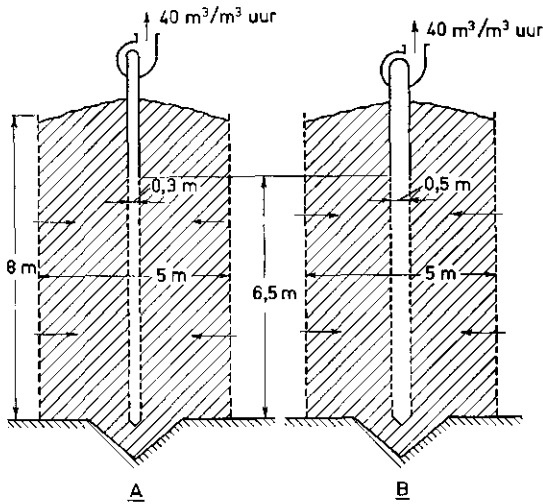
Krachtverbruik voor het sturen van de lucht door de graanlaag dus  $2.6 \cdot 0.9 = 2.4$  pk.

Om te illustreren welke invloed de afmeting van de binnenbuis kan hebben is een voorbeeld uitgewerkt.

In figuur 59 zijn 2 doorblaassilo's geschetst van  $\pm 8$  m hoog en 5 m diameter. A heeft een binnenbuis van 0.3 m diameter, B heeft er een met een diameter van 0.5 m. Bij beide silo's wordt lucht door de laag gezogen.

De inhoud van de silo's is  $\pm 120$  ton.

In tabel 46 vindt men enkele vergelijkende waarden, zoals deze door berekening verkregen worden.



FIGUUR 59  
(ZIE TEKST)

TABEL 46

VERGELIJKING VAN 2 DOORBLAASSILO'S MET VERSCHILLENDE AFMETINGEN BINNENBUIS (ZIE FIG. 59)

	Silo A	Silo B
Inhoud	$\pm 120$ ton	$\pm 120$ ton
Inhoud	$\pm 160$ m <sup>3</sup>	$\pm 160$ m <sup>3</sup>
Luchthoeveelheid	6400 m <sup>3</sup> /uur	6400 m <sup>3</sup> /uur
„Laagdikte”	2.35 m	2.25 m
Luchthoeveelheid	40 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur	40 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur
Diameter binnenbuis	0.3 m	0.5 m
Ongecorrigeerde weerstand	17 mm WK	15 mm WK
Verhouding in- en uitstromende oppervlakte lucht	24 : 1	14 : 1
Correctiefactor	4.2	2.6
Gecorrigeerde weerstand graanlaag	$\pm 71$ mm WK	$\pm 39$ mm WK
Krachtverbruik ongecorrigeerd *)	$\pm 0.96$ pk	$\pm 0.84$ pk
Krachtverbruik gecorrigeerd *)	$\pm 4.0$ pk	$\pm 2.1$ pk

\*) alleen voor de graanlaag.

## 10. Vergelijking van geventileerde bewaring in vlakke lagen en in cilindrische doorblaassilo's

Hoewel de luchtweerstand en het krachtverbruik bij een cilindrische doorblaassilo met binnenpijp relatief hoger zijn dan bij een silo met vlakke laag van gelijke dikte, levert het toepassen van de cilindrische silo het grote voordeel op, dat de laagdikte veel kleiner kan zijn, zodat daardoor het totaal krachtverbruik b.v. per 100 ton graan, lager wordt bij eenzelfde luchthoeveelheid in  $m^3$  per  $m^3$  per uur en eenzelfde storthoogte. Men kan bij de cilindrische doorblaassilo's hoger gaan met de storthoogte omdat de „laagdikte” altijd beperkt blijft.

Overigens staat bij de cilindrische doorblaassilo's de „laagdikte” vast; deze is bij de opslag in vlakke lagen variabel en kan worden aangepast aan het vochtgehalte.

Ter illustratie zijn hierna enkele voorbeelden uitgewerkt, waarbij van een bepaalde luchtnorm en van een bepaalde graanbergingsmogelijkheid per  $m^2$  vloeroppervlak wordt uitgegaan.

*Voorbeeld 1:* We nemen voor de opslag in een vlakke laag de volgende waarden aan:

Storthoogte 4 m.

Luchtnorm bij volle storthoogte 50  $m^3$  per  $m^3$  per uur. Graanberging per  $m^2$  vloeroppervlak  $\pm$  3 ton.

Krachtverbruik per 100 ton (zie figuur 56) 4.3 pk (voor de graanlaag).

Voor de cilindrische doorblaassilo's wordt de storthoogte zodanig hoog genomen dat eenzelfde graanbergingsmogelijkheid per  $m^2$  vloeroppervlak wordt verkregen. De silo's zijn b.v. 4.5 m in diameter met een binnenhuis van 0.3 m. „Laagdikte” 2.1 m. Verhouding in- en uitstroming  $\pm$  20 : 1. Onderlinge tussenruimte van de silo's 0.5 m. De storthoogte moet dan  $\pm$  6.5 m zijn om ook een graanbergingsmogelijkheid te verkrijgen van 3 ton per  $m^2$  vloeroppervlak.

Het krachtverbruik zal voor een vlakke laag van 2.1 bij 50  $m^3/m^3$  uur (figuur 56) uitkomen op 1.1 pk per 100 ton. Gecorrigeerd wordt dit (zie figuur 58)  $3.5 \times 1.1 = \pm$  3.9 pk per 100 ton graan (voor de graanlaag).

Bij de cilindrische doorblaassilo's ligt het krachtverbruik onder de in dit voorbeeld veronderstelde omstandigheden dus vrijwel even hoog als nu bij de vlakke laag. Zou men de binnenbuis groter nemen dan zou het krachtverbruik dalen. Bij een binnenbuis van 50 cm diameter zou het krachtverbruik dalen tot  $\pm$  2.1 pk per 100 ton. In dat geval zou het dus  $\pm$  50 % lager liggen dan bij de vlakke silo's.

*Voorbeeld 2:* Nemen we voor de opslag in een vlakke laag de volgende omstandigheden aan:

Storthoogte (en laagdikte) 7 m.

Luchthoeveelheid 20  $m^3$  per  $m^3$  per uur.

Bergingsmogelijkheid per  $m^2$  vloeroppervlak ruim 5 ton.

Krachtverbruik  $\pm$  1.9 pk per 100 ton (voor de graanlaag) (figuur 56).

Voor cilindrische silo's met gelijke bergingsmogelijkheid kan men b.v. kiezen silo's met 4.5 m doorsnede. Deze moeten dan 11 m hoog worden om dezelfde bergingsmogelijkheid per  $m^2$  vloeroppervlak te verkrijgen. De verhouding in uitstroomoppervlak wordt ongeveer 17 : 1 als de binnenbuis 0.30 m diameter heeft. De correctiefactor voor weerstand en krachtverbruik wordt 3.0 (figuur 58). Het ongecorrigeerde krachtverbruik zal op ongeveer 0.15 - 0.2 pk per 100 ton uitkomen; gecorrigeerd wordt dit  $\pm$  0.5 pk per 100 ton, wat veel lager is dan bij de vlakke laag.

In tabel 47 zijn de gevonden cijfers in een tabel verenigd, terwijl er nog een derde voorbeeld in is verwerkt. Men ziet dat onder verschillende omstandigheden een lager krachtverbruik wordt verkregen.

Natuurlijk is het krachtverbruik niet de enige factor die in het geding is. De grootte van de investering en periode waarover moet worden afgeschreven zijn eveneens factoren, die tot een keuze bijdragen, waarbij dan nog genoemd moeten worden de oplossing van het transportprobleem, het vullen en ledigen, de kosten van het gebouw.

Bij silo's waarin het graan in een vlakke laag ligt, vormen deze vaak tevens het gebouw, althans voor een deel.

Een punt van overweging is verder dat vooral bij hoge cilindrische doorblaassilo's de pakking onderin zodanig groter is dat er een wezenlijk verschil in beluchtingsintensiteit optreedt.

Een voordeel van een vlakke laag is, dat men de laagdikte en dus de beluchtingsintensiteit in een bepaald geval kan aanpassen. Bij een cilindrische doorblaassilo kan men dit niet. Bij de uitvoeringen met een „stop” in de binnenbuis kan men b.v. wel een halve silo beluchten maar daarbij wordt de verhouding in- en uitstromend oppervlak ongunstiger zodat een relatief hoger krachtverbruik en een ongunstiger werkpunt van de ventilator verkregen wordt.

TABEL 47

VERGELIJKING VAN ENKELE WAARDEN BIJ TOEPASSING VAN VENTILATIE IN LIGGENDE VLAKE LAGEN EN IN CILINDRISCHE DOORBLAASSILO'S MET BINNENBUIS

		vlakke laag	cil. silo's	cil. silo's	vlakke laag	cil. silo's	vlakke laag	cil. silo's
Storthoogte	m	4	6.5	6.5	7	11	6	9.5
Laagdikte	m	4	2.1	2.0	7	2.1	6	2.1
Bergingsmogelijkheid	ton/m <sup>2</sup>	3	3	3	5	5	4.5	4.5
Luchthoeveelheid	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> uur	50	50	50	20	20	30	30
Krachtverbruik voor de laag alleen	pk/100 ton	4.3	3.9	2.1	1.9	0.5	3.4	1.1
Diameter binnenbuis bij cilindrische silo's	m	—	0.30	0.50	—	0.30	—	0.30

#### 1.7.4 HET TIJDELIJK GEVENTILEERD BEWAREN VAN GRAAN MET 21—24% VOCHT (IN DE OOGSTTIJD OF DIRECT ERNA)

In de tijd van de oogst zal de buitenluchttemperatuur veelal nog niet bijzonder laag zijn. De periode waarin de laagste temperatuur in een etmaal voorkomt ligt meestal in de nanacht tegen de morgen, en duurt veelal niet langer dan enkele uren. Men bedenke dat men alleen mag ventileren als de lucht kouder is dan het graan (tabel 19).

Het temperatuurverschil moet voor graan met 21—24% vocht minstens 1° C bedragen.

De graantemperatuur die bereikt kan worden zal niet veel lager dan 15° C kunnen zijn. Vooral bij graan met 21% vocht en hoger heeft een onafgebroken ventilatieperiode van 3—4 dagen in het begin veel zin omdat er dan door de optredende langzame droging ook verdampingswarmte wordt onttrokken, waardoor een extra koelend effect optreedt en warme plekken zo spoedig mogelijk worden vereffend. Overigens is het tijdelijk bewaren van dergelijke vochtige granen een enigszins hachelijke zaak.

Een taxatie van de maximaal toe te laten bewaarduren van vochtige granen volgens de methode van de ventilatie (koeling) levert waarden als in tabel 48. Hierbij zijn de gegevens van de tabellen 21, 22 en 23 en een temperatuur van 15° C uitgangspunten geweest.

Het doel is hierbij alleen het schimmelvrij bewaren en het voorkomen van te grote drogestofverliezen.

TABEL 48

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN VOCHTIG GRAAN DAT IN DE OOGSTTIJD OF DIRECT ERNA TIJDELIJK WORDT BEWAARD ONDER KOELEN MET BUITENLUCHT (30—40 M<sup>3</sup>/M<sup>3</sup> UUR). (DOEL: SCHIMMELVRIJ HOUDEN)

Vochtgehalte	Graansoort			
	Tarwe	Rogge	Haver	Gerst
21 %	1.5	2	2.5	5
22 %	1.25	1.5	2	4
23 %	1	1.25	1.5	2.5
24 %	0.5	1	1.25	1.5

#### Maximale bewaarduur in weken

Bij dergelijk vochtig graan, vooral bij tarwe, rogge en haver kan men zich afvragen of het alleen af en toe beluchten wel zin heeft voor de betrekkelijk korte perioden die zijn toegelaten. De conclusie is dat men beter continu kan ventileren. Hetzelfde geldt voor gerst met 24% vocht.

Als men niet continu ventileert doch alleen blaast als de lucht 1° C of meer lager is dan het graan kan men het gemiddeld aantal uren gedurende welke er per etmaal geblazen kan worden taxeren op 4. Zou men slechts 20 m<sup>3</sup> lucht per m<sup>3</sup> per uur geven dan zou het volgens tabel 20 vijf dagen duren alvorens een bepaald temperatuureffect over de gehele silo zou zijn begonnen door te dringen. Dit lijkt te lang. Aanbevolen wordt dan ook om de luchthoeveelheid op 30 of 40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur te stellen voor het geventileerd bewaren van graan met een dergelijk hoog vochtgehalte.

#### 1.7.5 TIJDELIJK GOED HOUDEN VAN GRAAN MET 19—20% VOCHT, TIJDENS OF AANSLUITEND AAN DE OOGST

Bij deze categorie granen moet het temperatuurverschil tussen lucht en graan 3° C bedragen bij 19% vocht en 2° C bij 20% vocht. Er kan dus minder geventileerd worden dan bij natter graan, waarbij de lucht slechts 1° C kouder behoeft te zijn dan het graan.

Een taxatie van de maximaal toe te laten bewaarduren van onvoldoend droge granen volgens de methode van ventilatie (koeling) met buitenlucht levert waarden op als vermeld in tabel 49. Hierbij zijn de gegevens van tabel 21, 22 en 23 en een graantemperatuur van 15° C als uitgangspunten gebruikt.



TABEL 49

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUREN IN WEKEN VAN ONVOLDOEND DROOG GRAAN DAT TIJDENS OF AANSLUITEND AAN DE OOGST TIJDELIJK WORDT BEWAARD ONDER KOELING MET BUITENLUCHT (20 M<sup>3</sup> PER M<sup>3</sup> PER UUR). (DOEL: SCHIMMELVRIJ HOUDEN)

Vochtgehalte	Graansoort			
	Tarwe	Rogge	Haver	Gerst
19 %	4½	6	5	15
20 %	2	3	3	8
Maximale bewaarduur in weken				

Bij granen met 19—20% vocht mag men slechts rekenen op 1—2 uur ventilatie-mogelijkheid per etmaal. Niettemin mag men aannemen dat een luchthoeveelheid van 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur voldoende zal zijn als men in het begin een continu periode van ventileren van ± 1 week toepast om een teveel aan warmte en ongelijkmatigheden weg te nemen. De tabel geldt alleen ten aanzien van het doel: schimmelvrij bewaren, en in een normaal jaar.

Als men een laat oogstjaar heeft zoals in 1962, waar een betrekkelijk koud najaar op volgt, dan kan men met goed uitgerijpt graan een langere bewaartijd voor granen als in tabel 49 verkrijgen.

Zo is in 1962/1963 bij proeven op het IBVL tarwe en rogge bewaard met aanvankelijk ruim 20% vocht. De luchthoeveelheid was ruim 60 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur, de bewaarperiode ving eerst in september aan. Bewaard werd tot maart. In totaal werd ongeveer 200 uur geventileerd. Het vochtgehalte daalde gemiddeld 1 à 1.5% over de totale periode. De bewaring kon geslaagd genoemd worden.

Voor granen met 20% vocht lijkt een luchthoeveelheid van ± 40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur dan ook wel aan te bevelen als men lang wenst te bewaren.

#### 1.7.6 DEFINITIEVE GEVENTILEERDE BEWARING VAN GRAAN MET 17—18% VOCHT

Uit de tabel 19 blijkt, dat de mogelijkheden tot ventilatie neerkomen op de volgende richtlijnen:

1. Als de temperatuur van het graan hoger is dan 10° C, alleen blazen als de temperatuur van de lucht 4° C (of meer) lager is dan die van het graan.
2. Als de temperatuur van het graan lager is dan 10° C, alleen blazen als de temperatuur van de lucht 6° C (of meer) lager is dan die van het graan.

Met het oog op het betrekkelijk grote, noodzakelijke temperatuurverschil verdient het aanbeveling om de luchthoeveelheid niet lager te nemen dan 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur. Het duurt bij deze hoeveelheid volgens tabel 20 bij 1 uur ventileren per etmaal toch reeds 3 weken alvorens een bepaald temperatureffect over de gehele dikte van de laag is doorgedrongen.

Men mag evenwel verwachten dat men op deze wijze te werk gaande erin zal slagen in december het graan in elk geval op een temperatuur beneden 5° C te krijgen. Ook hier is een periode van continu ventilatie (b.v. een week) in het begin aan te bevelen.

## 1.7.7 HET DEFINITIEF OPSLAAN, TEVENS LANGZAAM DROGEN TIJDENS DEZE OPSLAG VAN GRANEN MET 18—20% VOCHT

Volgens tabel 18 is de luchtnorm bij 20% vocht 50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur voor gerst en 40 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur voor tarwe. Bij 19% zijn deze normen resp. 35 en 28 en bij 18% 18 en 15.

Een praktische laagdikte (als men in een vlakke laag opslaat) is 4 m als het gaat om het hoogste vochtgehalte (20%). Bij 19% vocht (vlakke laag) is een praktische laagdikte 5—6 m, bij 18% vocht 6—8 m.

Bij cilindrische doorblaassilo's met binnenpijp is de „laagdikte” altijd lager dan 4 m. Bij toepassing van deze bewaarsilo's kan men met het vochtgehalte voor opslag (tevens langzaam drogen) tot 21% gaan. Bij dit vochtgehalte zijn de normen 70 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur voor gerst en 55 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> voor tarwe.

### Voorbeelden:

1. Tarwe met 20% vocht wordt opgeslagen in cellen 10 x 5 m opp. - 4 m hoog. Inhoud per cel 200 m<sup>3</sup> = 140-150 ton. Luchthoeveelheid 200 · 40 = 8000 m<sup>3</sup>/uur. Statische tegendruk waarop gerekend moet worden (figuur 54) ± 53 mm WK. Krachtverbruik (figuur 56) 2.6 pk per 100 ton dus voor de cel 3.8 pk. Geïnstalleerd vermogen per cel ± 5 pk.  
Als men ± 1 maand onafgebroken ventileert zal het vochtgehalte gedaald zijn tot ± 17—18%. Daarna kan men het graan koelen door alleen te ventileren als de buitenlucht 4—6° C lager in temperatuur is dan het graan.
2. Een loods, oppervlak 60 x 20 m wordt gevuld met graan (vochtgehalte 19%). Figuur 60 toont schematisch een doorsnede en een plattegrond. Het graan ligt volgens het natuurlijk talud; aan de zijkanten is de storthoogte tegen de zijmuren slechts 2½ m. Dit is van belang voor een eenvoudige en zo goedkoop mogelijke bouw.

### Keuze ventilatoren.

Voor het bereiken van een vochtgehalte van 17—17.5% is blazen nodig met een luchthoeveelheid groot 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur.

Teneinde een homogene luchtverdeling te verkrijgen dienen de hoofdvluchtkanalen in de lengterichting van de loods te liggen. De indeling kan in dit geval zo zijn dat er 3 soorten ventilatoren worden toegepast, te noemen A, B en C. Van A zijn er 2, van B en C elk 4. Aan elke frontgevel zijn 1 A, 2 B en 2 C ventilatoren (zie onderstaand overzicht).

Ventilator	Aantal	Graaninhoud per ventilator m <sup>3</sup>	Gem. storthoogte m	Lucht- *) hoeveelheid m <sup>3</sup> per uur	Statische weerstand mm WK	Krachtverbruik voor de laag		Geïnstalleerd vermogen totaal
						per 100 ton pk	totaal per ventilator pk	
A	2	840	7	25200	± 140	4.8	28	± 60
B	4	660	5½	19800	± 78	2.8	14	± 60
C	4	420	3½	12600	± 29	1.0	3.1	± 20
								± 140

Ventilator A zal in dit geval een centrifugaalventilator moeten zijn. Voor de ventilatoren B en C kunnen in dit geval axiaalventilatoren gekozen worden.

\*) *luchtnorm* 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur.

De loods kan totaal 6000 m<sup>3</sup> graan (± 4000—4500 ton) bevatten. Het gemiddelde geïnstalleerde vermogen zal op 2.7 pk per 100 ton uitkomen om de norm 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> uur te kunnen behalen.

### Luchtuitlaat

De ventilatoren blazen totaal ± 180.000 m<sup>3</sup> lucht per uur (50 m<sup>3</sup> per sec.) in de schuur. Er moet dus een uitlaat zijn (openingen in frontgevels of koekoek). Laat men een lichtsnelheid door deze openingen toe van 2 m/sec, dan moet de doorlaat ervan dus  $\frac{50}{2} = \pm 25$  m<sup>2</sup> groot zijn.

### Het vullen en ledigen van de schuur

Een transportketting boven in de nok kan voor het vullen zorgen (natuurlijk talud). Het ledigen kan geschieden door gebruik te maken van een zand- en grindlader die zich een weg baant op de paden tussen overlangse kanalen. De lattenroosters kunnen als het graan ter plaatse voldoende verwijderd is, stuk voor stuk worden weggetrokken.

Er zijn ook andere mogelijkheden. Men kan ondergrondse transportkettingen toepassen met toelatschuiven die m.b.v. stalen kabels geopend kunnen worden.

### Werkwijze

Men doet het beste om de eerste maanden continu te ventileren (alleen stoppen als het werkelijk mistig of uitgesproken vochtig is).

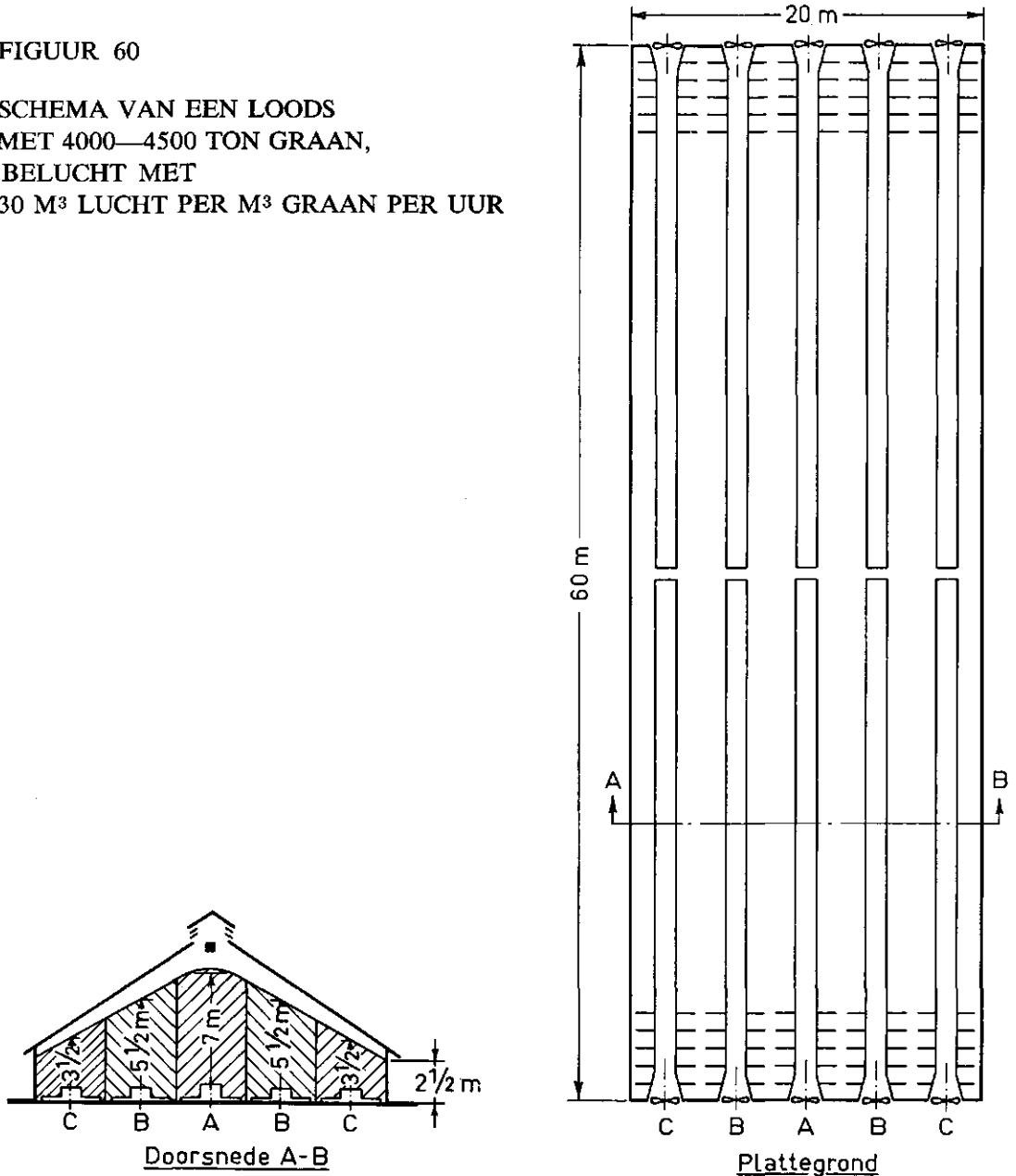
Daarna alleen ventileren als de temperatuur van de buitenlucht  $4-6^{\circ}\text{C}$  lager is dan die van het graan.

Men kan b.v. rekenen op een totaal van  $\pm 800$  ventilatie-uren à  $66\text{ kW}$  dus op een totaalverbruik van  $\pm 53000\text{ kWh}$  voor b.v.  $4250\text{ ton}$  ( $12.5\text{ kWh}$  per ton per bewaarperiode).

De kosten ( $\pm 12.5\text{ ct}$  per  $100\text{ kg}$ ) kunnen niet hoog worden genoemd.

FIGUUR 60

SCHEMA VAN EEN LOODS  
MET 4000—4500 TON GRAAN,  
BELUCHT MET  
30 M<sup>3</sup> LUCHT PER M<sup>3</sup> GRAAN PER UUR



## 1.7.8 HET TOEPASSEN VAN EEN GERINGE VERWARMING VAN DE LUCHT BIJ LANGZAME DROGING TIJDENS GEVENTILEERDE OPSLAG

In A 2.5 werd reeds vermeld, dat men in ons klimaat bij voldoende lang doorgevoerde ventilatie met onverwarmde lucht eindvochtgehalten van het graan bereikt, die in een droog jaar ca. 16%, in een normaal jaar 17—17.5% en in een nat jaar 18—18.5% zijn.

Zoals reeds werd opgemerkt, betekent het toepassen van een lichte verwarming bij het geventileerd bewaren in betrekkelijk dikke lagen alleen het verkrijgen van een goed eindvochtgehalte, m.a.w. het zich onafhankelijk maken van het klimaat. Men krijgt dan tevens een verkorting van de noodzakelijke ventilatieperiode. Men kan eventueel volstaan met alleen gedurende het laatste deel van de ventilatieperiode de verwarming toe te passen. Men kan bijvoorbeeld in een bepaald jaar niet beneden 18% vocht komen. In dat geval is een verwarming van 1° C al voldoende om na verloop van tijd tot 17% te geraken.

Om een idee te geven hoe het elektriciteitsverbruik zich verhoudt bij het geventileerd bewaren met of zonder 1° C opwarming zijn wij er bij wijze van voorbeeld van uitgegaan, dat graan met 19% vocht, geventileerd bewaard en tevens langzaam gedroogd wordt tot 17%. Gesteld, dat het klimaat zodanig is, dat dit zonder verwarming lukt, dan is per ton graan van 17% vocht als eindprodukt voor de ventilatie nodig b.v. 12.5 kWh.

Als men 1° C moet opwarmen om eveneens 17% te bereiken (als men dus zonder opwarmen niet beneden 18% zou komen), wordt, als men van het begin af deze verwarming toepast, het elektriciteitsverbruik ongeveer verdubbeld. Zou een gemiddelde opwarming van 2° C nodig zijn dan betekent dit een verdrievoudiging.

Zelfs een zeer geringe elektrische verwarming leidt al direct tot een vrij aanzienlijke verhoging van het stroomverbruik. Een allereenvoudigst systeem zou zijn een systeem van met de hand in te schakelen verhitters, verdeeld in twee trappen. Deze kunnen alleen of beide tegelijk worden ingeschakeld, al naar gelang de weersomstandigheden.

Men dient te bedenken, dat het systeem, ook al wordt er verwarmd, een geventileerde bewaring betreft, al vindt er een langzame droging plaats. Het systeem kan niet in de eerste plaats als een droogstelsel worden gezien. Daarvoor duurt het drogen te lang.

## 2. HET DROGEN EN OPSLAAN OP CENTRALE ZAAIGRAANBEDRIJVEN

### 2.1 INLEIDING

Afgezien van het feit dat het zeer op het behoud van de kiemkracht aankomt, is het kenmerkende dat men met betrekkelijk kleine partijen te doen heeft en dat vermenging niet mag voorkomen.

Bij aanvoer en opslag in zakken was aan de hiermede samenhangende moeilijkheden redelijk goed het hoofd te bieden. Aangezien de tendens aanwezig is dat de zakken, althans bij de aanvoer en de tussentijdse opslag, dus vóór de uiteindelijke schoning, niet meer te pas zullen komen (te arbeidsintensief), krijgt men met bepaalde problemen te maken, temeer, daar het aangevoerde (gemaaidorste) produkt, vergeleken bij de omstandigheden van voorheen, meer vuil bevat, meestal veel vochtiger is en in grote hoeveelheden in kortere tijd binnenkomt en in bewerking genomen moet worden. De oudere bedrijven zijn meestal voor het werken met zakken ingericht en lenen zich voor het verwerken van losgestort produkt eigenlijk niet.

Het principe (zie figuur 61) zal dienen te zijn: de partijen na ontvangst opslaan in werksilo's, zo snel mogelijk daarna drogen, of in elk geval het vochtgehalte terugbrengen tot hoogstens 20%. Daarna opslaan in geventileerde silo's, zo spoedig mogelijk nadrogen tot een verantwoord peil en weer opslaan in geventileerde silo's. De silo's kunnen in het algemeen maar klein zijn (5—20 ton) in verband met de grootte van de onderscheiden partijen.

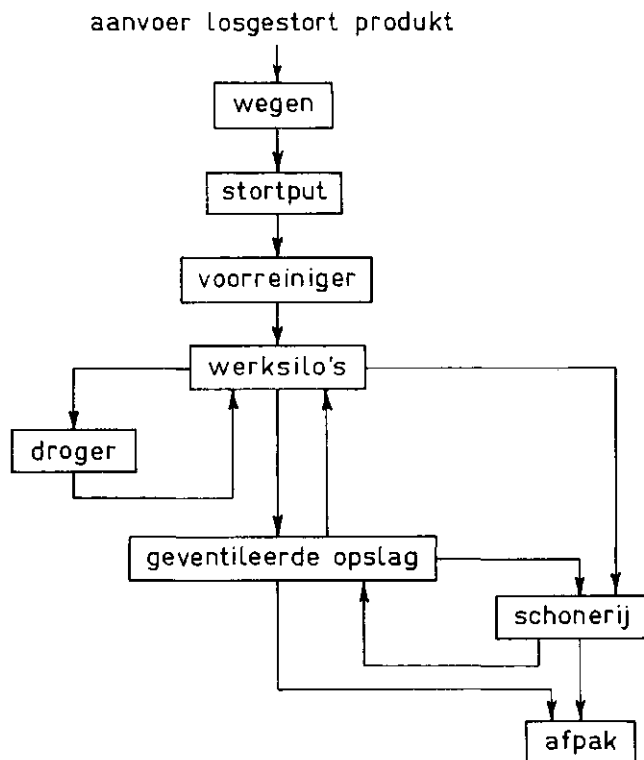
Dergelijke silo's (eigenlijk worden het dan meer geventileerde graanbakken, b.v. 2 m hoog) zijn in een aantal gevallen in de bestaande gebouwen op graanzolders e.d. te bouwen.

Grote moeilijkheden bij de bestaande bedrijven vormen de ontvangst, het interne transport tussen ontvangst en werksilo's, het transport van deze silo's naar de droger, van de droger naar de geventileerde opslagsilo's, van deze silo's naar de schonerij etc.

Nieuw te bouwen inrichtingen kunnen vaak met succes het kistensysteem toepassen (schema figuur 62). In oude panden die het karakter van graanpakhuizen met verdiepingen hebben, is het kistensysteem niet door te voeren.

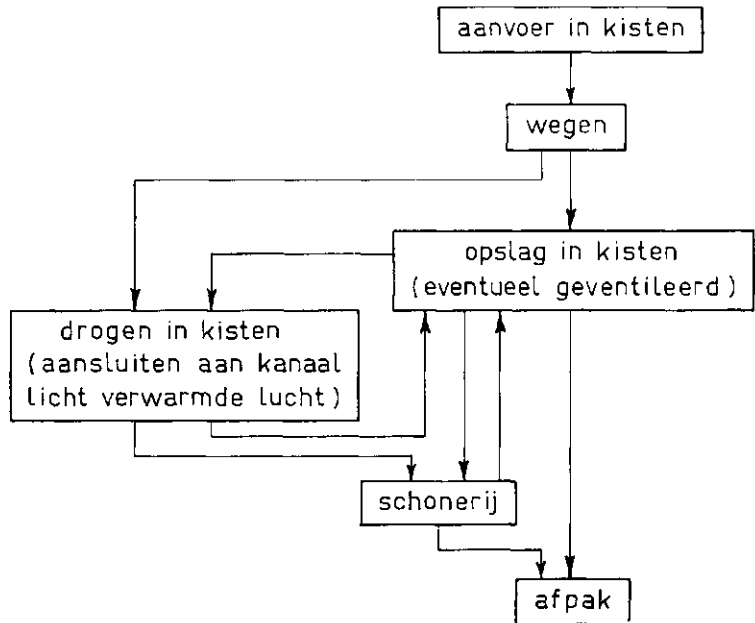
FIGUUR 61

SCHEMA VERWERKING ZAAIGRAAN MET LOSGESTORTE AANVOER



FIGUUR 62

SCHEMA VERWERKING ZAAIGRAAN OF PEULVRUCHTEN MET GEBRUIK-  
MAKING VAN KISTEN



Voorzover continu werkende drogers worden gebruikt is het beter verschillende kleine drogers te gebruiken dan één grote. Vaak heeft men één droger van het continu werkende type die eigenlijk niet goed gebruikt kan worden omdat de partijen te klein zijn. Als men in plaats daarvan meerdere kleine continu werkende drogers toepast geeft dit een verbetering. Deze dienen evenwel stuk voor stuk voorzien te zijn van een kaar voor nat en droog produkt van zodanige inhoud, dat de combinatie telkens geschikt is om een partij in zijn geheel op te slaan. De rol van deze karen kan bij een bepaalde opstelling en een bepaald transport door werksilo's worden overgenomen. Alleen op deze wijze is het bij toepassing van drogers van het continu werkende type mogelijk onderscheidene partijen in losgestorte toestand te verwerken.

De luchttemperatuur mag bij het drogen van zaaigoed in continu werkende drogers nimmer hoger zijn dan 65° C.

Continu werkende drogers zijn in principe alleen geschikt voor z.g. sneldrogende zaden en normaal drogende zaden. Hiermede wil niet gezegd zijn dat deze zaden niet met succes in discontinu werkende drogers gedroogd zouden kunnen worden. Overigens valt er veel voor te zeggen om voor zaadbedrijven discontinu werkende drogers toe te passen. Deze lenen zich in principe gemakkelijker voor het opvangen van een bepaalde partij in zijn geheel, het drogen van deze partij en het vervolgens afkoelen.

Vooraf voor langzaam drogende zaden (peulvruchten) is het discontinu drogen aan te bevelen (silodroging, kistendroging). De droogluchttemperaturen zijn hierbij lager.

## 2.2 HET DROGEN VAN ZAAIGRANEN

### 2.2.1 ALGEMENE GEZICHTSPUNTEN

In de inleiding zijn reeds enkele opmerkingen gemaakt over de drogers en de wijze van inpassing daarvan in het bedrijf, vooral bezien in het licht van de gewijzigde oogstmethoden.

Voor zaaizaden passen discontinu werkende droginrichtingen het beste (schema tabel 24 cat. C). Deze lenen zich in principe voor het in behandeling nemen van een gehele

partij, voor grote vochtonttrekkingen en voor een algehele koeling van de partij na het drogen.

De principes bij het discontinu drogen zijn hetzelfde als die voor geventileerde bewaring. In figuur 47 zijn de varianten aangegeven. Bij de drogers kan men te maken hebben met de varianten a, c, d en e.

## 2.2.2 HET DROGEN IN EEN VLAKKE LAAG

### 1. Algemene principes

Bij de hier bedoelde ladingsgewijs werkende drogers wordt met betrekkelijk dikke lagen gewerkt, anders dan bij de continu werkende drogers. De temperatuurverhogingen van de lucht moeten daarom niet te groot zijn. De luchtdoorvoer is volgens de varianten a, c en d (figuur 47).

Er zijn twee belangrijke zaken die men bij het langzaam drogen van een graanlaag met matig verwarmde lucht voor ogen moet houden, t.w.:

men krijgt onderin de laag een vochtgehalte, dat z.g. in evenwicht is met de toestand van de toegepaste drooglucht.

het verschil in vochtgehalte onder en boven in de laag hangt af van vier factoren, nl. van de dikte van de laag, het aanvangsvochtgehalte, de toegepaste luchthoeveelheid en de droogkracht van de lucht.

Ter toelichting van deze punten het volgende: bij een langzame droging, als waarbij het hier om gaat, staat het graan onderin de laag zolang vocht af tot het een vochtgehalte bereikt heeft, dat volgens de dampdrukisotherm in evenwicht is met de toestand van de drooglucht. Nu daalt de relatieve vochtigheid van de lucht bij verwarming, en wel zodanig, dat zelfs al bij vrij kleine verwarming een betrekkelijk lage relatieve vochtigheid ontstaat, waarmee een laag vochtgehalte van het graan correspondeert.

Nemen we ter illustratie aan, dat de luchtdruk gemiddeld 760 mm kwik bedraagt en het absolute vochtgehalte gemiddeld 9.3 gram/kg droge lucht, dan zal de lucht na opwarming tot verschillende temperaturen, relatieve vochtigheden aannemen volgens tabel 50 in welke tabel tevens de bijbehorende „evenwichts”-vochtgehalten van het graan zijn vermeld.

TABEL 50

TEMPERATUUR DROOGLUCHT, GEMIDDELD TE VERWACHTEN RELATIEVE VOCHTIGHEID (RV) VAN DE DROOGLUCHT EN „EVENWICHTS”-VOCHTGEHALTE GRAAN, ZOALS DIT ONDER IN DE LAAG WORDT

Temperatuur RV drooglucht		„Evenwichts”-vocht- gehalte onderin de laag	Temperatuur RV drooglucht		„Evenwichts”-vocht- gehalte onderin de laag
°C	%		°C	%	
13	100	± 26	27	41	± 11
14	92	„ 22	28	39	„ 10.5
15	86	„ 19	29	37	„ 10.5
16	80	„ 17.5	30	35	„ 10
17	76	„ 16	31	33	„ 10
18	71	„ 15	32	31	„ 10
19	67	„ 14	33	29	„ 9.5
20	63	„ 14	34	27	„ 9.5
21	59	„ 13	35	26	„ 9
22	55	„ 13	36	25	„ 9
23	52	„ 12	37	23	„ 9
24	49	„ 12	38	22	„ 8.5
25	46	„ 12	39	21	„ 8.5
26	43	„ 11	40	20	„ 8

*Opmerking:* Bovengenoemde waarden kunnen gemiddeld worden verwacht. In een bepaald geval kan het evenwichtsvochtgehalte 1 à 2 % naar boven of naar beneden afwijken.

Uit tabel 50 kan men aflezen dat, als men bijvoorbeeld een laag tarwe langzaam droogt met lucht van 25° C, men een goede kans heeft, onder de laag een droging te bereiken tot ± 12% vocht. Zou men lucht van 35° C toepassen, dan wordt onderin de laag waarschijnlijk een indroging verkregen tot ± 9% vocht. Deze vochtcijfers zijn bij droogproeven op dit gebied bevestigd.

Eigenlijk wil men geen vochtgehalte bereiken, dat b.v. onder 14% ligt. Dit betekent, dat men met lucht van 65% RV zou moeten drogen. Dergelijke lucht kan van nature ter beschikking staan, doch in vele gevallen is dit niet zo en is een kleine verwarming nodig. Zouden we dit doen en blazen we voldoende lucht in de laag graan, dan begint deze van onder op te drogen tot ± 14% vocht. De aldus toegepaste lucht heeft evenwel een geringe droogkracht en kan niet zo heel veel water opnemen, m.a.w. de droogcapaciteit (want deze hangt af van de hoeveelheid lucht en het vermogen om vocht op te nemen) is niet zo heel groot. Het wordt een langzame droging. Zouden we de laag erg dik nemen en zou het beginvochtgehalte vrij hoog zijn, dan duurt het zeer lang voordat de bovenste lagen droog worden (aan de beurt komen). Men loopt op deze wijze kans, dat de bovenste lagen, niettegenstaande de ventilatie, bederven.

Ventileert men zeer sterk, dan kan het gebeuren dat het vochtgehalte onderin nog niet tot het evenwichtspeil is teruggebracht, terwijl wat hoger op in een niet al te dikke laag ook al een zekere indroging heeft plaatsgevonden.

Het is duidelijk dat men in de praktijk dient te streven naar een redelijk compromis.

Op grond van proefnemingen en ervaring is in tabel 51 voor zaaigraan een praktische aanwijzing gegeven omtrent de samenhang tussen laagdikte, luchthoeveelheid en droogkracht (opgegeven als temperatuurverhoging van de lucht).

TABEL 51

PRAKTISCHE WAARDEN BETREFFENDE DE SAMENHANG VAN DE LAAGDIKTE, DE LUCHTHOEVEELHEID EN DE OPWARMING VAN DE LUCHT BIJ HET LADINGSGEWIJS DROGEN VAN ZAAIGRAAN

Opwarming lucht °C	Vochtgehalte graan %						Aan- duiding
	18	20	22	24	26	28	
5	2.30	1.80	1.25	0.75	0.45	0.25	A
	55	110	210	460	900	1600	B
	125	200	260	350	400	400	C
10	1.50	1.20	0.85	0.50	0.30	0.20	A
	110	180	340	720	1200	2000	B
	165	220	290	360	360	400	C
20	0.60	0.50	0.35	0.20	—	—	A
	380	550	1000	1900	—	—	B
	230	275	350	380	—	—	C

A maximale laagdikte in m

B minimale luchthoeveelheid in m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur.

C minimale luchthoeveelheid in m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> laagopp. per uur.

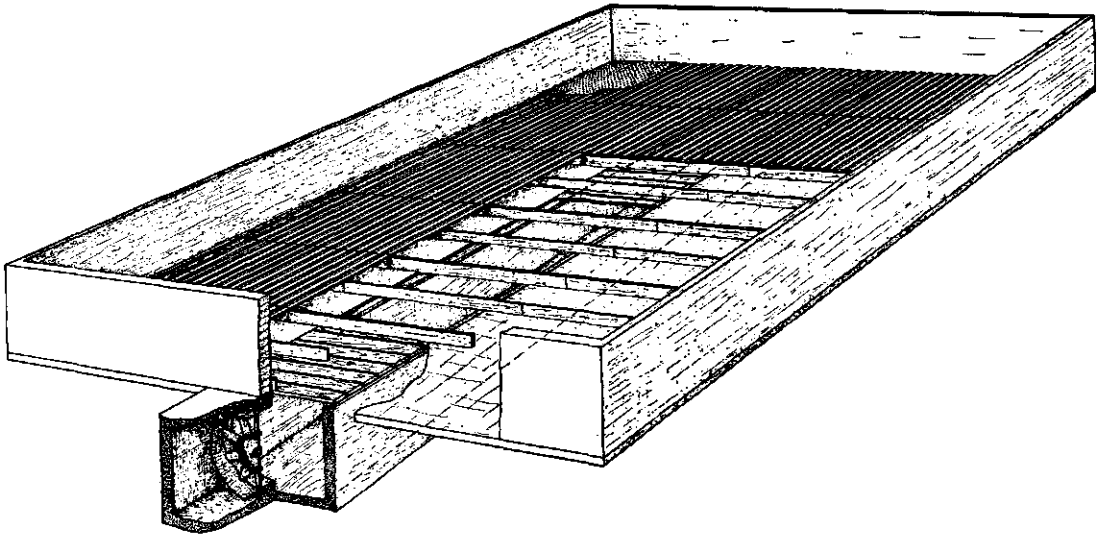


## 2. Uitvoeringsvormen van drogers in een vlakke laag

De eenvoudigste vorm is die van de droogvloer. In de figuren 63 en 64 zijn enkele uitvoeringsvormen geschetst.

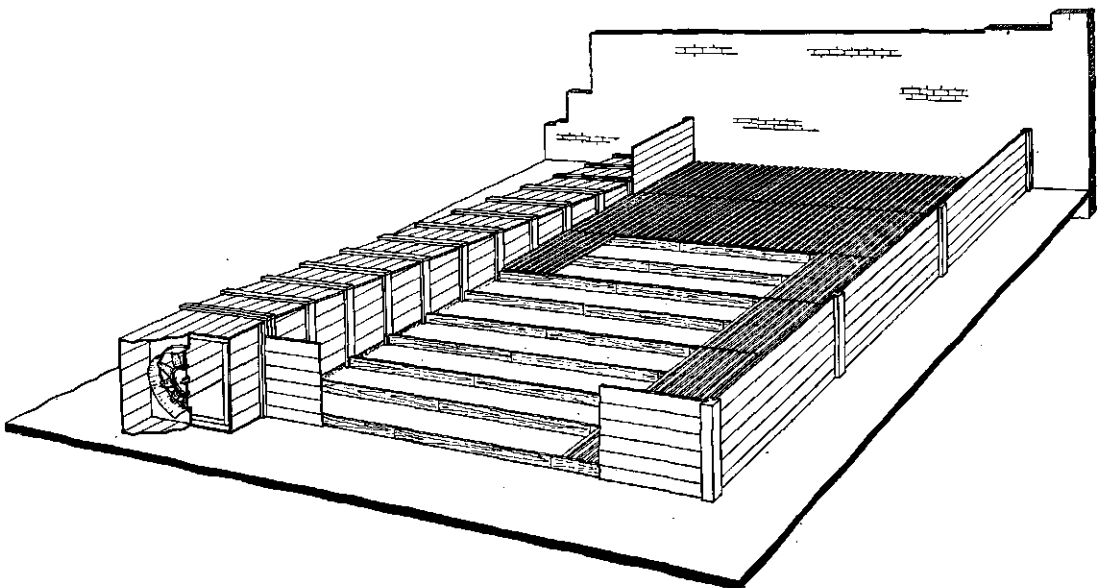
FIGUUR 63

EENVOUDIGE DROOGVLOER (DISCONTINU)



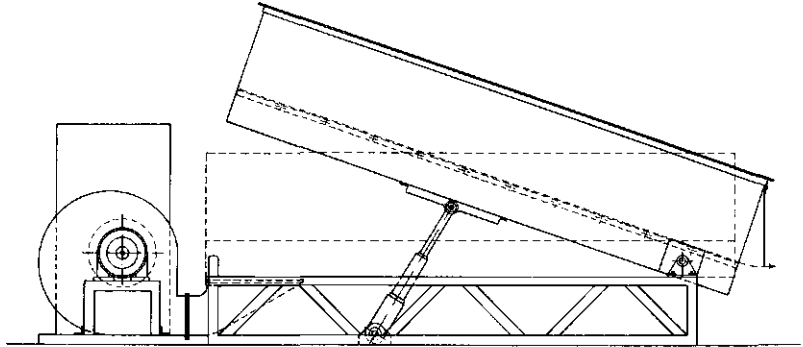
FIGUUR 64

DROOGVLOER MET BOVENGRONDS LUCHTKANAAL EN VERDEELELEMENTEN



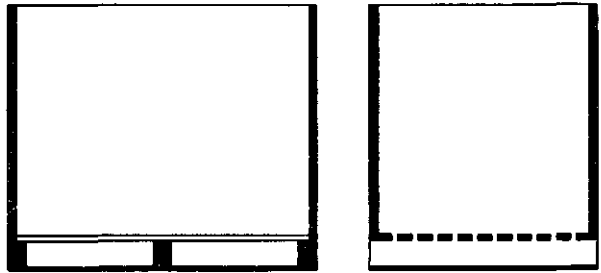
Eesten zijn in principe ook droogvloeren (figuur 65). Hetzelfde geldt voor kisten waarin wordt gedroogd.

FIGUUR 65  
OMKIPBARE DROOGVLOER (WOOLLEY)



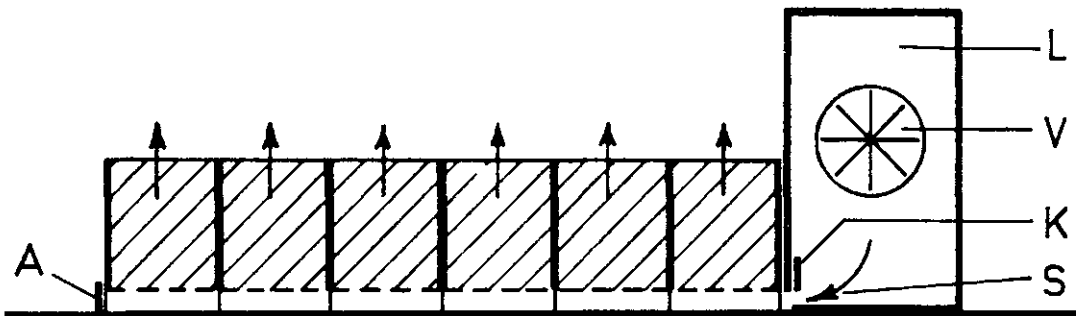
Men kan het best „dichte” of „gesloten” kisten toepassen (schematisch weergegeven in figuur 66).

FIGUUR 66  
EENVOUDIGE „GESLOTEN” KIST



Deze hebben dichte wanden en een geperforeerde bodem. Hiermede kan men het systeem van de droogvloer opbouwen. Men heeft dan geen last van luchtlekken uit de „zijwanden”. Wel blijft men luchtlekken houden tussen de kisten en aan de einden van de „dubbele bodems” (figuur 67).

FIGUUR 67  
SCHEMATISCHE AANDUIDING VAN HET PLAATSEN VAN „GESLOTEN” KISTEN AAN EEN CENTRAAL LUCHTKANAAL



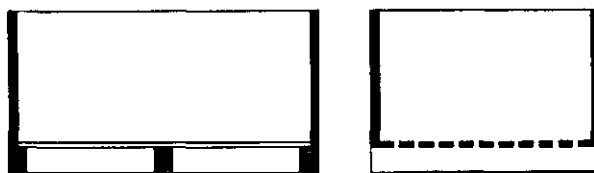
L = luchtkanaal  
V = ventilator  
S = spleet in luchtkanaal

A = afsluiting  
K = klep voor afsluiting spleet

Men zal bij voorkeur laagdikten toepassen van 1 m<sup>3</sup> omdat de standaardkisten ongeveer deze hoogte hebben. Volgens tabel 51 komt een dergelijke laagdikte niet in aanmerking voor zeer natte granen. Men kan daarom ook, speciaal ten behoeve van het drogen in kisten, denken aan „halve” kisten (figuur 68).

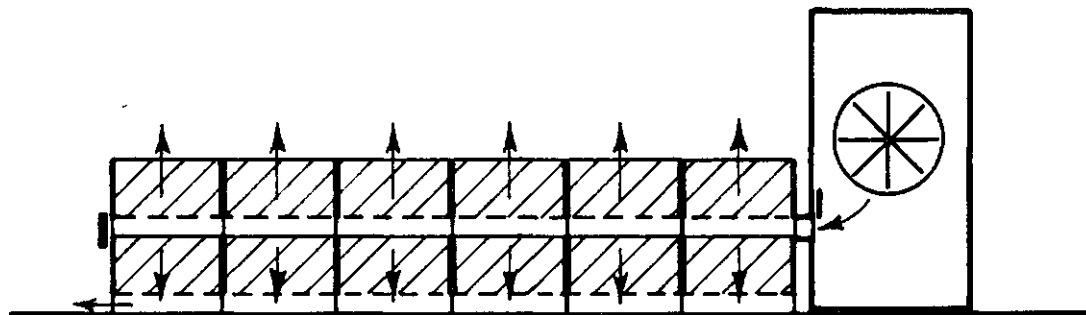
FIGUUR 68

EENVOUDIGE GESLOTEN „HALVE” KIST



Terwille van een ruimtebesparing (voorzover dit het vloeroppervlak betreft) zou men zich een drooginrichting kunnen voorstellen zoals geschetst in figuur 69. De halve kisten staan op elkaar. Iets dergelijks is ter besparing van ruimte ook mogelijk bij „hele” kisten (als het vochtgehalte toelaat om het produkt in dergelijke dikke lagen te drogen).

FIGUUR 69



3. De capaciteit bij het drogen in dikke lagen

INLEIDING

Voor de vele gevallen waarbij zaaigranen langzaam in een laag worden gedroogd is het gemakkelijk om de capaciteit te kunnen vaststellen of te voorspellen. In verband hiermede zijn enkele grafieken samengesteld, die van nut kunnen zijn.

Het gebruik ervan zal aan de hand van enkele voorbeelden worden verduidelijkt. Be-doeld worden de grafieken in de figuren 70, 71 en 72, waaruit te vinden is hoeveel drooglucht er nodig is voor het drogen van 100 kg nat graan met verschillend vochtge-halte en bij verschillende opwarmingsgraden van de drooglucht.

De grafieken gelden voor een gemiddeld vochtgehalte na het drogen van 17, 16 en 15%.

#### DROOGDUUR BIJ HET DROGEN OP EEN DROOGVLOER

Een en ander wordt verduidelijkt aan de hand van het volgende voorbeeld.

*Gegeven:* Een droogvloer wordt beladen met tarwe (75 cm dik, gewicht nat 550 kg per m<sup>2</sup>, vocht-gehalte 23 %).

De luchthoeveelheid is 400 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur. De opwarming is 10° C.

*Gevraagd:* De droogduur bij drogen tot gemiddeld 15 %.

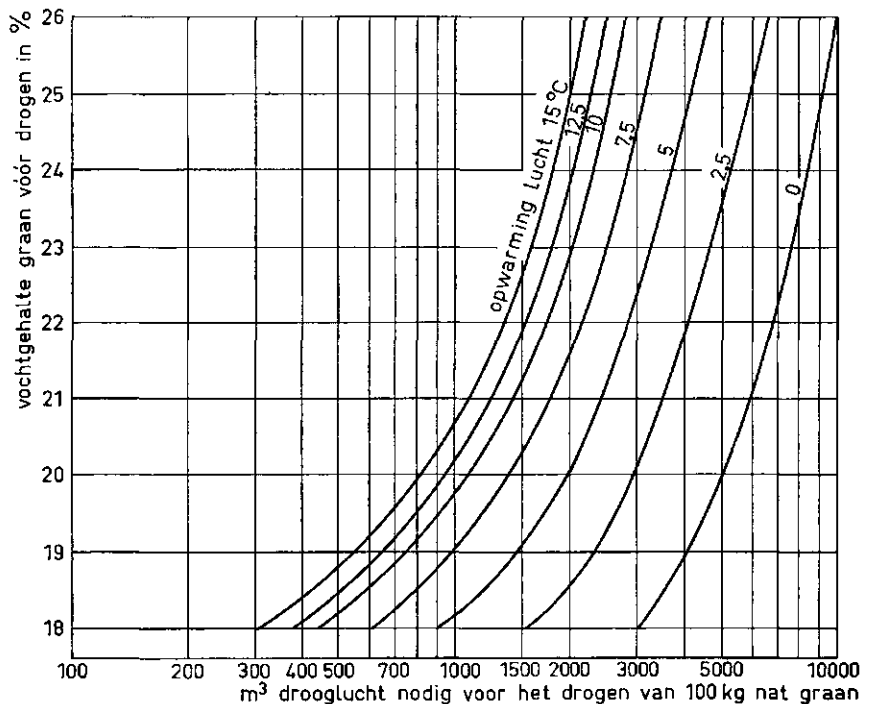
*Antwoord:* In de grafiek van figuur 72 (eindvochtgehalte 15 %) vindt men het aantal m<sup>3</sup> lucht benodigd voor drogen van 100 kg nat graan met 23 % vocht tot gemiddeld 15 %. Men vindt bij 10° C opwarming) ± 2600 m<sup>3</sup>.

Voor 550 kg per m<sup>2</sup> is dus nodig  $\frac{550}{100} \times 2600 = \pm 14300$  m<sup>3</sup> lucht.

Per uur wordt 400 m<sup>3</sup> gegeven, de droogduur is dus  $\frac{14300}{400} = \pm 36$  uur.

FIGUUR 70

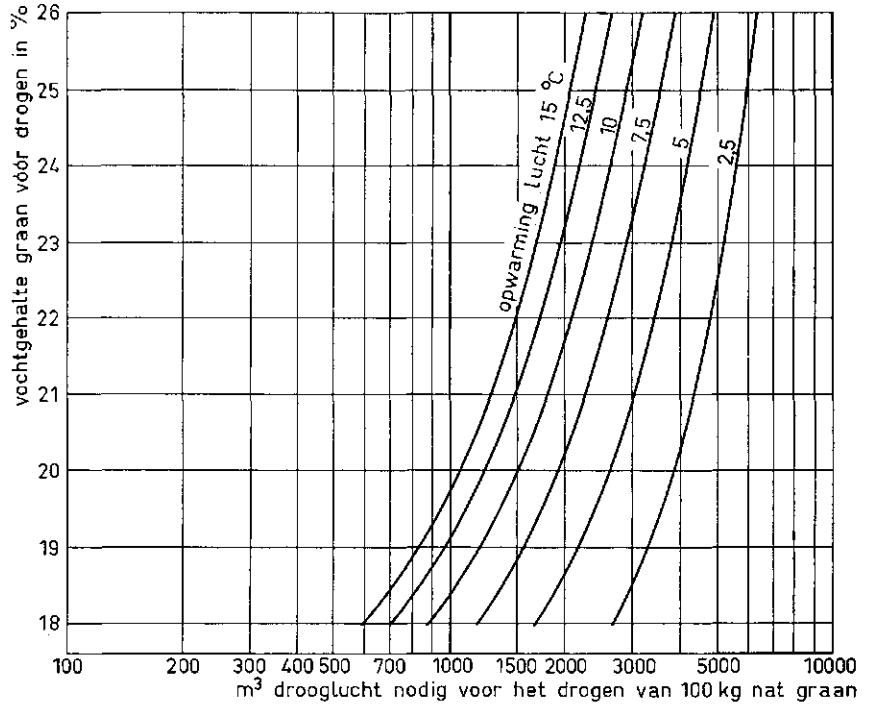
#### BENODIGDE HOEVEELHEID DROOGLUCHT IN M<sup>3</sup> VOOR HET DROGEN VAN 100 KG NAT GRAAN TOT ± 17% VOCHT



FIGUUR 71

BENODIGDE HOEVEELHEID DROOGLUCHT IN M<sup>3</sup> VOOR HET DROGEN VAN 100 KG NAT GRAAN TOT ± 16% VOCHT

Voor fig. 72 zie pag. 128



CAPACITEIT EN DROOGDUUR BIJ EEN VERTICALE SCHACHTDROGER (B.V. MANSHOLTDROGER)

Een voorbeeld ter verduidelijking.

*Gegeven:* 4 schachten, 6 m hoog, 2 m breed, 0.25 m dik.  
 Verlangde droogduur bij tarwe met 23 % vocht: 10 uur netto (gemiddeld eindvochtgehalte 17 %).

*Gevraagd:* Luchthoeveelheid en noodzakelijke temperatuurverhoging.

*Antwoord:* Het oppervlak van de laag is voor de vier schachten  $4 \times 6 \times 2 = 48 \text{ m}^2$ . De graaninhoud is  $48 \times 0.25 = 12 \text{ m}^3$ .

Aannemende dat het volumegewicht 750 kg per m<sup>3</sup> is, krijgt men als drogerinhoud  $12 \times 750 = 9000 \text{ kg}$  graan. Deze moeten in 10 uur gedroogd worden.

Hoewel een ladingsgewijs werkende droger niet elk uur een bepaalde hoeveelheid verwerkt kan men als rekenwaarde wel een capaciteit per uur gebruiken. Zo zou men in dit geval kunnen zeggen dat er per uur  $\frac{9000}{10} = 900 \text{ kg}$  nat graan gedroogd moet worden.

Volgens de grafiek van figuur 70 (eindvochtgehalte gemiddeld 17 %) is er voor 100 kg nat graan met 23 % vocht nodig:

bij een temperatuurverhoging van  $12\frac{1}{2}^\circ \text{C} \pm 1800 \text{ m}^3$  lucht.

bij een temperatuurverhoging van  $10^\circ \text{C} \pm 2000 \text{ m}^3$  lucht.

Voor 900 kg graan per uur is dus nodig  $\frac{900}{100} \times 1800 = \pm 16200 \text{ m}^3$  lucht bij  $12.5^\circ \text{C}$

opwarming of  $\frac{900}{100} \times 200 = \pm 18000 \text{ m}^3$  lucht bij  $10^\circ \text{C}$  opwarming (alles per uur).

Men kan b.v. kiezen  $16200 \text{ m}^3$  bij  $12.5^\circ \text{C}$  opwarming, hetgeen bij een totaal laagoppervlak van  $48 \text{ m}^2$  neerkomt op rond  $\pm 340 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur.

## DROOGDUUR BIJ HET DROGEN IN KISTEN

### Voorbeeld.

**Gegeven:** Men heeft graan met een volumegewicht van  $750 \text{ kg/m}^3$  en een vochtgehalte van  $24\%$  te drogen en graan met een volumegewicht van  $550 \text{ kg/m}^3$  en  $21\%$  vocht. Het gemiddelde eindvochtgehalte moet  $16\%$  zijn. Bij volle kisten is de luchthoeveelheid  $\pm 300 \text{ m}^3$  per kist per uur (bodemoppervlak  $1 \text{ m}^2$ ). In verband met de gegevens van tabel 51 wordt het graan met  $24\%$  slechts een halve meter dik gestort. Het graan met  $21\%$  vocht wordt  $1 \text{ m}$  dik gestort. Opwarming lucht  $10^\circ \text{C}$ .

**Gevraagd:** De droogduren.

**Antwoord:** Bij de half gevulde kisten zal de luchthoeveelheid wat groter zijn in verband met de mindere weerstand, b.v.  $350 \text{ m}^3$  per kist per uur. In de half gevulde kisten ligt  $\frac{1}{2} \times 750 = 375 \text{ kg}$  graan met  $24\%$  vocht. Volgens de grafiek van figuur 71 (eindvochtgehalte gemiddeld  $16\%$ ) is er voor  $100 \text{ kg}$  nat graan nodig  $\pm 2700 \text{ m}^3$  lucht.

Voor  $375 \text{ kg}$  is er dus nodig  $\frac{375}{100} \times 2700 = \pm 10.000 \text{ m}^3$ .

Per uur is de luchthoeveelheid  $350 \text{ m}^3$ , de droogduur wordt dus  $\frac{10000}{350} = \pm 29$  uur.

Voor het graan met  $21\%$  vocht is volgens dezelfde grafiek nodig:  $1800 \text{ m}^3$  lucht per  $100 \text{ kg}$  nat graan. Voor  $550 \text{ kg}$  dus  $\frac{550}{100} \times 1800 = \pm 10.000 \text{ m}^3$  lucht.

Per uur wordt  $300 \text{ m}^3$  gegeven, de droogduur is dus  $\frac{10000}{300} = \pm 34$  uur.

## HET DROGEN IN EEN CILINDRISCHE DROOGBLAASSILO MET BINNENBUIS

De volgende voorbeelden zullen een en ander verduidelijken.

### Voorbeeld 1

**Gegeven:** Diameter silo  $1.5 \text{ m}$ .  
Diameter binnenbuis  $0.5 \text{ m}$ .  
Hoogte  $5 \text{ m}$ .

Inhoud  $\frac{\pi}{4} (1.5^2 - 0.5^2) \times 5 = 7.8 \text{ m}^3$  ( $\pm 8 \text{ m}^3$  totaal).

Volumegewicht nat graan  $750 \text{ kg/m}^3$ .

Er wordt zaaigraan ingedroogd met  $24\%$  vocht. De temperatuurverhoging van de lucht is  $10^\circ \text{C}$ . In verband met de gegevens van tabel 51 wordt de luchthoeveelheid bepaald op  $750 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan per uur.

**Gevraagd:** De droogduur bij drogen tot gemiddeld  $17\%$  vocht.

**Antwoord:** De inhoud is  $8 \times 750 = 6000 \text{ kg}$  nat graan. Volgens de grafiek van figuur 70 (eindvochtgehalte  $17\%$ ) is er voor het drogen van  $100 \text{ kg}$  nat graan met  $24\%$  vocht bij een temperatuurverhoging van  $10^\circ \text{C}$  nodig  $\pm 2300 \text{ m}^3$  lucht.

Voor  $6000 \text{ kg}$  nat graan is dus nodig  $\frac{6000}{100} \times 2300 = \pm 138000 \text{ m}^3$  lucht.

Per uur wordt van de droger toegevoerd  $8 \times 750 = 6000 \text{ m}^3$ . De droogduur wordt dus  $\frac{138000}{6000} = \pm 23$  uur.

6000

Voorbeeld 2: Keuze ventilator bij de droogsilo van voorbeeld 1.

De ventilator moet  $750 \text{ m}^3$  lucht verplaatsen per  $\text{m}^3$  graan per uur. In totaal dus  $8 \times 750$  is  $6000 \text{ m}^3$  per uur.

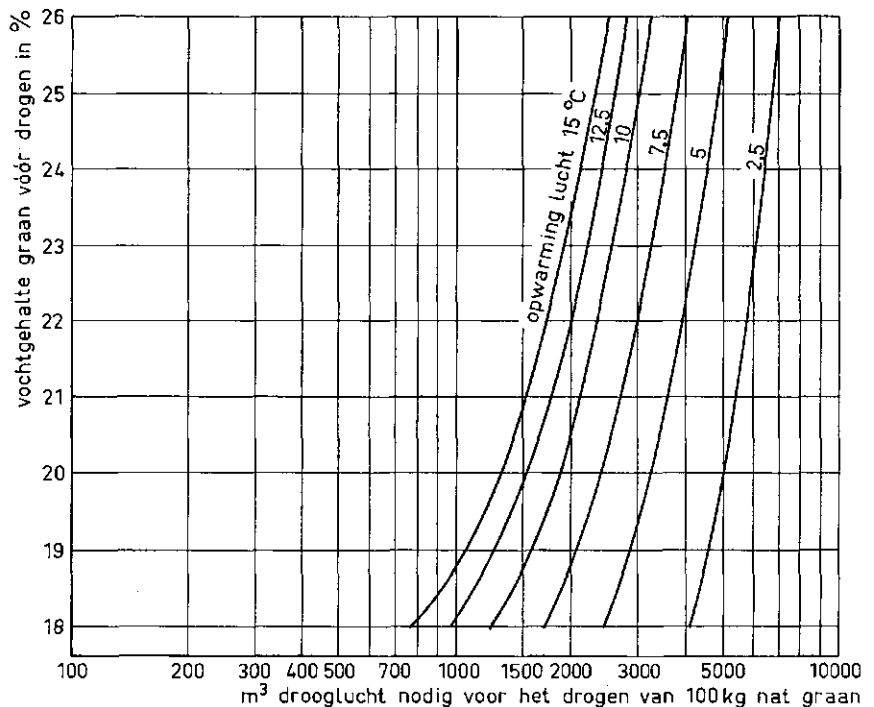
De luchthoeveelheid is  $750 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^3$  graan per uur. Als het graan in een vlakke laag lag zou de luchthoeveelheid in  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^2$  laagoppervlak per uur  $0.5 \times 750 = 375 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur zijn. Bij een laagdikte van  $0.5 \text{ m}$  zou de luchtweerstand volgens tabel 45 ongeveer de helft van  $40 \text{ mm WK}$  kunnen zijn (waarde gekozen van gerst), dus  $\pm 20 \text{ mm WK}$ .

In verband met het feit dat de laag gekromd is (oppervlak van uitstroming ruim 3 maal dat van instroming) moet er een correctiefactor worden toegepast die volgens figuur 58 ongeveer 1.3 zal zijn. De gecorrigeerde weerstand van de graanlaag wordt dus  $\pm 1.3 \times 20 = 26 \text{ mm WK}$ .

Laten we extra weerstanden in de luchtverhitter en de toevoerleidingen toe van  $\pm 14 \text{ mm WK}$  dan moet de ventilator voldoen aan de eis  $6000 \text{ m}^3$  per uur tegen een statische druk van  $26 + 14 = 40 \text{ mm WK}$ .

FIGUUR 72

BENODIGDE HOEVEELHEID DROOGLUCHT IN  $\text{M}^3$  VOOR HET DROGEN VAN 100 KG NAT GRAAN TOT  $\pm 15\%$  VOCHT



### 2.3 DE GEVENTILEERDE OPSLAG VAN ZAAIGRANEN

Voor de techniek kan verwezen worden naar hoofdstuk B 1.7. Voor zaaigranen evenwel moet het geventileerd bewaren van partijen met een vochtgehalte van meer dan 20% absoluut worden aangeraden. Men dient nat zaaigraan zo snel mogelijk te drogen, in elk geval eerst tot 20% vocht.

Het tijdelijk goed houden door geventileerd bewaren van zaaigranen met 19—20% vocht is evenmin aan te bevelen als men de opzet heeft dit graan alleen te koelen (zoals beschreven in B 1.7.5). Beter is het continu te ventileren en tevens langzaam te drogen (zoals beschreven in B 1.7.7). Hierbij zal men er in een droog jaar in slagen het vocht-

gehalte lager te krijgen dan 17—18%. Overigens is het voor zaaigranen aan te bevelen een zeer geringe verwarming toe te passen overeenkomstig het geschrevene in B 1.7.8 teneinde een wat lager vochtpercentage te krijgen, of althans het eindvochtgehalte van b.v. 16.5—17% in de hand te hebben. Het geventileerd bewaren van zaaigranen met 17—18% vocht zoals beschreven voor graan in B 1.7.6 kan wel worden toegepast. Ook hier is een kleine verwarming ( $\pm 1^\circ \text{C}$ ) als risicodekking aan te bevelen.

In tabel 52 zijn praktische waarden aangegeven ten aanzien van de samenhang tussen laagdikte, luchthoeveelheid en verwarming bij geventileerd bewaren van zaaigranen in losgestorte toestand.

Er zijn, daar het hier om zaaigoed gaat, ook vochtgehalten lager dan 17% opgenomen.

TABEL 52

PRAKTISCHE WAARDEN BETREFFENDE DE SAMENHANG VAN DE LAAGDIKTE, DE LUCHTHOEVEELHEID EN DE OPWARMING VAN DE LUCHT BIJ HET GEVENTILEERD BEWAREN VAN ZAAIGRAAN

Opwarming lucht °C	Beginvochtgehalte zaaigraan %						Aan- duiding
	15	16	17	18	19	20	
0	—	—	6	5	3	2	A
	—	—	20	25	75	110	B
	—	—	120	125	225	220	C
1.5	—	6	5	4	2	2	A
	—	20	25	50	110	125	B
	—	120	125	200	220	250	C
2.5	5	4	3	2.5	2	2	B
	25	50	75	100	110	125	
	125	208	225	250	220	250	

A = maximale laagdikte

B = minimale luchthoeveelheid  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^3$  per uur

C = minimale luchthoeveelheid  $\text{m}^3$  per  $\text{m}^2$  per uur



### 3. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN ZAAIZADEN

#### 3.1 INLEIDING

De aanvoer van zaaizaden geschiedt in de meeste gevallen nog steeds in zakken, veel zaad leent zich niet zo goed voor het los aanvoeren. Er is wel een wens in die richting, aangezien de moderne oogstmethode daartoe nopen. Het uit elkaar houden van de onderscheidene partijen geeft voor het losgestort ontvangen en verwerken evenwel grote moeilijkheden. Alleen bij zaadbedrijven die zeer grote partijen gelijksoortige zaden ontvangen is te denken in de richting van het losgestort ontvangen.

Bij veel zaden hebben de moderne oogstmethode tot resultaat dat het zaad zeer nat ter beschikking komt en met zeer veel vuil. Zijn de partijen dan nog verschillend in geaardheid (stromingseigenschappen, droogeigenschappen etc.) dan blijft het drogen in de zak eigenlijk voorlopig alleen over als hanteerbare methode. Bij het drogen in de zak heeft men het voordeel dat het zaad zonder vermenging en ongeschoond in een zeer vroeg stadium gedroogd wordt en dat er geen binding behoeft te zijn tussen het noodzakelijke onmiddellijke drogen en het als regel in een veel langzamer tempo plaatsvindende schonen. Er is dan ook gewoonlijk een aanzienlijke opslag van gedroogd maar nog niet geschoond zaad.

Ook het interne transport kan op deze wijze met moderne hulpmiddelen en zonder kans op vermenging plaatsvinden.

Men kan denken aan het drogen in kisten. Toch zijn er bij veel zaadsoorten wel enige bezwaren tegen dit systeem in te brengen. Zolang het om granen of peulvruchten gaat behoeft er geen bezwaar te zijn maar b.v. graszaden zijn veelal zo nat dat ze niet in dikke lagen kunnen worden gedroogd.

Het drogen in continu werkende drogers levert eveneens veel bezwaren op. De kans op vermenging is groot, herhaaldelijk schoonmaken is nodig. De stromingseigenschappen van het veelal zeer natte en vuile zaad lenen zich niet voor deze systemen. Bovendien is de vaak grote noodzakelijke vochtonttrekking niet goed door te voeren in één doorloop. Het zaad moet dan meerdere malen de droger passeren hetgeen het uit elkaar houden en tijdelijk opbergen van de partijen zeer gecompliceerd maakt.

Tenslotte is het streven te onderkennen dat men naast de drogerij op het centrale ontvangende bedrijf kleinere drogerijen in de teeltgebieden inricht, bij de teler of in een teeltgebied, die het zaad opvangen en onmiddellijk drogen of althans voldoende voordrogen om het zaad voor enige tijd te vrijwaren tegen bederf. Ook wordt de tijd overbrugd die verstrijken moet alvorens het zaad de definitieve droging ondergaat op het centrale bedrijf.

#### 3.2 HET DROGEN VAN ZAAIZADEN

Het continu drogen van zaaizaden kan in verticale doorstroomdrogers alleen goed verlopen als de stromingseigenschappen goed zijn. Fijne zware zaden (koolzaad - lijnzaad) lenen zich hiertoe. Aangezien de laagdikten in dergelijke drogers met betrekking tot deze fijne (sneldrogende) zaden als vrij groot moeten worden aangemerkt dient men met de luchttemperatuur niet hoger te gaan dan 50° C. Hetzelfde geldt voor deze zaden als het om schudeestdrogers gaat.

Voor de fijne lichte zaden kan men met de temperatuur van de lucht bij schudeestdrogers, evenals bij zaaigranen tot 65° C gaan.

Veelvuldig wordt gebruik gemaakt van discontinu werkende drooginrichtingen.

Droogvloeren, eestdrogers, bakdrogers, kistendrogers, schachtdrogers en droogsilo's werken alle volgens het principe, dat betrekkelijk dikke lagen (b.v. 20 cm tot 1 meter) met verwarmde lucht (max. 35° C) in dwarsstroom worden gedroogd. Hetzelfde geldt voor het drogen in de zak.

Daar het hierbij gaat om sneldrogende zaden, moeten de laagdikten kleiner zijn dan bij het drogen van normaal drogende zaden, zoals granen.

Tabel 53 geeft aan hoe het staat met de verhouding tussen opwarming van de lucht, laagdikte en luchthoeveelheid.

TABEL 53

PRAKTISCHE WAARDEN BETREFFENDE DE SAMENHANG VAN DE LAAGDIKTE, DE LUCHTHOEVEELHEID EN DE OPWARMING VAN DE LUCHT BIJ HET LADINGSGEWIJS DROGEN VAN ZAAIZADEN (GEEN GRANEN - GEEN PEULVRUCHTEN)

Opwarming lucht °C	Vochtgehalte zaad %				Aan- duiding
	15	20	25	30	
10	40-150	30-100	20-50	10-30	A
	750-200	1000-300	1500- 600	3000-1000	B
	300	300	300	300	C
15	30-100	20- 75	15-40	10-30	A
	1500-450	2250-600	3000-1100	4500-1500	B
	450	450	450	450	C
20	20- 75	15- 50	10-30	10-30	A
	3000-800	4000-1200	6000-2000	6000-2000	B
	600	600	600	600	C

A maximale laagdikte cm.

B minimale luchthoeveelheid m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur

C minimale luchthoeveelheid m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> laagopp. per uur.

Kleine laagdikten bij fijne zware zaden, grote laagdikten bij lichte zaden.

Voor wat betreft de inrichting van droogvloeren etc. kan verwezen worden naar figuur 73. In figuur 73 A, B en C zijn enkele grondprincipes schematisch getekend en toege-licht. Grote drogerijen met meerdere vloeren kunnen worden ingericht volgens figuur 73 A. De C.V.-ketel (warm water) staat in een apart ketelhuis.

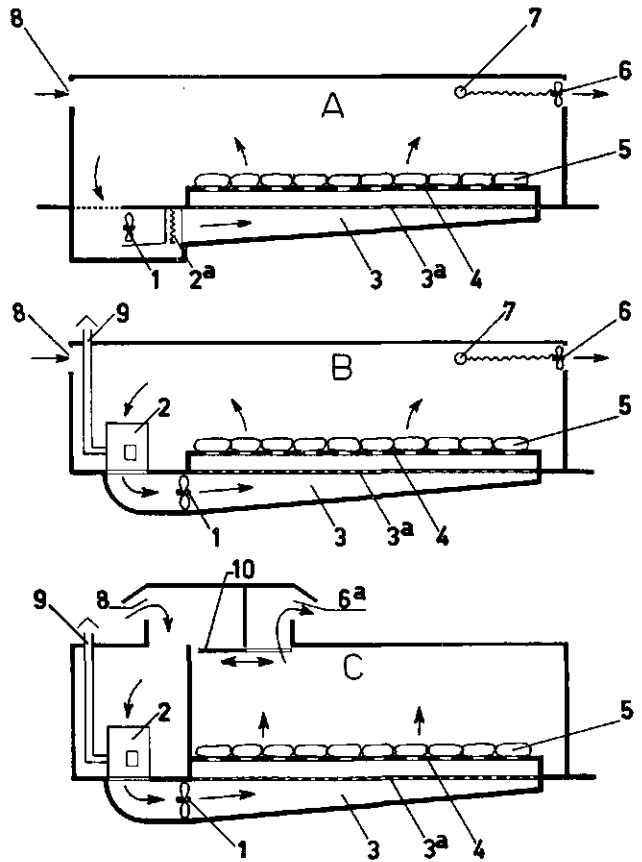
Bij droogvloeren waarop het zaad losgestort wordt gedroogd, levert het transport nogal bezwaren op. Bij het drogen in de zak is dit ook nog wel het geval; door het toepassen van banden of wagentjes die tussen perrons zijn aangebracht of kunnen rijden is hieraan in grote mate tegemoet te komen.

Zoals uit de toelichting van figuur 73 blijkt, is het principe gelijk bij het drogen in een laag of in de zak. Een zekere automatisering is mogelijk. In de eerste plaats kan er door afstelling van de contacthygrometer (figuur 73) voor worden gezorgd dat de afgewerkte lucht niet onverzadigd uit het systeem wordt gelaten (bevordering van de warmte-economie.) In de tweede plaats kan men schakelklokken installeren die na afgesteld te zijn de verhitter en vervolgens de ventilator stoppen. Men weet nl. uit ervaring na korte tijd hoe lang bij een bepaalde installatie zakken van een bepaald zaad met een zeker vochtgehalte moeten drogen. Indien 's nachts geen personeel aanwezig is kan de drogerij toch doorwerken. Als de laatste ploeg de vloeren beladen heeft kunnen de schakelklokken worden afgesteld. Bij binnenkomst van de eerste ploeg, de volgende dag, zijn de zakken gedroogd en gekoeld en kunnen onmiddellijk worden verwisseld.

FIGUUR 73

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN ENKELE MOGELIJKHEDEN VAN DE INRICHTING VAN EEN DROOGVLOER

(Getekend is een droogvloer met tegels, waarin gaten, waarop zakken liggen. Hetzelfde principe is ook mogelijk voor een droogvloer voor losgestort zaad of een ongedorst zaadgewas.)



1. Ventilator voor de droogvlucht.
2. Luchtverhitter (indirect, oliegestookt).
- 2a. Luchtverhitter, warmwaterelement, C.V. ketel niet getekend (voor grote drogerijen met b.v. meerdere vloeren).
3. Taps oplopend ondergronds luchtkanaal.
- 3a. Luchtverdeling.
4. Roostervloer of gatenvloer.
5. Materiaal.
6. Luchtuitlaat met speciale verversingsventilator.
- 6a. Luchtuitlaat zonder speciale verversingsventilator.
7. Contacthygrometer (commandeert ventilator 6).
8. Luchtinlaat (buitenlucht).
9. Schoorsteen (uitlaat rookgassen).
10. Schuif, handbediend, regeling verversing.

De ventilator 1 heeft hierbij tevens de taak de verversing van de lucht te bewerkstelligen, neemt dus tevens de taak van ventilator 6 op zich.

De handbediening van schuif 10 komt in de plaats van de contacthygrometer en relais no. 7.

De zakken liggen op tegels, waarin een gat is uitgespaard van bepaalde grootte (voor een graszaadzak afm. tegels 1.10 m x 0.65 m, afm. gat 0.55 x 0.28 m.

Soms worden voor gras- en bietenzaad tegels toegepast die wat langer zijn, 1.20 x 0.65 m, gat 0.65 x 0.28 m (omdat in sommige gevallen met langere zakken wordt gewerkt).

Voor granen afm. tegels 0.85 x 0.65 m, afm. gat 0.45 à 0.55 x 0.28 m. Een en ander kan in bepaalde gevallen verder variëren.

De gaten zijn van een vorm als aangegeven in figuur 74.

In figuur 75 vindt men een grafiek, waaruit de droogduur ten naaste bij is af te lezen als er met lucht van 30—35° C wordt gedroogd.

Uit figuur 76 volgt de tegendruk die moet worden verwacht.

Om te weten of een droging beëindigd is, kan men in één van de zakken twee thermometers steken, waarvan één de temperatuur op  $\frac{1}{4}$  en één die op  $\frac{3}{4}$  van de dikte van de zak aanwijst. Men moet de droging beëindigen en het koelen ( $\frac{1}{2}$ —1 uur) aanvangen als de aanwijzingen van de thermometers nog slechts  $\pm 3^\circ$  C van elkaar verschillen. (Deze waarde overigens in de praktijk vaststellen).

### Voorbeeld. (zakkendrogerij - graszaad)

*Gegeven:* Men wenst graszaad in de zak te drogen. Men rekent op een gemiddeld vochtgehalte van 22 % te brengen op  $\pm 14$  %. De zakken bevatten  $\pm 45$  kg zaad. Men wenst gemiddeld ongeveer 35 ton ( $\pm 780$  zak) per etmaal te drogen.

*Gevraagd:* Een globaal ontwerp, voldoende om offertes aan te vragen.

#### *Oplossing:*

Er kan gerekend worden op dag en nacht drogen. Hierbij wordt gedacht aan een droogduur, inclusief weghalen en neerleggen en inclusief koelen van  $\pm 7$  uur tot 10 uur. De langste droogduur zou voor de nacht in aanmerking komen. Dit betekent dat de natste partijen voor de nacht gereserveerd moeten blijven terwijl overdag bij b.v. een 2-ploegenstelsel, tweemaal een droogcyclus moet worden bewerkstelligd.

Volgens figuur 75 zal bij een vochtonttrekking van  $\pm 8$  % een droogduur van  $\pm 7$  uur bereikt kunnen worden als er per zak een luchthoeveelheid van + 300 m<sup>3</sup> per uur wordt gegeven.

De temperatuur van de drooglucht zal tot 35° C moeten worden opgevoerd met de mogelijkheid deze temperatuur nog iets verder te verhogen.

Wanneer men de zakken op perrons legt (gevormd door tegels afm. 65 x 110 cm) kan men tussen de perrons zijpaden vrij houden voor het interne transport met b.v. wagentjes die getrokken worden (4 stuks) door een trekker (elektrisch - accubatterijen). Een pad ter breedte van  $\pm 2$  meter kan 2 perrons (ter weerszijden) bedienen.

Op elk perron liggen b.v. 66 zakken. Eén perron wordt bediend door één ventilator en één door water verwarmde luchtverhitter. Eén perron droogt gemiddeld 196 zakken per etmaal, als men 4 perrons (2 paden) projecteert wordt aan de eis, 780 zakken per etmaal, voldaan.

Een perron wordt 2.20 breed en 33 x 0.65 = 21.5 m lang. Rekening houdend met de paden en de ruimte voor verhitters, ventilatoren etc. is een gebouw vereist van  $\pm 27.5$  x 13 m. De hoogte zal  $\pm 2\frac{1}{2}$  — 3 m zijn.

### Ventilatoren voor de drooglucht (figuur 73 - 1)

De statische tegendruk waarop gerekend moet worden is volgens figuur 76 ruim 70 mm WK voorzover het de zak betreft. Rekening houdende met extra weerstanden doet men goed een ventilator te bestellen die aan de volgende eisen voldoet:

debiet 66 x 300 =  $\pm 20000$  m<sup>3</sup>/uur

statische tegendruk 85—90 mm WK

begrensd krachtverbruik (de aandrijfmotor mag niet doorbranden als per abuis op een aantal gaten geen zaad zou liggen terwijl de ventilator draait)

totaal 4 stuks benodigd.

### Luchtverhitters (4 stuks) (figuur 73 2a)

Deze moeten per stuk 20.000 m<sup>3</sup> lucht per uur  $\pm 20^\circ$  C kunnen opwarmen. De luchtweerstand mag niet meer bedragen dan  $\pm 8$  mm WK.

De temperatuur van de verwarmde lucht moet thermostatisch geregeld worden door middel van mengregeling van het water.

### Centrale verwarmingsketel

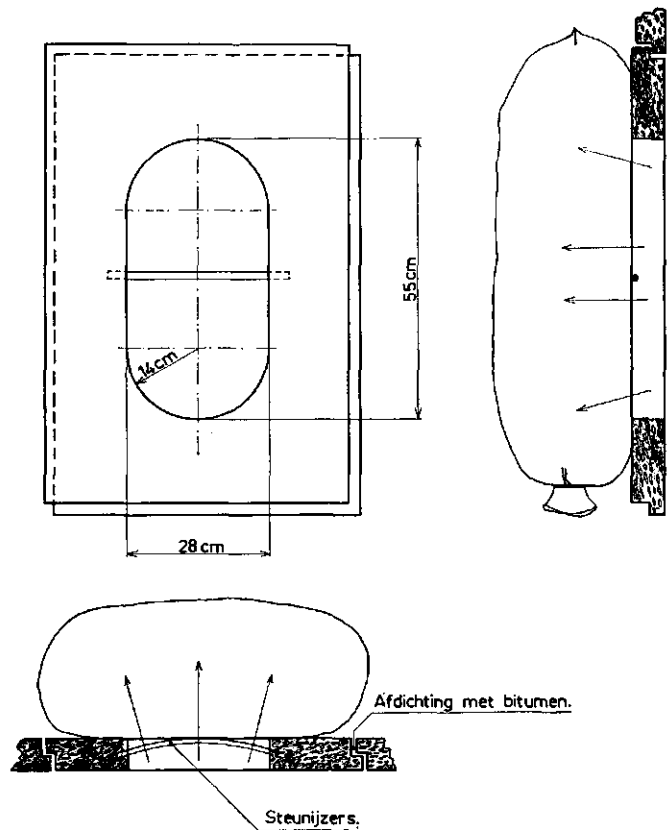
Deze moet voldoende groot zijn om de vier luchtverhitters tegelijk te bedienen. Het water wordt door een circulatiepomp door de verhitters geperst. Door de mengregeling op de verhitters moet er voor gezorgd worden dat het water in de ketel zo heet mogelijk blijft.

### Luchtverversing

De verversingsventilatoren (figuur 73 - 6) moeten voldoende debiet leveren om ongeveer de helft à een derde van de totale drooglucht-ventilatorcapaciteit te verplaatsen tegen een druk van  $\pm 6$ —8 mm WK.

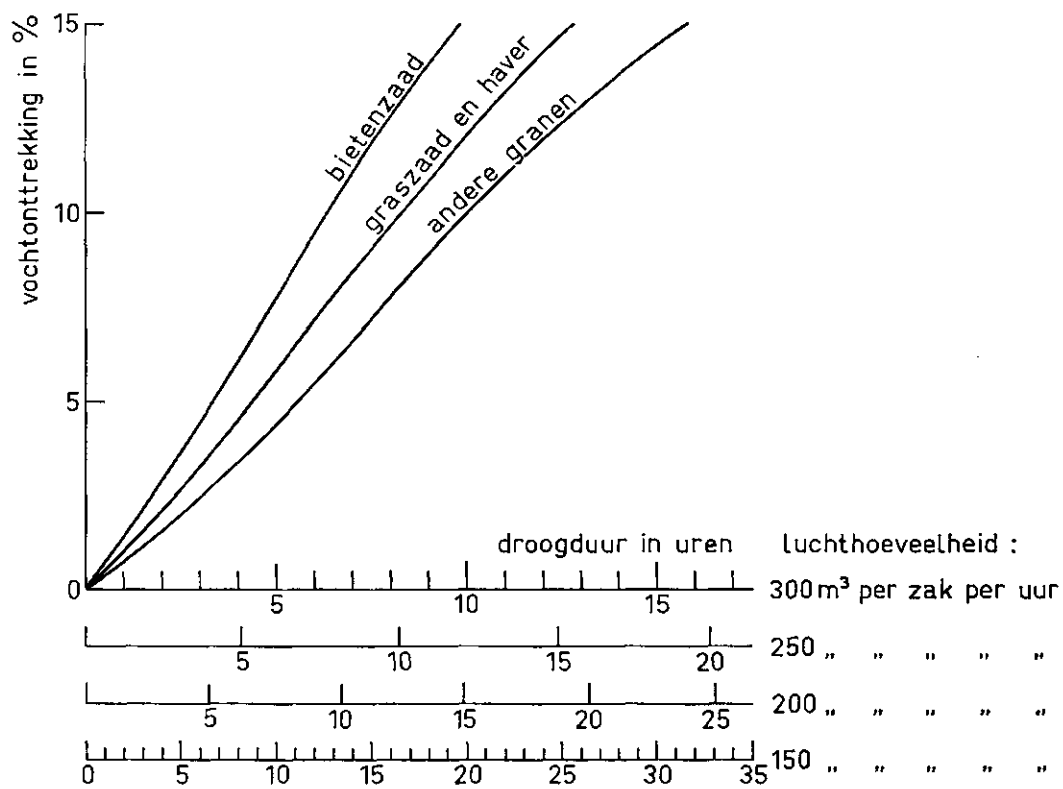
FIGUUR 74

BETONNEN TEGEL MET GAT VOOR HET DROGEN VAN ZAAD IN DE ZAK



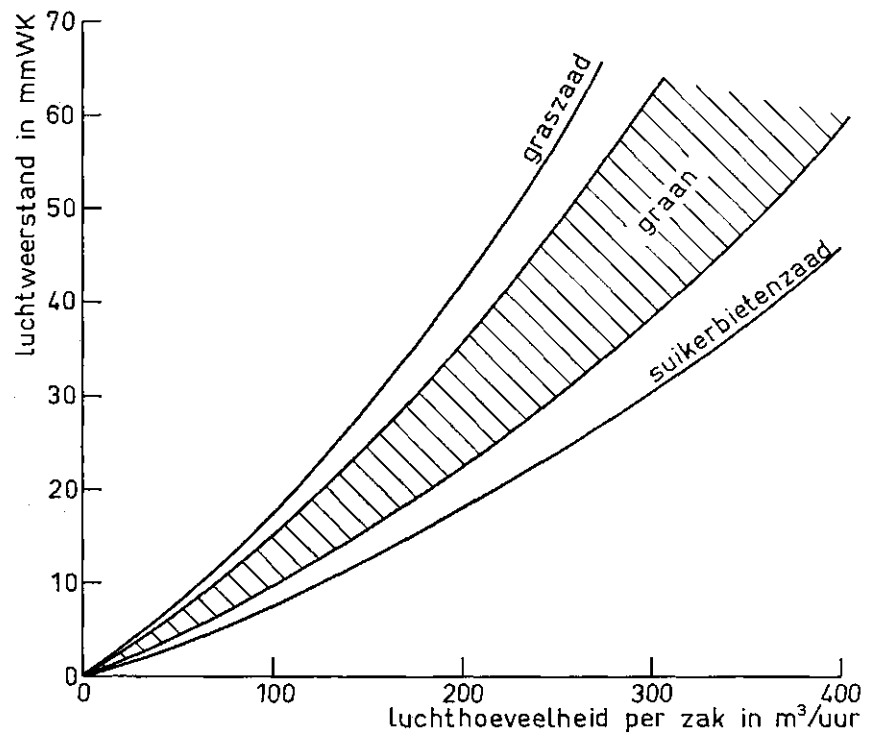
FIGUUR 75

TE VERWACHTEN DROOGDUUR BIJ HET DROGEN VAN ZAAD IN DE ZAK



FIGUUR 76

TE VERWACHTEN STATISCHE LUCHTWEERSTAND BIJ HET DROGEN VAN ZAAD IN DE ZAK



Eis dus:  $\pm 35000 \text{ m}^3/\text{uur}$  bij 6—8 mm WK  
b.v. 2 stuks, elk van 17500 bij 6—8 mm WK.

Ze kunnen door een afgestelde contacthygrometer automatisch worden ingeschakeld als de R.V. in de ruimte b.v. hoger wordt dan 80 % om weer gestopt te worden als de R.V. daalt tot beneden 70 %.

Een en ander werkt de warmte-economie in de hand.

Een aanzuigmogelijkheid voor verse buitenlucht (figuur 73 - 8) moet groot genoeg zijn om de versingslucht ( $35000 \text{ m}^3/\text{uur}$ ) door te laten met een snelheid van b.v. maximaal 2 m/sec. De doortocht

moet dus zijn  $\frac{36000}{3600 \cdot 2} = 5 \text{ m}^2$ .

#### Het plafond

Dit moet redelijk geïsoleerd zijn zodat de oppervlaktetemperatuur niet te laag kan worden en er geen vocht aanslaat.

#### Luchtverdeling

In de luchtkanalen geen hogere snelheden toelaten dan  $\pm 8 \text{ m/sec}$ . Kanalen taps laten oplopen tot  $\pm 20 \text{ cm}$ .

Bovenzijde kanalen afdekken met planken waartussen spleten. Totaaloppervlak spleten gelijk nemen aan de begindoortocht van het luchtkanaal.

De lucht die uit het kanaal door de spleten treedt komt in de ruimte onder de tegels waarop de zakken liggen.

Deze ruimte vormt het inwendige van een perron.

#### Eventuele toepassing van tijdschakelaars

Deze kunnen worden toegepast om des nachts automatisch een luchtverhitter resp. de ventilator te laten uitschakelen. De tijdstippen moeten op grond van ervaring gekozen worden i. v. m. de partij en het vochtgehalte.

### 3.3 DE OPSLAG VAN ZAAIZADEN

Voor de getaxeerde vochnormen kan verwezen worden naar de tabellen 12, 13, 14, 15 en 16 en naar de figuren 6, 7 en 8.

Uit de figuren is af te lezen tot welke relatieve evenwichtsvochtigheid gedroogd moet worden (en verder bewaard moet worden) als men een bepaalde zaad een bepaalde tijd bij de te verwachten temperatuur wenst op te slaan.

#### Voorbeeld.

Men wenst graszaad (Eng. raaigras) 30 weken op te slaan. Als opslagtemperatuur verwacht men  $15^\circ \text{C}$ . In tabel 13 vindt men als opslagtijd bij  $15^\circ \text{C}$  voor 13 % vocht 45 weken en bij 14 % vocht 26 weken. Het noodzakelijke vochtpercentage zal dus bij  $\pm 13.7 \%$  liggen, terwijl men er goed aan doet het voor de zekerheid tot een wat lager peil te brengen.

In het algemeen hangt de relatieve vochtigheid van de lucht in het pakhuis samen met de temperatuur. De wanden van de meeste pakhuizen zijn vochtdoorlatend; het absolute vochtgehalte binnen en buiten het pakhuis is vrijwel gelijk. Dit betekent dat de relatieve vochtigheid in het pakhuis lager zal zijn dan buiten, als de temperatuur binnen hoger is dan buiten, of omgekeerd dat de relatieve vochtigheid binnen hoger is dan buiten als de temperatuur in het pakhuis lager is dan buiten. De laatste omstandigheid kan voorkomen in het voorjaar als het buiten warmer wordt terwijl pakhuis en zaad nog koud zijn na de winteropslag.

Als men geen al te ingrijpende maatregelen neemt of wenst te nemen is het goed het volgende voor ogen te houden:

A niet bepaald koel wel vochtig	zeer slechte bewaaromstandigheden
B koel maar vochtig	vrij slechte bewaaromstandigheden
C niet koel maar niet vochtig	redelijke bewaaromstandigheden
D koel en droog	zeer goede bewaaromstandigheden



De omstandigheden onder D zijn alleen te bereiken door kunstmatige koeling en droging van de lucht. De omstandigheden sub. A en B moet men vermijden (kelderatmosferen). De omstandigheden sub C zijn, als het om een eenvoudige inrichting gaat, te prefereren. Dergelijke omstandigheden zijn b.v. op luchtige zolders met een goed geïsoleerd dak (niet te veel instraling) aanwezig.

Een dergelijke zolderatmosfeer is in bepaalde gevallen in een opslagloods te imiteren door een geringe verwarming toe te passen die zo nodig kan worden aangezet. Een goede maatregel kan zijn een vloerverwarming, die in staat is om de temperatuur in het pakhuis 3 à 4 graden Celcius hoger te houden dan de buitentemperatuur (in perioden waarin het buiten wel koel maar vochtig is).

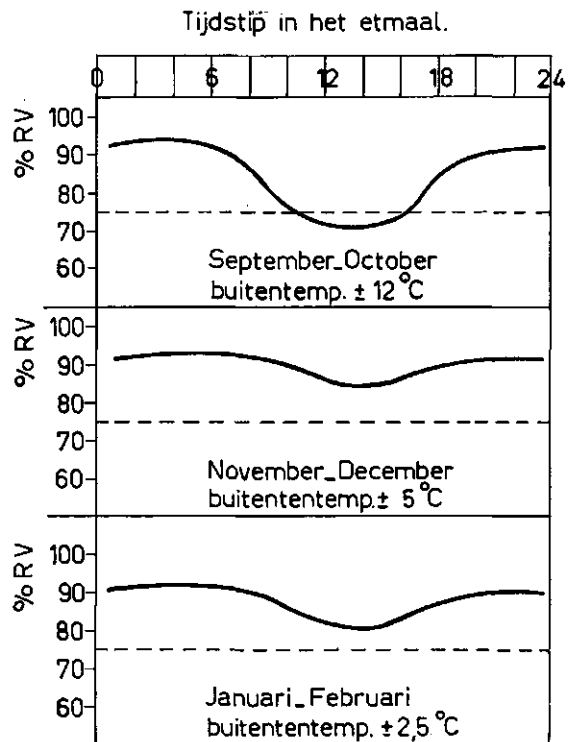
In figuur 77 ziet men voor de perioden september en oktober, november en december en januari en februari het globaal gemiddeld verloop van de relatieve vochtigheid in het midden van ons land geschetst. Ter oriëntering zijn verder lijnen voor 75 R.V. aangegeven en zijn de gemiddelde temperaturen vermeld.

Indien een pakhuis vrij vol gestapeld ligt met zaad, zal de temperatuur in het pakhuis vaak zonder verwarming gedurende een vrij lange tijd een dalend aantal graden Celcius hoger liggen dan de buitentemperatuur. Een verwarming is dan verder niet nodig. Alleen op de vloer kunnen lagere temperaturen heersen en plaatselijk zal de R.V. hoger kunnen zijn. Men doet daarom goed om de zakken vrij van de vloer te leggen en de ruimte onder de zakken open te houden voor luchtverversing. Ook is het gunstig als de vloer enigszins isolerend is. Is dit niet het geval dan zou een lichte vloerverwarming een goed resultaat kunnen hebben.

Vooraf in pakhuisen, die niet vol liggen is het zaak om een geringe kunstmatige verwarming toe te passen waardoor in de maanden september en oktober 's nachts en in de maanden november t/m februari het gehele etmaal binnen een temperatuur gehandhaafd wordt die  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  hoger ligt dan het niveau buiten. Dit heeft dan tot gevolg dat de R.V. in het pakhuis  $\pm 15\%$  lager ligt dan die welke buiten heerst, zonder dat het temperatuurniveau te hoog wordt.

FIGUUR 77

GLOBAL GEMIDDELD VERLOOP VAN DE RELATIEVE VOCHTIGHEID IN NAJAAR EN WINTER. (LIJNEN VOOR 75% R.V. TER ORIËNTERING)



## 4. HET DROGEN EN OPSLAAN VAN PEULVRUCHTEN OP CENTRALE BEDRIJVEN

### 4.1 INLEIDING

In A 3.4 is reeds uiteengezet dat peulvruchten tot de langzaam drogende zaden moeten worden gerekend. Het evenwichtsvochtgehalte ligt over het algemeen wat hoger dan dat van andere zaden. Het bewaren leverde, als het vochtgehalte onder de vroeger geldende oogstomstandigheden tot  $\pm 19\%$  was gedaald, geen bijzondere moeilijkheden op.

Het kunstmatig drogen van peulvruchten is wel moeilijk, vooral bij bonen. Deze moeilijkheden zijn er zeker niet minder op geworden nu er nieuwe arbeidsbesparende oogstmethoden zijn ingevoerd, b.v. het uit het zwad dorsen van groene erwten.

De eisen die aan het produkt gesteld worden kunnen voorzover het om drogen en bewaren gaat samenhangen met de kiemkracht (als het om zaaigoed gaat) of met de kook-eigenschappen en het uiterlijk.

TABEL 54

PRAKTISCHE WAARDEN BETREFFENDE DE SAMENHANG VAN DE LAAGDIKTE, DE LUCHTHOEVEELHEID EN DE OPWARMING VAN DE LUCHT BIJ HET LADINGSGEWIJS DROGEN VAN PEULVRUCHTEN (ZAAIGOED)

Opwarming lucht °C	Vochtgehalte erwten						Aan- duiding
	20	22	24	26	28	30	
5	2.5	1.75	1.25	1.-	0.75	0.60	A
	80	150	280	400	530	670	B
	200	260	350	400	400	400	C
10	1.50	1.25	1.-	1.-	0.75	-	A
	170	240	400	500	670	-	B
	250	300	400	500	500	-	C
Opwarming lucht °C	Vochtgehalte bonen						Aan- duiding
	20	22	24	26	28	30	
3-4	2.5	1.75	1.25	1.-	0.75	0.60	A
	80	150	280	400	530	670	B
	200	260	350	400	400	400	C

A maximale laagdikte m

B minimale luchthoeveelheid  $m^3$  per  $m^3$  per uur

C minimale luchthoeveelheid  $m^3$  per  $m^2$  per uur

## 4.2 HET DROGEN VAN PEULVRUCHTEN

In tabel 54 vindt men praktische waarden betreffende de samenhang tussen laagdikte, luchthoeveelheid en temperatuurverhoging van de lucht bij het ladingsgewijs drogen van peulvruchten (zaaigoed). Bedoeld wordt het drogen op droogvloeren, in kisten of in lage silo's e.d. Zoals uit de tabel blijkt dient men voor bonen geen grotere opwarming van de lucht toe te passen dan 3—4° C.

Bij proeven is gebleken, dat men met drogingen zoals in tabel 54 is aangegeven t.a.v. de kookkwaliteit zelfs bij de betrekkelijk kleine temperatuurverhogingen, niet de optimaal mogelijke kookkwaliteit bereikt, althans bij erwten. Een zeer langzame droging bij zeer gematigde temperatuur leidt tot de beste kookkwaliteit (zie 4.3).

## 4.3 GEVENTILEERDE OPSLAG VAN PEULVRUCHTEN

Als men werkelijk tot een goede kookkwaliteit wenst te komen blijkt een droging tijdens de opslag, door middel van het ventileren met niet of zeer weinig verwarmde lucht, een goede oplossing te bieden (28).

Tabel 55 geeft de aanbevolen laagdikten en luchthoeveelheden aan. Deze droogmethode omvat uiteraard tevens de geventileerde opslag in bulk. De periode van onafgebroken ventilatie is ongeveer één à anderhalve maand.

TABEL 55

PRAKTISCHE WAARDEN BETREFFENDE DE SAMENHANG VAN DE LAAGDIKTE, DE LUCHTHOEVEELHEID BIJ HET GEVENTILEERD BEWAREN, TEVENSLANGZAAM DROGEN VAN PEULVRUCHTEN (CONSUMPTIE)

Opwarming lucht °C	Vochtgehalte peulvruchten						Aan- duiding
	19	20	22½	25	27½	30	
0	4.-	3.-	2.5	2.-	1.50	1.0	A
	75	120	200	300	450	650	B
	300	360	500	600	680	650	C
2	3.-	2.5	2.-	1.5	1.25	—	A
	60	80	120	200	280	—	B
	180	200	240	300	350	—	C

A maximale laagdikte m

B minimale luchthoeveelheid m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> per uur

C minimale luchthoeveelheid m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur

## 5. ENKELE KORTE ALGEMENE OPMERKINGEN AANGAANDE HET DROGEN VAN ZAAIZADEN

1. Het verdient altijd aanbeveling om zich, voordat men tot het inrichten van een drogerij overgaat, door een deskundige te laten voorlichten. Dit kan teleurstellingen en schade voorkomen. De inrichting van een drogerij hangt niet alleen samen met de eigenschappen van de zaden, maar ook met het assortiment, de aard van het bedrijf, de variatie in grootte van de partijen, de beschikbare ruimte, de inrichting van het interne transport etc.
2. Men kan de zaden onderscheiden in langzaam-, normaal- en sneldrogende zaden. Hiermede wordt bedoeld, dat een korrel langzaam, normaal of snel het overtollige vocht kwijt kan raken, bij dezelfde uitwendige droogomstandigheden (snelheid, temperatuur en relatieve vochtigheid van de drooglucht).  
In het algemeen behoren de grote zaden zoals peulvruchten tot de langzaam drogende, granen tot de normaal drogende en fijne zaden tot de sneldrogende soort.
3. Men handelt in principe niet juist als men van tevoren een bepaalde droogtijd na wil streven. De zaden zelf namelijk stellen hun specifieke eisen.  
Wel kan men een eis stellen betreffende de capaciteit (kg per etmaal, tonnen per week etc.).
4. De capaciteit van een droger wordt in principe beheerst door de hoeveelheid drooglucht en de droogkracht, waarbij de droger goed moet zijn ingericht.  
Bij langzaam drogende zaden moet men vrij dikke lagen toepassen om een redelijk warmterendement te verkrijgen. Bij sneldrogende zaden moet men dünnere lagen toepassen.
5. Veel lucht is geen bezwaar; de gelijkmatigheid van de droging van de laag wordt er door bevorderd. Een praktische grens wordt gesteld door het krachtverbruik. Een recirculatie van lucht (een deel van de afgewerkte lucht iets verwarmen en opnieuw gebruiken) bevordert de warmte-economie, vooral tegen de tijd dat de zaden al vrij droog zijn.
6. Aan de temperatuur van de lucht moeten grenzen worden gesteld. Men maakt vaak de fout door te veronderstellen dat een goede droging en een bepaalde nagestreefde capaciteit alleen mogelijk zijn door het opvoeren van de luchttemperatuur. Men dient te bedenken, dat de korreltemperatuur een bepaalde grens niet mag overschrijden.
7. Een controle op de korreltemperatuur tijdens het drogen in de praktijk is moeilijk. De korreltemperaturen variëren in een laag. Het is beter een controle toe te passen op de luchttemperatuur.
8. Continu werkende drogers, zoals cascadedrogers, verticale doorstroomdrogers met dakies etc., zijn alleen geschikt als het om grote uniforme partijen gaat van normaal drogende zaden (granen) of sneldrogende zaden die goede stromingseigenschappen bezitten.  
Voor zaaipeulvruchten zijn deze drogers minder geschikt, zeker niet voor bonen. Voor zaaigranen mag men met de luchttemperatuur niet boven 65° C gaan, voor fijne zware zaden die goed lopen (zaailijnzaad, koolzaad) is de laagdikte zodanig, dat een maximale luchttemperatuur van 50° C in acht moet worden genomen.
9. Trommeldrogers zijn continu werkende drogers. Ook hierbij geldt dat alleen normaal en sneldrogende zaaizaden kunnen worden gedroogd. Zaaipeulvruchten moeten in discontinu werkende drogers gedroogd worden.  
Trommeldrogers werken met een korte verblijftijd; grote vochtonttrekkingen zijn niet mogelijk. Met moet oppassen met de luchttemperatuur. Deze wordt nogal eens aan de hoge kant gekozen. Dit is gevaarlijk bij zaaigoed. Men moet bedenken dat bij een trommeldroger nog een aparte koelinrichting behoort.
10. Schudeestdrogers hebben eveneens een beperkte droogduur. Ze zijn toe te passen voor normaal en sneldrogende zaden (niet voor zaaipeulvruchten, tenzij wellicht voor het iets nadrogen van erwten). Voor zaaigranen max. luchttemperatuur 65° C. Hetzelfde geldt voor sneldrogende lichte zaden. Voor sneldrogende zware zaden 50° C nemen tenzij de laagdikte zeer dun kan zijn; in dat geval kan 65° C verantwoord zijn.
11. Banddrogers zijn eveneens continu werkende drogers. Luchttemperatuur voor zaaigranen en fijne lichte zaden maximaal 65° C. Voor fijne zware zaden 50° C, tenzij men zeer dunne lagen zou toepassen. In dat geval kan 65° C nog verantwoord zijn.
12. In de meeste zaadbedrijven levert het werken met continu werkende drogers, vooral als deze een vrij grote inhoud hebben, grote bezwaren op i.v.m. de wisseling van de partijen, zowel wat betreft soort als vochtgehalte. Het werken met ladingsgewijs werkende drogers of discontinu werkende drogers levert vaak een goede oplossing die in de bedrijfsvoering past. De nadelen wegen vaak niet op tegen de voordelen.  
Discontinuu werkende drooginrichtingen zijn eesten, droogvloeren, kisten, drooginrichtingen waarbij in de zak wordt gedroogd e.d.
13. Droogvloeren, inrichtingen voor het drogen in kisten, voor het drogen in de zak e.d. waarbij betrekkelijk dikke lagen zaad in dwarsstroom met matig verwarmde lucht worden gedroogd zijn universele drooginrichtingen, die dank zij de onderzoeken van de laatste jaren tot uitstekende resultaten kunnen leiden.  
Ze zijn geschikt voor normaal en langzaam drogende zaden en voor lichte sneldrogende zaden. Voor fijne zware, sneldrogende zaden zijn ze niet zozeer geschikt, tenzij de lagen vrij dun worden genomen.  
Ook bij zeer hoge vochtgehalten zijn er betreffende de laagdikten, bedenkingen in acht te nemen.
14. Langzaam drogen tijdens de losgestorte opslag (door ventilatie met niet of licht verwarmde lucht) is onder bepaalde voorwaarden mogelijk. De methode is geschikt voor langzaam en normaal drogende zaaizaden met een vochtgehalte niet hoger dan 20 %.





## **C Het drogen en bewaren van granen op landbouwbedrijven**

**Ir. H. Sparenberg**



# C - HET DROGEN EN BEWAREN VAN GRANEN OP HET LANDBOUWBEDRIJF

## 1. BEWARING VAN GRAAN

### 1.1 DE BEWAARBAARHEID VAN GRAAN

In A 2.1 is reeds gesproken over de fysiologie van granen, zaden en peulvruchten.

Zaad is levend materiaal. Een van de kenmerken van een levende stof is de stofwisseling, d.w.z. er vindt ademhaling plaats. Hierbij worden koolhydraten afgebroken onder opname van zuurstof en afgifte van koolzuurgas en water, waarbij tevens warmte wordt ontwikkeld. Door deze ademhaling ontstaan drogestofverliezen. De ademhaling is beneden een vochtgehalte van 14—15% zeer gering. Bij 17% vocht wordt ongeveer het 30-voudige aan koolzuurgas gevormd en bij 20% vocht het 60—100-voudige, alles bij een temperatuur van 18° C. Is de temperatuur van het graan laag, dan is ook de ademhaling gering ondanks een hoog vochtgehalte. Hoge temperaturen en hoge vochtgehalten gaan gepaard met een grote ademhalingsintensiteit. Hierdoor wordt het produkt nog warmer zodat vrij snel bederf optreedt.

Andere factoren, die van invloed zijn op de bewaarbaarheid zijn:

a. de rijpheid

Graan dat onvoldoende rijp geoogst is gaat eerder broeien dan volledig uitgerijpt graan met hetzelfde vochtgehalte. Men dient dus direct na de oogst de temperatuur van het graan in de silo goed te controleren met behulp van steekthermometers. Zodra temperatuurstijging geconstateerd wordt, moet het graan worden omgezet of belucht.

b. korrelbeschadiging

De bewaarbaarheid is afhankelijk van de mate van beschadiging bij het maaidorsen. De maaidorser dient dus goed afgesteld te worden teneinde beschadigingen zoveel mogelijk te vermijden.

c. onzuiverheden

Deze kunnen een nadelige invloed hebben op de bewaarbaarheid van een partij graan. Vooral groene, levende plantedelen afkomstig van onkruiden, ondervrucht, halm, vormen door het dikwijls hoge vochtgehalte een goede voedingsbodemp voor schimmels. Daardoor kunnen infectiehaarden ontstaan die op de graankorrels overgaan. Tot de onzuiverheden worden ook korrels die schot vertonen gerekend. Deze korrels verkeren in een toestand van grote levensactiviteit (ademhaling) waardoor de partijen met veel schot veel moeilijkheden geven bij de bewaring.

Ook stof is een belangrijk punt. Behalve dat het zeer onaangenaam werken is in een schuur met veel stof, is ook gebleken, dat veel stof in het graan de bewaarbaarheid niet ten goede komt.

Een goede voorreiniging van gemaaidorst graan is dus zeer wenselijk. Dit is tevens van voordeel voor het drogen. In ieder geval is een goede stofafzuiging, liefst met aparte stofkamer waarbij ook het nodige kaf, strootjes e.d. worden verwijderd, dringend gewenst.

### 1.2 HOE LANG BLIJFT VOCHTIG GRAAN GOED?

Het vochtgehalte en de temperatuur van het graan bepalen in hoofdzaak de bewaarbaarheid.

Betreft het zaaigranen en brouwgerst dan geeft tabel 61 de getaxeerde maximale bewaar-duur aan indien zonder ventilatie wordt bewaard.

Als het consumptie- of voedergranen betreft dan is de getaxeerde maximale schimmelvrije bewaarduur zoals in tabel 17 vermeld.

Uit deze laatste tabel leest men b.v. dat tarwe met 16.6% vocht bij een temperatuur van 20° C max. 30 weken bewaarbaar is zonder dat schimmel optreedt. Men moet met het hanteren van de tabel toch nog voorzichtig zijn. In het vermelde voorbeeld kan tarwe, vooral als het een vers gemaaidorst produkt betreft, in temperatuur oplopen. Uit de tabel leest men dat bij 25° C de bewaarduur terugloopt tot slechts 7 weken, een aanmerkelijk verschil dus. Ook dient men te bedenken dat men met partijen graan te maken heeft en niet met monsters. Er kunnen in de, in een silo opgeslagen partij graan, plekken voorkomen met een hoger vochtgehalte of een hogere temperatuur, waardoor op die plekken het graan veel korter bewaarbaar is. Door om te zetten of te ventileren kan men deze vocht- en/of temperatuurverschillen trachten te nivelleren.

Uit de tabellen blijkt het grote belang van een lage opslagtemperatuur. Deze lage opslagtemperatuur kan o.a. bereikt worden door het graan te ventileren met buitenlucht. De bewaarduur wordt door ventileren aanmerkelijk verlengd.

Tabel 61a vermeldt de getaxeerde schimmelvrije bewaarduur bij geventileerd bewaren (alleen koelen door buitenlucht).

Ook bij deze tabel dient men te bedenken dat door de ventilatie de temperatuur kan dalen waardoor de bewaarduur verlengd wordt. Bijvoorbeeld, men heeft tarwe van 18.4% waarvan de temperatuur 20° C bedraagt. Volgens tabel 61a is deze tarwe 3 weken bewaarbaar, mits men ventileert. Door de ventilatie echter kan de temperatuur dalen, b.v. tot 15° C. De tarwe is dan tweemaal zolang goed te houden, nl. 6 weken.

### 1.3 TOT WELK VOCHTGEHALTE MOET WORDEN GEDROOGD?

Dit is afhankelijk van de methoden van bewaren.

Tabel 56 geeft hiervan een overzicht.

TABEL 56

Als U volgens één van de onderstaande methoden gaat opslaan	dan mag het vochtgehalte niet hoger zijn dan	Is het vochtgehalte hoger dan moet er gedroogd worden	Aanduiding van de installatie
Lostgestort in silo's (zonder omloop- of ventilatiemogelijkheid)	max. 13 %	In of op een aparte droger	
In zakken	max. 15-16 %	In of op een aparte droger	Drogen op een droogvloer, lostgestort of in zakken. Drogen in zakken op een speciale zakkendroogvloer.
In silo's met omloopmogelijkheid	max. 15-16 %	In of op een aparte droger	Drogen in een verticale droger, gecombineerd met stortput, transportinrichting en silo's, waarin het gedroogde graan wordt opgeslagen. Af en toe laten omlopen tijdens de opslag.
In silo's met voldoende beluchtingsmogelijkheid	max. 17-18 %	Mogelijkheid bestaat om het droogproces te laten plaatsvinden tijdens de opslag (geen aparte droger nodig)	Langzaam drogen met zeer licht verwarmde lucht of met onverwarmde lucht, terwijl het graan in daartoe geschikte silo's ligt opgeslagen. Na het droogproces (dat meerdere weken kan duren) alleen af en toe ventileren als de omstandigheden geschikt zijn.



## 1.4 BEWARING ZONDER MOGELIJKHEID VAN BELUCHTEN

### a. in zakken

Voldoende gangen en holten in de stapel aanleggen, zodat de lucht tot vrijwel elke zak kan toetreden. De ruimte waarin de zakken staan gestapeld behoorlijk ventileren. In perioden van warm en vochtig weer, ramen en deuren gesloten houden. Alleen wanneer buitenlucht droog en koud is, intensief de ruimte ventileren.

### b. in silo's

Temperatuur van het graan, vooral direct na de oogst, goed controleren. Zodra temperatuur oploopt het graan omzetten.

Tijdens de opslag af en toe — om de 2 à 3 weken — om laten lopen om het graan fris te houden en eventuele vochtverschillen te nivelleren.

## 1.5 GEVENTILEERDE BEWARING

Het toepassen van een beluchting op de silo heeft als voordeel dat:

- 1e overtollige warmte ontstaan door vochtkernen in de graanopslag, afgevoerd wordt
- 2e de temperaturen gelijkmatig worden
- 3e de temperaturen omlaag kunnen worden gebracht
- 4e een extra conserverend effect wordt bereikt.

### a. hoeveelheid lucht?

Een luchtstroom van 20 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur is voldoende voor granen tot en met 20% vocht. Een silo van 40 m<sup>3</sup> inhoud kan dus volstaan met 800 m<sup>3</sup> per uur. Afhankelijk van het aantal m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte van de silo en de laagdikte wordt de tegendruk bepaald. Zo zou bij een silo met storthoogte 6 m en vloeroppervlakte 7 m<sup>2</sup> (d.i. een ronde silo met diam. ± 3 m, of rechthoekige silo van 2 x 3½ m) totaal inhoud dus 42 m<sup>3</sup>, bij toepassen van 800 m<sup>3</sup> lucht per uur, de tegendruk circa 50 mm WK zijn (figuur 54). Een dergelijke „kleine” ventilator is echter niet in de handel. De 2 à 3 pk snellopende schroefventilatoren die over het algemeen op de boerderij in gebruik zijn kan men toepassen, mits men de ventilator aansluit op liefst 25—30 m<sup>2</sup> silo-oppervlakte, dus meerdere silo's tegelijk. In dat geval zal de ventilator het gunstigst rendement leveren.

Voor graan natter dan 20% vocht moet de norm liefst op 30—40 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> graan per uur gesteld worden. In de praktijk betekent dit dat er dan lager dan 6 m moet worden gestort.

### b. wanneer beluchten?

Van vers gemaaidorst graan, ook al is het vochtgehalte 17% of is het tot dit vochtgehalte teruggedroogd, de temperatuur goed controleren. Zodra een temperatuurstijging wordt geconstateerd, direct beluchten. Tijdens de opslag moet periodiek belucht worden. In de maanden september, oktober en november moet men trachten de graan-temperatuur omlaag te brengen b.v. op 3—5° C. Heeft men deze lage temperatuur bereikt dan is om de 3 à 4 weken beluchten voldoende.

Wanneer kan men beluchten? (graan met ± 17—18% vocht)

1. als de temperatuur van het graan hoger is dan 10° C, alleen blazen als de temperatuur van de lucht 4° C (of meer) lager is dan die van het graan.
2. als de temperatuur van het graan lager is dan 10° C, alleen blazen als de temperatuur van de lucht 6° C (of meer) lager is dan die van het graan.
3. is de temperatuur van het graan eenmaal op 3—5° C gebracht dan kan enkele uren blazen geen kwaad mits de temperatuur van de lucht gelijk of lager is dan die van het graan.

In het voorjaar moet men de temperatuur van het graan geleidelijk aan wat opvoeren, anders loopt men de kans dat vocht op het koude graan neerslaat bij de aflevering. Dit doet men bij voorkeur bij mooi droog weer.

## 1.6 ENKELE OPMERKINGEN OVER DE BOUW VAN EEN OPSLAGINRICHTING

### 1.6.1 SILO'S

Bij de opzet van een opslagruimte moeten de plaats, de vorm en de inhoud van de silo's goed overwogen worden. De schuur of ruimte die beschikbaar is, speelt hierbij een grote rol. De vorm van de silo kan rond of vierkant tot rechthoekig zijn.

De voordelen van de vierkante silo zijn:

- volledige benutting van de beschikbare ruimte
- gemakkelijk te voorzien van een schuine bodem, eventueel geperforeerd, zodat het graan in de silo belucht kan worden.

De voordelen van de ronde silo zijn:

- goedkoper per ton of m<sup>3</sup> inhoud
- geen trekstangen.

De inhoud van de silo hangt nauw samen met het bouwplan.

Heeft men veel soorten graan en/of peulvruchten, dan kan men beter een groter aantal silo's met kleinere inhoud hebben dan enkele grote silo's.

Over het algemeen is de maximale inhoud van de silo circa 40 m<sup>3</sup> (d.i.  $\pm$  30 ton tarwe). Dit zijn b.v. ronde silo's van 3 m diameter en 6 m hoogte of vierkante silo's van 2.5 x 2.5 à 2 x 3 m grondoppervlakte en  $\pm$  6 m hoogte.

Overige punten waaraan gedacht moet worden:

Indien geen beluchting wordt toegepast dan moet al vroeg in het bewaarseizoen rekening worden gehouden met een leegstaande silo voor het omlopen van het graan.

Over het algemeen zal de silo-inhoud niet altijd volledig benut kunnen worden, omdat de partijen graan vrijwel nooit één silo of een veelvoud van silo's zullen vullen. Hiermede dient bij de opzet rekening te worden gehouden.

Bij vierkante silo's zal het praktisch zijn om naast silo's van b.v. 30 ton, ook enkele van 15 ton te hebben (door midden delen van een grote silo).

Van belang is voorts, dat de binnenwand van de silo, zoveel mogelijk glad is, zodat geen zaadresten achterblijven; dit is vooral belangrijk op zaaigraanbedrijven (vermenging).

Over het algemeen worden de silo's van hout gemaakt. Sommige in de handel gebrachte silo's zijn van metaal en dikwijls, aangezien het meestal geïmporteerde silo's betreft, duur in aanschaf.

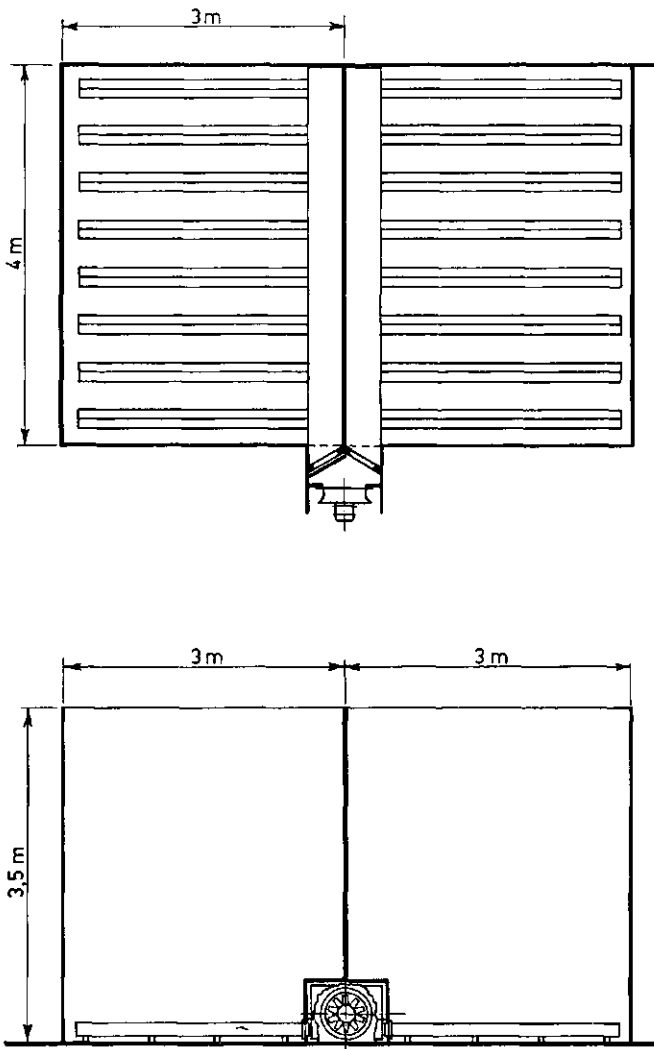
Het beluchten van de silo's kan op eenvoudige wijze plaatsvinden met behulp van luchtverdeellementen die op een luchtkanaal worden aangesloten (figuur 78).

Het ledigen echter van een dergelijke silo vergt dan wel het nodige schepwerk. Hetzelfde geldt voor silo's met vlakke bodem. Beter is het, de bodem schuin te nemen, liefst met een hellingshoek van ten minste 30°. Neemt men bovendien een geperforeerde bodem dan kan men het graan eveneens beluchten (figuur 79).

### 1.6.2 TRANSPORT

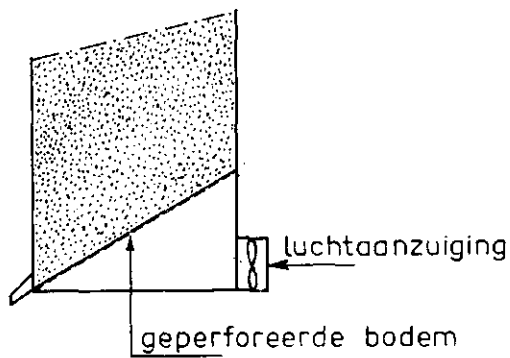
Bij de opslag op het eigen bedrijf behoeft het graan slechts over korte afstand te worden vervoerd. Het transport kan plaatsvinden in de normale landbouwwagen, waarbij de ontvangstinrichting aangepast moet zijn aan de wagen. De kipwagen, hoewel een vrij dure aanschaf, waarbij zeker overwogen dient te worden in hoeverre deze ook gebruikt kan worden voor andere produkten, is uitermate handig voor snel lossen van het graan in stortput of op de vloer.

FIGUUR 78



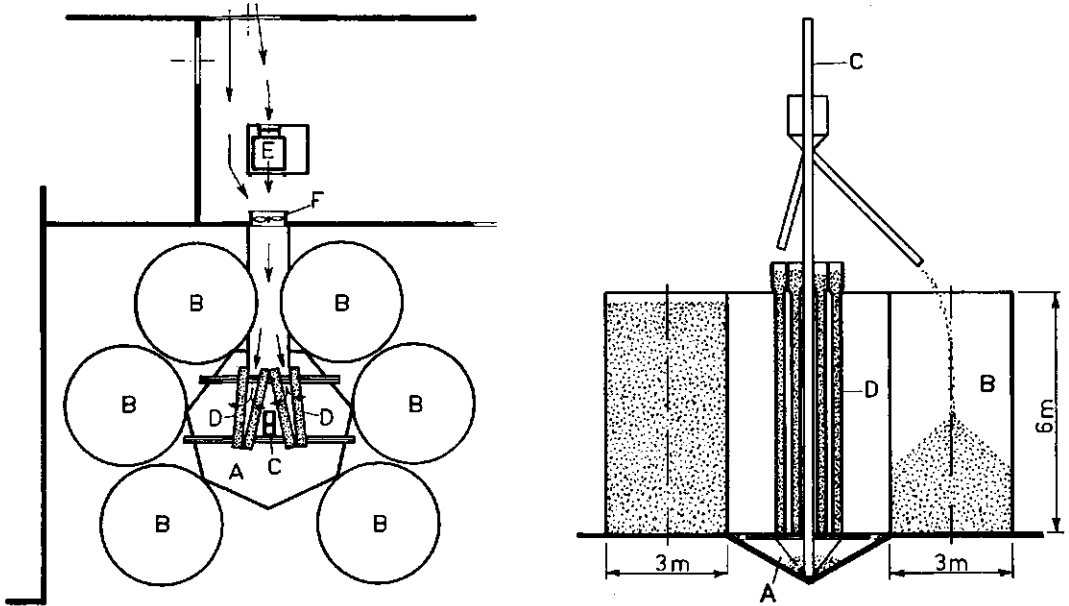
Twee rechthoekige silo's (4x3) met luchtverdeellementen

FIGUUR 79



Silo met schuine, geperforeerde bodem

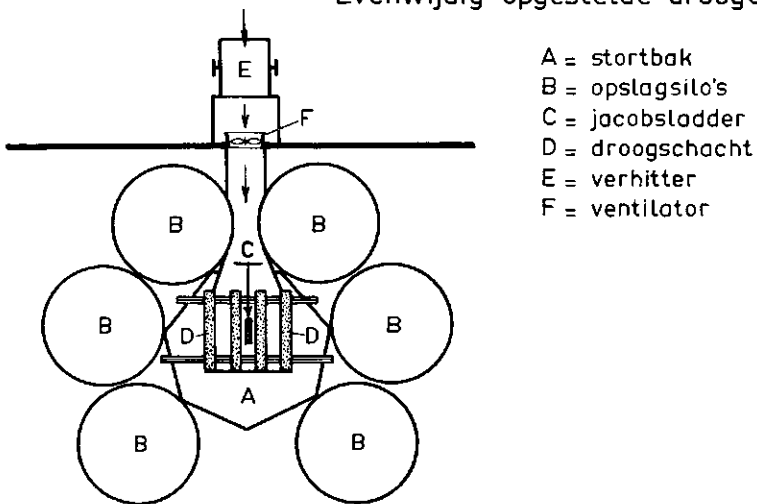
FIGUUR 80



Schachtdroger en ronde opslagsilo's, droogelementen in W-vorm opgesteld

FIGUUR 81

Evenwijdig opgestelde droogelementen



- A = stortbak
- B = opslagsilo's
- C = jacobsladder
- D = droogschacht
- E = verhitter
- F = ventilator

Om snel te kunnen werken (de maaidorser moet bij ongunstig weer immers door kunnen werken) moet ook het verdere transport in de schuur, als de wagens gelost zijn, vlot verlopen. Het beste voldoet hier een stortput, die zodanig van inhoud dient te zijn, dat een wagenlading er in kan. In de meeste gevallen zal 5 m<sup>3</sup> voldoende zijn.

In verband met de eis, dat de stortput volkomen waterdicht (voor grondwater) dient te zijn, verdient het aanbeveling de aanmaak van een stalen put te overwegen. Een verplaatsbare stortkaar, waarin het graan van de wagen gestort moet worden heeft bezwaren. De inhoud ervan is dikwijls gering, zodat het lossen lang duurt. De hoogte van de kaar is in vele gevallen een bezwaar, omdat dan niet gemakkelijk vanaf de wagen in de kaar gelost kan worden.

Denkbaar is ook, dat de wagen leeggehaald wordt door vijzel, band of zuiger. Bij band of vijzel heeft men dan veel schepwerk, terwijl een zuiger vrij kostbaar is en tevens veel krachtverbruik eist bij een vrij geringe capaciteit.

Het graan kan na lossen van de wagen in silo's gebracht worden, waarvoor dienst kunnen doen jacobs ladder, vijzel of blazer.

Voor snel transport omhoog komt het meest de jacobs ladder in aanmerking. Met geringe krachtverbruik kan men grote capaciteiten behalen. Men dient echter de silo's in de buurt te hebben staan om deze te kunnen vullen (b.v. opstelling bij z.g. Mansholtsysteem). De jacobs ladder is voor praktisch alle zaden te gebruiken, waarbij geen beschadiging optreedt.

De vijzel kan bij een bepaalde hellingshoek eveneens een vrij grote capaciteit halen bij een betrekkelijk geringe krachtverbruik maar is niet voor alle zaden te gebruiken (beschadigt b.v. peulvruchten vrij ernstig). Vijzels zijn niet gebonden aan een vaste plaats, ze zijn makkelijk te transporteren en zijn goedkoper dan een jacobs ladder.

De graanblazer heeft als voordeel dat men het graan kan krijgen waar men het hebben wil (zolders b.v.). Bezwaren zijn de vrij geringe capaciteit en het hoge krachtverbruik. Wil men vanaf de wagen het graan via een stortkaar in de blazer brengen, dan houdt dit in, dat de blazer in een put geplaatst moet worden.

### 1.6.3 VOORSCHONING

Zowel bij het drogen als bij de bewaring is het van belang dat het graan zoveel mogelijk geschoond wordt, zodanig dat de meeste onregelmatigheden (strootjes, kaf, stof, groene plantedelen, onkruid enz.) verwijderd worden.

De voorschoner wordt over het algemeen bovenaan de jacobs ladder bevestigd. Deze mag dus niet veel plaatsruimte innemen en werkt in principe alleen met lucht die dwars door de vallende graanstroom wordt geblazen of gezogen. In verband met de stofontwikkeling is het laatste aan te raden. Diverse merken zijn in de handel.

Er bestaan ook voorreinigers die behalve een windreiniging ook een zeefreiniging hebben en het graan daardoor beslist beter reinigen. Ze zijn echter aanmerkelijk duurder en nemen bovendien vrij veel ruimte in, zodat een plaatsing bovenaan de elevator meestal niet mogelijk is.

Men moet er goed rekening mee houden dat men al gauw 1.5 à 2 m hoogte dient te reserveren voor de afstand van de top van de elevator tot de uitloop van de voorschoner. Aangezien de vulpijpen (hellingshoek 45°), bevestigd aan de uitloop van de voorschoner liefst midden boven de silo's moeten uitkomen zal de hoogte van de silo hiervan dus afhankelijk zijn. Wil men de silo's toch hoger bouwen dan zal men zijn toevlucht moeten nemen tot een horizontaal kort bandje, direct onder de uitloop van de voorschoner. Door dit bandje gemakkelijk verplaatsbaar op te stellen kunnen alle silo's hiermede gevuld worden.

### 1.6.4 OPSTELLEN VAN EEN OPSLAGINRICHTING

#### 1. Grotere bedrijven

De meest voorkomende opstelling op de grotere bedrijven (meer dan 100—125 ton graan) is: een stortput midden in het vak of de tas, waarin een rechtopstaande bekerelevator tot in de nok, die het graan stort in een voorschoner. Stof, kaf e.d. worden via een stofkanaal

met zuiger naar een stofkamer afgevoerd. Het graan stroomt via valpijpen in de rond de stortput gegroepede silo's, naar de droger of naar de aflevering. De hellingshoek van de valpijp moet minstens  $45^\circ$  zijn, daar vochtig graan dan eerst goed stroomt.

Een droger staat meestal boven de stortput op een paar ijzeren balken, zodat na droging van het graan de droger rechtstreeks in de put kan lossen. De ventilator en de verhitter, die de droger van warme lucht voorzien, moeten liefst in een aparte brandvrije ruimte worden opgesteld (figuur 80 en 81).

De stortput kan zijn gemaakt van 15 cm gewapend beton of van ijzer, aangegoten met beton. Dit laatste geeft een goede aansluiting met de grond, het ijzer roest dan niet door en biedt mits goed uitgevoerd, voldoende weerstand tegen bodem en waterdruk. De helling van de wanden dient tenminste  $45^\circ$  te zijn.

De jacobsbladder moet bij voorkeur een capaciteit hebben van tenminste 15 ton graan per uur. Het vullen van de droger, het omzetten van een silo of het beladen van een wagen vergen dan niet veel tijd.

De droger bestaat dikwijls uit 4 schachten, in W-vorm boven de put opgesteld (fig. 80). De hoogte en breedte van de schacht kan men aanpassen aan de situatie, b.v.  $5 \times 2$  m of  $6 \times 2$  m. De graanlaagdikte in de schacht is 20—25 cm. Bij toepassen van 4 schachten varieert de inhoud dus van 6—8 ton.

De luchthoeveelheid dient  $400 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  schachtoppervlakte per uur te bedragen. Dit is dus voor 4 schachten van  $6 \times 2$  m circa  $1900 \text{ m}^3$ . Tegendruk circa 15 mm WK. Men kan volstaan met een ventilator van  $2\frac{1}{2}$ —3 pk, 1400 toeren. Voor  $10$  à  $15^\circ \text{ C}$  opwarming van de lucht moet men een verhitter hebben van 60.000—90.000 kcal per uur. De indroging bedraagt 0.5—0.8% per uur.

Naast dergelijke schachtdrogers worden ook cilindrische drogers in de handel gebracht, waarbij de laag graan rondom een of meer geperforeerde binnenpijpen ligt (Graepel, Neuro, Tornado). De laagdikte bedraagt meestal niet meer dan 50 cm. Het aantal pk's van deze drogers bedraagt 5— $12\frac{1}{2}$ , afhankelijk van de droogcapaciteit. Deze capaciteit varieert van 0.5—1% indroging per uur.

## 2. Kleinere bedrijven

Op de kleinere bedrijven is een installatie zoals beschreven onder 1.6.4.1 te duur. Over het algemeen zal men het voordeligst centraal kunnen laten drogen en opslaan. Er kunnen zich echter omstandigheden voordoen waarbij dit niet mogelijk is.

Welke droog- en opslagmogelijkheid bestaat er dan?

### a. droogvloer

Dit is een goedkope oplossing om te drogen. Behalve losgestort graan is het ook mogelijk in de zak te drogen en eventueel andere produkten (peulvruchten en stro, graszaden, hooi). Deze droogvloeren zijn beschreven onder hoofdstuk B 2.2.2 (pag. 120). Het laden en lossen vraagt veel arbeid. Na het drogen op de vloer moet men het graan met vijzel of blazer in opslagsilo's brengen, indien men althans ook zelf wil bewaren.

### b. drogen met onverwarmde lucht

Wanneer men de lagen graan zeer dik neemt dan is het praktisch en economisch mogelijk het graan aldus opgeslagen te laten liggen. Men krijgt dan het systeem zoals toegepast bij de z.g. doorblaassilo's (Kongskilde, Wimar), waarbij een betrekkelijk dikke graanlaag (1 à 1.5 m) rondom een geperforeerde binnenpijp ligt. De wand van de silo is eveneens geperforeerd, zodat de luchtstroom horizontaal is van binnenpijp via graan naar silowand. Indien de binnenpijp een diameter heeft van circa 50 cm kan een schroefventilator (2 à 3 pk, 2800 toeren) hierop worden aangesloten.

In dergelijke silo's met een inhoud van 51 tot 15 ton graan kan men het onverwarmde lucht het graan (langzaam) drogen. Gerekend moet worden op een droogduur van 7—10 dagen bij 6% indrogen. Wil men door opwarming van de lucht sneller drogen dan is voorzichtigheid geboden en moet men na 10—12 uur drogen het graan een keer goed mengen en daarna weer verder drogen.

Een ander systeem betreft het ventileren met buitenlucht van graanlagen tot ruim 3 m dikte, voorzover althans het vochtgehalte niet meer dan 21% bedraagt. Is het vochtgehalte hoger dan moet men de laagdikte kleiner nemen (tabel 59). De normen voor de luchtbehoefte staan in tabel 18 vermeld. Dit systeem vereist nogal wat geventileerd oppervlak om bij aanvoer van veel vochtig graan dit graan in de betrekkelijk dunne lagen te kunnen bergen.

In de praktijk wordt wel eens het volgende systeem van drogen met onverwarmde lucht toegepast. Men past een combinatie toe van ventileren en veelvuldig omzetten van het graan en gaat daarbij tot storthoogtes van 5 à 6 m. De vereiste luchthoeveelheden worden daarbij, vooral bij hoge vochtgehalten, niet in acht genomen, daar dan ventilatoren met een hoog krachtverbruik nodig zouden zijn. Men moet voorlopig nog voorzichtig zijn met dit systeem daar de droogduur zeer lang kan zijn, hetgeen bederf tot gevolg kan hebben. De ervaringen strekken zich slechts over een enkel jaar uit. Voor zaaigraan is het beslist niet aan te bevelen.

TABEL 57

HERLEIDING VAN HOEVEELHEDEN PRODUKT NAAR VOCHTGEHALTE.  
HERLEIDING VAN 100 KG MET EEN BEPAALD VOCHTGEHALTE TOT HET  
AANTAL KILOGRAMMEN MET EEN ANDER VOCHTGEHALTE (BIJ GELIJKBLIJ-  
VENDE HOEVEELHEID DROGE STOF)

Werkelijk % vocht	% vocht waarop men wenst om te rekenen					
	17	16½	16	15	14	13
50	60.2	59.9	59.5	58.8	58.1	57.5
45	66.3	65.9	65.5	64.7	64.0	63.2
40	72.3	71.9	71.4	70.6	69.8	69.0
35	78.3	77.8	77.4	76.5	75.6	74.7
34	79.5	79.0	78.6	77.6	76.7	75.9
33	80.7	80.2	79.8	78.8	77.9	77.0
32	81.9	81.4	81.0	80.0	79.1	78.2
31	83.1	82.6	82.1	81.2	80.2	79.3
30	84.3	83.8	83.3	82.4	81.4	80.5
29	85.5	85.0	84.5	83.5	82.6	81.6
28	86.7	86.2	85.7	84.7	83.7	82.8
27	88.0	87.4	86.9	85.9	84.9	83.9
26	89.2	88.6	88.1	87.1	86.0	85.1
25	90.4	89.8	89.3	88.2	87.2	86.2
24	91.6	91.0	90.5	89.4	88.4	87.4
23	92.8	92.2	91.7	90.6	89.5	88.5
22	94.0	93.4	92.9	91.8	90.7	89.7
21	95.2	94.6	94.0	92.9	91.9	90.8
20	96.4	95.8	95.2	94.1	93.0	92.0
19	97.6	97.0	96.4	95.3	94.2	93.1
18	98.8	98.2	97.6	96.5	95.3	94.3
17	100.0	99.4	98.8	97.6	96.5	95.4
16	101.2	100.6	100.0	98.8	97.7	96.5
15	102.4	101.8	102.2	100.0	98.8	97.7

Voorbeeld: 1200 kg met een vochtgehalte van 23 % stemt overeen met  $12 \times 90.6 = 1087.2$  kg met een vochtgehalte van 15 %.

## 2. DROGEN VAN GRAAN

### 2.1 VOCHTGEHALTE (ZIE OOK DEEL D)

Het vochtgehalte bij granen wordt uitgedrukt in procenten water op totaal gewicht. Dus b.v. 20% vocht wil zeggen, dat 100 kg graan gevormd wordt door 20 kg water en 80 kg droge stof.

Men wil in de praktijk graag weten hoeveel graan men overhoudt na drogen, of hoeveel water verdampt moet worden bij het drogen. Tabel 57 geeft aan de herleiding van 100 kg met een bepaald vochtgehalte tot het aantal kg met een ander vochtgehalte.

Heeft men b.v. in een droger 7 ton graan van 24% vocht en droogt men in tot 17%, dan is het gewicht aan graan (van 17% vocht)  $70 \times 91.6 = 6412$  kg. Er moet dus  $7000 - 6412 = 588$  kg water verdampt worden. Men moet dus niet de vergissing maken door te redeneren:

ik moet 7% indrogen (van 24 naar 17%), dus ik moet  $7 \times 70 = 490$  kg water verdampen en houd over  $7000 - 490 = 6510$  kg graan. (Zie ook B 1.5.)

Het is, zowel voor het drogen als voor de bewaring, uitermate belangrijk om te weten wat het vochtgehalte is. Men wil dit in de meeste gevallen ook snel weten. De elektrische vochtmeters werken snel (een vochtbepaling duurt slechts enkele minuten) maar zijn vrij duur. De prijzen variëren van ca. f 450,— tot ca. f 3000,—. Bovendien wordt over de nauwkeurigheid zeer verschillend geoordeeld in de praktijk.

De z.g. steekhygrometers die eveneens snel resultaat geven, zijn goedkoop maar helaas vrij snel ontregeld. Men moet ze dus vaak ijken, hetgeen in de praktijk maar al te gauw vergeten wordt.

De warmte- of infraroodstralers geven bij juist toepassen van de voorschriften, goede resultaten. Het graan moet gemalen worden, het wegen moet nauwkeurig gebeuren en een bepaling duurt doorgaans 10 à 15 minuten, althans met de normale handelsapparatuur. Door het IBVL werd een eenvoudig infrarood-apparaat ontwikkeld, waarvan de prijs ca. f 225,— bedraagt (zie ook deel D).

### 2.2 MET WELKE TEMPERATUUR DROGEN?

Op de boerderij wordt praktisch altijd een discontinu droogwijze toegepast. De droging is betrekkelijk langzaam en de droogduur dus vrij lang.

De meeste op landbouwbedrijven gebruikte drogers zijn aangaande de verhouding tussen inhoud en lucht resp. warmtehoeveelheid zo ingericht, dat een indroging bereikt wordt van 0.5—1% per uur gemiddeld over de gehele droging. Dit houdt in, dat indien men het graan b.v. 5% moet indrogen (van 22% naar 17% vocht) de droogduur 5—10 uur bedraagt.

In verband met de werkomstandigheden op de boerderij is de boer ermee gebaat dat een flinke partij graan (b.v. 8—10 ton) in een niet te snel tempo (b.v. 10—12 uur) gedroogd kan worden. Hij kan dan tweemaal per dag de droger ledigen en weer vullen.

Bij dit ladingsgewijs drogen neemt het warmste graan in de laag tijdens het drogen de temperatuur aan van de drooglucht. Is deze hoog dan komt dit de kiemkracht of de bakwaarde niet ten goede.

In de praktijk zal men als richtlijn kunnen stellen voor zaaigranen en brouwergerst: temperatuur drooglucht max. 30° C, voor consumptiegraan: temperatuur drooglucht max. 35° C. Dit houdt in dat de verhitter de lucht 15 à 20° C moet kunnen opwarmen. Praktische waarden betreffende de samenhang van de laagdikte, de luchthoeveelheid en de opwarming van de lucht bij het dalingsgewijs drogen van zaaigranen, staan vermeld in tabel 51.

Voor zaaigranen wordt voorts verwezen naar hoofdstuk B 2.2.2. 1. Voor peulvruchten geldt: de lucht maximaal 5° C opwarmen, aangezien bij hogere opwarming rimpelvorming of barsten van de zaadhuid kunnen optreden (zie hoofdstuk B 4.2).



Is de toegepaste hoeveelheid lucht van de droger bekend, dan kan men de capaciteit van de verhitter berekenen als volgt:

bij 15° C opwarming: 5 x hoeveelheid lucht in m<sup>3</sup> per uur = capaciteit verhitter in kilocalorieën per uur

bij 20° C opwarming: 7 x hoeveelheid lucht in m<sup>3</sup> per uur.

Bij de berekening is gerekend op een rendement van de verhitter van 90%. Het olieverbruik bij verschillende temperatuurverhogingen en luchthoeveelheden wordt vermeld in tabel 58.

TABEL 58

**OLIEVERBRUIK \*) BIJ VERSCHILLENDE TEMPERATUURVERHOGINGEN EN LUCHTHOEVEELHEDEN**

Temperatuurverhoging °C	Luchthoeveelheid m <sup>3</sup>	Olieverbruik liter/uur
10	6.000	2.8
15		4.1
20		5.6
10	12.000	5.5
15		8.3
20		11.0
10	18.000	8.2
15		12.3
20		16.4
10	24.000	11.0
15		16.5
20		22.0

\*) Butagas e.d.: het aantal ltr. olie per uur vermenigvuldigen met 0.7 om kg gas per uur te verkrijgen.

**2.3 LAAGDIKTEN BIJ DROGEN MET WARME LUCHT**

Wanneer een laag graan met warme lucht gedroogd wordt, dan zal de laag waar de lucht intreedt het droogst worden en op den duur, indien de droging lang duurt, in evenwicht komen met de relatieve vochtigheid van de toegepaste drooglucht.

Indien 10 à 15° C wordt opgewarmd is de R.V. van de lucht laag, het evenwichtsvochtgehalte van het graan is dan ook zeer laag. Deze evenwichtsvochtgehalten (dampdrukisothermen) van een aantal granen en zaden worden vermeld in tabel 4. Men ziet uit de tabel dat bij een R.V. van 30 à 40% (bij een opwarming van 10 à 15° C komt men op deze waarden) de daarmee corresponderende vochtgehalten van granen circa 8 tot 11% bedragen.

Men moet dus oppassen voor een lange droogduur en daarbij een grote opwarming van de lucht. Aan de andere kant blijft de laag graan waar de lucht uittreedt het langste vochtig. Hier kan bij een te lange droogduur bederf optreden.

Men is dus ook bij het drogen gebonden aan verschillende eisen wat betreft de maximale laagdikte en de minimale luchthoeveelheid bij een bepaalde opwarming van de lucht. Deze normen staan vermeld in tabel 51. Duidelijk blijkt uit deze tabel, dat hoe hoger het vochtgehalte van het graan is, hoe geringer de laagdikte moet zijn en dit des te eerder bij een grote opwarming van de lucht.

Bij het drogen met een droogvloer of op een geïmproviseerd luchtverdeelsysteem is dikwijls niet bekend hoeveel de luchthoeveelheid per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte bedraagt. Men kan dan wat betreft de laagdikten bij het drogen met verwarmde lucht de volgende grenzen in acht nemen:

bij 20% vocht	1.5 m maximaal
21% vocht	1.0 m
22% vocht	0.75 m
23% vocht	0.50 m
24% vocht en hoger	0.40 m

## 2.4 LAAGDIKTEN BIJ DROGEN MET KOUDE LUCHT

Men kan vochtig graan door continu ventileren met onverwarmde lucht langzaam drogen. Het eindvochtgehalte dat men kan bereiken is afhankelijk van de relatieve vochtigheid van de lucht, meer in het algemeen van de weersgesteldheid in het betreffende jaar. Zo zal in een normaal jaar een vochtgehalte van 17—17.5% bereikt kunnen worden, in een nat jaar 18—18.5% en in een droog jaar 16—16.5%.

In een nat jaar heeft het dan geen zin verder te ventileren wanneer 18% vocht is bereikt. Beter is het dan de temperatuur van het graan omlaag te brengen, waardoor de houdbaarheid toeneemt en in de loop van het bewaarperiode door te ventileren op droge, zonnige dagen, het vochtgehalte verder omlaag te brengen tot ca. 17%.

Men kan ook in een dergelijk nat jaar tegen het einde van de ventilatieperiode de lucht 1 à 2° C opwarmen, waardoor de R.V. van de lucht daalt en een evenwichtsvochtgehalte van het graan van ca. 17% bereikt wordt. Het eenvoudigst voor een dergelijke geringe opwarming is een elektrische of gasverwarming toe te passen. De normen voor de luchtbehoefte bij drogen met onverwarmde lucht staan vermeld in tabel 18.

Wil men niet in een onpraktisch hoog krachtverbruik komen te vervallen, dan is het aan te bevelen de verhouding tussen laagdikte en vochtgehalte aan te houden zoals in tabel 59 is vermeld.

De sterkte van de benodigde ventilator moet ongeveer 0.7—0.8 pk (2850 toeren) per 10 m<sup>2</sup> bodemoppervlak van de silo zijn, als er verticaal belucht wordt door een losgestorte laag.

In de praktijk wordt, vooral in een nat jaar, nogal eens gebruik gemaakt van aardappelbewaarplassen, om het graan tijdelijk te bewaren en door ventilatie tijdelijk goed te houden en eventueel wat in te drogen. De vraag doet zich voor hoe dik de graanlaag mag zijn. In tabel 60 worden de laagdikten vermeld, die afhankelijk zijn van het vochtgehalte en van het type bewaarplaats (ouder of nieuwer type).

Wil men in een aardappelcel met verwarmde lucht drogen, dan gelden de normen zoals in C 2.3 zijn vermeld.

TABEL 61

GETAXEERDE MAXIMALE BEWAARDUUR IN WEKEN VAN ZAAIGRANEN (GEEN VENTILATIE)

	11	12	13	14	15	16	17	19	23	Vochtgehalte % GERST
20° C Bewaartemperatuur	110	80	50	32	19	10	5	2.5	0.5	Maximale bewaarduur GERST
	240	170	100	65	40	20	10	4	1	
	600	400	260	160	90	50	21	8.5	2	
10° C	11	11.5	12.5	13	14	15	17	19	22	Vochtgehalte % HAVER
	80	55	38	26	15	8	4.5	2	0.5	Maximale bewaarduur HAVER
	160	110	70	45	26	15	7.5	3.5	1	
350	230	150	95	55	30	16	6	1.5		
20° C Bewaartemperatuur	12	13	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	19.5	23	Vochtgehalte % TARWE
	55	40	28	19	13	7	3.5	1.5	0.5	Maximale bewaarduur TARWE
	100	75	50	30	20	12	6	3	1	
200	140	95	60	38	20	11	4.5	1.5		
10° C	11.5	12.5	13	14	15	16	18	20	24	Vochtgehalte % ROGGE
	30	23	17	13	7.5	4.5	2.5	1.5	0.5	Maximale bewaarduur ROGGE
	50	34	23	16	10	6.5	4	2	1	
75	55	40	25	16	10	5.5	3	1		
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	Relatieve evenwichtsvocht- tigheid (%)

**TABEL 61A** GETAXEERDE MAXIMALE SCHIMMELVRIJE BEWAARDUUR IN WEKEN BIJ GEVENTILEERD BEWAREN  
(ALLEEN KOELEN, NIET DROGEN)

	18.4	19.6	21.0	23.0	Vochtgehalte % TARWE
	19.0	20.3	22.1	24.4	Vochtgehalte % ROGGE
20° C	3	2	1.5	1	Maximale bewaarduur TARWE en ROGGE
15° C	6	2.5	1.5	1	
10° C	30	5	2	1.5	
5° C	-	30	5	2	
	17.5	18.6	20.0	22.0	Vochtgehalte % HAVER
20° C	5.5	3	2	1.5	Maximale bewaarduur HAVER
15° C	10	4.5	3	2	
10° C	35	9	4	2.5	
5° C	-	35	9	4	
	18.3	19.4	20.7	22.7	Vochtgehalte % GERST
20° C	11	6	3.5	2	Maximale bewaarduur GERST
15° C	25	11	5	3	
10° C	75	26	11	5.5	
5° C	-	75	26	11	
	82.5	85	87.5	90	Relatieve evenwichtsvocht- tigheid (%)

TABEL 59

PRAKTISCHE LAAGDIKTEN VAN GRAAN BIJ VENTILATIE EN LANGZAME DROGING MET ONVERWARMDE LUCHT

Vochtgehalte in %	Maximale laagdikte in m
25	± 1
24	„ 1.5
23	„ 2
22	„ 2.5
21	„ 3
20	„ 4
19	„ 5
18	„ 6
17	„ 8

TABEL 60

MOGELIJKHEDEN BETREFFENDE TOE TE PASSEN LAAGDIKTEN BIJ HET LANGZAAM DROGEN OF GEVENTILEERD BEWAREN VAN VOCHTIG GRAAN IN AARDAPPELBEWAARPLAATSEN

Vochtgehalte graan in %	Aantal etmalen ononderbroken ventilatie om vochtgehalte van 16-17-18 % te bereiken	Maximale laagdikte in m	
		Ouder type bewaarplaats	Nieuwer type bewaarplaats
25	10	0.4	0.5
24	15	0.7	0.8
23	20	1.0	1.2
22	25	1.25	1.5
21	30	1.6	1.9
20	30	2.0	2.5
19	30	2.3	3.0



## **D Vochtbepalingen in graden, zaden en peulvruchten**

**G. R. van Bastelaere**



## D - VOCHTBEPALINGEN IN GRANEN, ZADEN EN PEULVRUCHTEN

### 1. ENKELE ALGEMENE OPMERKINGEN

#### HET BEGRIP VOCHTGEHALTE

Het woord vochtgehalte heeft voor velen een vertrouwde klank, hoewel men meestal niet precies weet, welke betekenis eraan moet worden toegekend. In de eerste plaats is wat in de wandeling het vochtgehalte wordt genoemd, niet altijd het totale vochtgehalte. Wij zullen trachten dit in kort bestek te verklaren en wel aan de hand van:

1. een vochtige zandkorrel
2. een vochtig stuk schuimplastic
3. een vochtige graankorrel

geval 1: een vochtige zandkorrel is alleen aan de buitenkant vochtig. Men heeft hier uitsluitend te maken met aanhangend of z.g. „vrij” water. De mogelijke aanwezigheid van kristalwater laten wij hier buiten beschouwing.

geval 2: een poreuze stof zoals b.v. schuimplastic, bevat op zichzelf geen vocht, maar de capillairtjes (poriën) kunnen wel met water gevuld zijn. Die poriën proberen het water vast te houden en daardoor droogt schuimplastic minder snel en gemakkelijk dan men op het eerste gezicht zou denken.

geval 3: een vochtige graankorrel is niet alleen aan de buitenkant nat, maar ook de „inhoud” is vochtig. Een deel van het vocht binnenin de korrel is niet langer vrij water, maar wordt op bijzondere wijze vastgehouden. Het is aan de andere aanwezige stoffen gebonden. Deze binding kan van natuurkundige maar ook van scheikundige aard zijn. Beide vormen komen naast elkaar voor. Het verwijderen van dergelijk gebonden water is moeilijk en vraagt veel tijd. Bovendien is het met de gebruikelijke methoden niet mogelijk gebleken het aanwezige vocht geheel te verwijderen. Er blijft steeds een rest achter, zij het dan ook een uiterst kleine hoeveelheid.

Bij 1 en 2 werd al het aanwezige vocht binnen redelijke tijd verdreven en was het totale vochtgehalte vrij spoedig bepaald. Bij 3 blijft na het droogproces toch nog een (zeer kleine) hoeveelheid vocht in de korrels aanwezig en komt men het totale vochtgehalte dus niet te weten. Aangezien er toch een maatstaf moet zijn om te kunnen werken, werd voorgeschreven, dat graanproducten eerst moeten worden gemalen (dan drogen ze sneller) en daarna gedroogd gedurende:

1½ uur bij 130 graden C (voor brouwergerst bestaat een apart voorschrift (30).)

De tijdlimiet van 1½ uur is ingevoerd, omdat daarna nog slechts een te verwaarlozen hoeveelheid vocht in het materiaal achterblijft. Bovendien is er nu een vaste regel. Wordt deze overal opgevolgd, dan kunnen de resultaten over het gehele land en ook daar buiten met elkaar worden vergeleken. Men heeft nu een maatstaf en dat biedt vele voordelen. De graanhandel b.v. profiteert hiervan en nog vele anderen, die direct of zijdelings met graan en graanproducten te maken hebben. Die maatstaf wordt het vochtgehalte genoemd, hoewel deze uitdrukking dus niet geheel juist is, zoals uit het voorgaande is gebleken.

## MAALFIJNHEID

Ook t.a.v. het malen worden bepaalde regels gesteld. Grove delen, zoals halve en driekwart korrels, hebben na 1½ uur drogen nog niet alle vocht verloren. Het is dus duidelijk, dat men fijner moet malen, hoewel ook weer niet al te fijn.

De juiste maalfijnheid wordt verkregen door gebruik te maken van een tweetal normaalzeven die in de handel verkrijgbaar zijn en worden aangeduid met:

N 480-d-0.50 en N 480-d-0.85

Eerstgenoemde zeef heeft een maaswijdte van 0.5, de andere een van 0.85 mm.

Het is de bedoeling zodanig te malen dat:

tenminste 50% van het gemalen produkt door de zeef 0.5 mm valt, terwijl niet meer dan 10% blijft liggen op de zeef 0.85 mm.

De ronde normaalzeven zijn duur. Men kan echter volstaan met een paar losse stukjes normaalgaas van bovengenoemde maaswijdte, waarbij men dan zelf een passend bakje maakt, liefst van metaal, maar in elk geval van een stof die geen vocht opneemt.

## VOORGESCHREVEN HOEVEELHEID VAN DE MONSTERS — DIAMETER VAN DE WEEGDOOSJES

Een hoeveelheid van 10 gram gemalen graan in een hoog en smal doosje, geeft een vrij dikke laag materiaal. Dezelfde hoeveelheid in een minder hoog, maar breed busje geeft een dunnere laag. Het ligt voor de hand, dat de dunnere laag in een korter tijdsbestek droog zal zijn. Om deze reden wordt voorgeschreven, dat:

weegdoosjes moeten worden gebruikt met een diameter van tenminste 58 mm. Daarin behoort 5 gram gemalen graan te worden afgewogen. In doosjes met een diameter van 80 mm of méér, mag ten hoogste 10 gram worden afgewogen.

Het afwijken van deze regel kan oorzaak zijn van foutieve vochtcijfers.

## ENKELE VEEL VOORKOMENDE FOUTEN

1. gemalen graan enige tijd opzij zetten zonder het monsterbusje af te sluiten kan oorzaak zijn van foutieve vochtcijfers
2. zeer natte monsters mogen niet behandeld worden in een oververhitte kamer. Er treedt vochtverlies op reeds vóór het malen
3. slordig afwegen is oorzaak van onherstelbare fouten
4. afwegen op een schaalte in een warme droogstoof geeft te lage vochtcijfers.

## 2. VOCHTBEPALINGEN IN ZEER NAT GRAAN EN BROUWGERST

### ZEER NAT GRAAN OF ZAAD

Het vochtgehalte van granen en zaden kan zo hoog zijn, dat de korrels zich niet of niet goed laten malen. Ook is de kans op vochtverlies tijdens het malen (door warmteontwikkeling) dan groter. Vochtige monsters dienen daarom eerst te worden voorgedroogd tot een vochtgehalte van 12 à 15%, waarna kan worden gemalen en een „normale” vochtbepaling worden verricht. Men heeft hier dus te maken met een vochtbepaling in twee gedeelten, een methode die veel tijd vraagt.



Nu is het de vraag bij welk vochtgehalte een voordroging moet worden toegepast. In het reeds genoemde Normaalblad NEN 3090 wordt gesteld, dat o.a. granen en peulvruchten met een vochtgehalte hoger dan 17.5% eerst moeten worden voorgedroogd en pas daarna mogen worden gemalen. Bovendien dient het malen te gebeuren in een niet te snel draaiende molen.

Deze beide punten zijn belangrijk, al was het alleen omdat men zich in de praktijk er meestal niet aan houdt, dit laatste overigens niet geheel zonder reden. Als gevolg van de moderne oogstmethoden wordt nl. vaak zoveel graan aangevoerd, dat elke dag opnieuw van vele tientallen monsters het vochtgehalte moet worden bepaald. Het zal dan ook niemand verbazen, dat men het tijdrovende voordrogen het liefst tracht te vermijden. Het komt herhaaldelijk voor dat monsters met een vochtgehalte van 20% of meer, toch direct worden gemalen en niet zelden in een sneldraaiende molen. Men kan zich afvragen, of hier geen grove fouten worden gemaakt en die vraag is belangrijk, omdat op vrij veel bedrijven deze, van het genormaliseerde voorschrift afwijkende, methoden worden toegepast.

Op tal van graanbedrijven worden de monsters vermalen met behulp van een elektrische koffiemolen (staande molen met maalkop). Deze molens draaien snel en het graan wordt vrij warm, vooral ook omdat het gemalen produkt niet wordt afgevoerd en tot het einde van het maalproces in de maalkop aanwezig blijft.

Enige oriënterende proefnemingen op het IBVL hebben geleerd, dat graan met 21 tot 22% vocht toch op deze wijze kan worden gemalen zonder aantoonbaar vochtverlies. Een vochtbepaling in dezelfde monsters, maar dan met in achtneming van de voorschriften als omschreven in NEN 3090, leverde precies dezelfde vochtcijfers op. Dit betekent niet, dat elke elektrische koffiemolen of z.g. mixer voor het schroten van vochtmonsters geschikt is. In elk geval moet de maalruimte waarin zich de messen en het te malen produkt bevinden relatief klein zijn, zodat de onbenutte ruimte zo klein mogelijk is. Bovendien moet de maalkop en ook de bodem van de maalruimte gemaakt zijn van een materiaal dat geen vocht opneemt.

In dit verband mag er nog op worden gewezen, dat in Duitsland de Braun-schroter en soortgelijke mixers voor het schroten van o.a. graanmonsters ten behoeve van vochtonderzoek officieel toegelaten worden. Daarbij is voorgeschreven, dat gedurende 90 seconden bij het hoogste toerental moet worden gemalen. Het (warm geworden) produkt moet 3 tot 6 minuten afkoelen in de (gesloten) maalkop en daarna mag een bepaalde hoeveelheid worden afgewogen ten behoeve van de vochtbepaling.

Met het oog op de tijd die nodig is voor het afkoelen na het malen dient men over meerdere maalkoppen te beschikken, althans wanneer regelmatig hele series vochtbepalingen moeten worden verricht.

Op grond van het voorgaande mag worden gesteld, dat (ten behoeve van de interne bedrijfscontrole) graanmonsters met een vochtgehalte tot 22% nog met een daartoe geëigende molen geschroot mogen worden, maar dat men boven 22% vocht toch maar liever moet voordrogen.

Overigens wijzen wij er hier met nadruk op, dat vochtcijfers voor doeleinden die een financiële of arbitraire achtergrond hebben, slechts geldigheid bezitten wanneer de voorschriften, als vervat in NEN 3090 nauwkeurig zijn nagekomen.

## HET VOORDROGEN

De manier waarop moet worden voorgedroogd is eveneens beschreven in NEN 3090 en komt op het volgende neer:

1. 50 gram korrels nauwkeurig afwegen
2. deze hoeveelheid 5 à 10 minuten in een droogstoof drogen bij 130° C of 15 à 20 minuten bij 105° C
3. het voorgedroogde monster in een platte open bak uitspreiden (er mag niets verloren gaan) en ca. 2 uren in de werkruimte laten staan
4. nauwkeurig wegen.

De voordroging dient in tweevoud te worden verricht. Men verkrijgt dus twee hoeveelheden voorgedroogde korrels en uit elke hoeveelheid wordt een „normale” vochtbepaling in enkelvoud gedaan.

Het verschil tussen de beide uitkomsten mag niet groter zijn dan 0.10%.

## DE BEREKENING VAN HET EINDVOCHTGEHALTE

Op het eerste gezicht schijnt de berekening van het eindvochtgehalte nogal eenvoudig. Sommigen denken dat de uitkomsten van voor- en nadroging zonder meer kunnen worden opgeteld, hetgeen niet het geval is.

In NEN 3090 is de juiste berekeningswijze in drie formules gegeven. Voor geschoold personeel zal daarin geen enkele moeilijkheid schuilen, maar in de praktijk moeten de formules vaak worden uitgewerkt door mensen, wier capaciteiten op ander terrein liggen. Om deze reden worden de formules hier in dezelfde geest maar in iets eenvoudiger vorm gegeven en van een korte toelichting voorzien. Tenslotte worden enkele voorbeelden nader uitgewerkt.

Volgens het voorschrift dienen de bepalingen in tweevoud te worden verricht, te weten:

Volgens het voorschrift dienen de bepalingen in tweevoud te worden verricht, te weten:

2 voordrogingen met elk 50 gram korrels

en

2 nadrogingen met b.v. elk 10 gram gemalen materiaal, dat afkomstig is van de voordrogingen.

Gemakshalve zullen de beide voordrogingen in het hierna volgende worden aangeduid met A<sup>1</sup> en B<sup>1</sup>.

De beide nadrogingen met A<sup>2</sup> en B<sup>2</sup>.

Het verloop en het resultaat van de vochtbepalingen zouden als volgt kunnen zijn:

*Voordroging A<sup>1</sup>.* Men begint met 50 gram korrels.

Na het drogen en 2 uren verblijf in een open bak is het gewicht 45 gram geworden.  
Het gewichtsverlies = 5 gram.

*Opmerking:* Als men steeds begint met 50 gram korrels moet het gewichtsverlies steeds met de factor 2 vermenigvuldigd worden om het vochtpercentage te verkrijgen. In dit geval is het gewichtsverlies 5 gram en het resultaat van A<sup>1</sup> is dus  $2 \times 5 = 10$  %.

*Nadroging A<sup>2</sup>.* Men begint met 10 gram gemalen materiaal (van A<sup>1</sup>).

Na 1.5 uur drogen bij 130°C

is het gewicht 8.5 gram

Het gewichtsverlies = 1.5 gram

Om het percentage te vinden, moet ditmaal met de factor 10 vermenigvuldigd worden.

Het resultaat van A<sup>2</sup> is dus  $10 \times 1.5 = 15$  %.

De cijfers van voor- en nadroging zijn nu beide bekend:

Resultaat voordroging A<sup>1</sup> = 10 %

„ nadroging A<sup>2</sup> = 15 %

De verleiding is groot om nu maar deze vochtcijfers op te tellen ( $10 + 15 = 25$  %) en dit cijfer voor het juiste totale vochtgehalte te houden. Dit kan niet juist zijn, omdat er aan het begin van de nadroging A<sup>2</sup> geen 50 doch slechts 45 gram materiaal over was.

Het juiste vochtgehalte wordt gevonden met behulp van de volgende formule:

$$V = \left( A^1 + A^2 - \frac{A^1 \times A^2}{100} \right) \text{ waarin } V \text{ het vochtpercentage is.}$$

Als de zojuist verkregen resultaten in deze formule worden ingevuld, dan krijgt men:

$$V = \left( 10 + 15 - \frac{10 \times 15}{100} \right).$$

In deze formule moet het aftrekken steeds of het laatst worden bewaard en de uitwerking wordt dus:

$$\begin{aligned} V &= \left( 10 + 15 - \frac{10 \times 15}{100} \right) \\ &= \left( 25 - \frac{150}{100} \right) \\ &= 25 - 1.5 \\ &= 23.5 \text{ \%} \end{aligned}$$

Het juiste vochtgehalte is dus niet 25, doch slechts 23.5 %.

Door beide uitkomsten op te tellen zou men dus in dit geval een fout gemaakt hebben van 1.5 %.

Nu moet nog gezien worden, hoe het staat met de voordroging B<sup>1</sup> en de nadroging B<sup>2</sup>.

Voordroging B<sup>1</sup>

	50 gram korrels
Na het voordrogen	44.4 gram korrels
<hr style="width: 10%; margin: 0 auto;"/>	
Het gewichtsverlies =	5.6 gram of 2 x 5.6 = 11.2 %

Nadroging B<sup>2</sup>

	10 gram gemalen materiaal
Na 1.5 uur drogen bij 130°	8.61 gram gemalen materiaal
<hr style="width: 10%; margin: 0 auto;"/>	
Het gewichtsverlies =	1.39 gram of 10 x 1.39 = 13.9 %

Het eindvochtgehalte is

$$V = (B^1 + B^2 - \frac{B^1 \times B^2}{100})$$

$$= (11.2 + 13.9 - \frac{11.2 \times 13.9}{100})$$

$$= (25.1 - \frac{155.68}{100})$$

$$= 25.1 - 1.5568$$

$$= 25.1 - 1.56$$

$$= 23.54 \%$$

De twee eindcijfers luiden 23.5 en 23.54 %

Het verschil is kleiner dan 0.1 % en dus is voldaan aan de in NEN 3090 gestelde nauwkeurigheidseisen.

Men moet zich door deze berekeningen, die op papier ingewikkeld schijnen maar in werkelijkheid heel eenvoudig zijn, vooral niet laten afschrikken.

De in het voorgaande besproken voorschriften, zijn uitvoerig beschreven in het Normaalblad NEN 3090. Deze Norm is verkrijgbaar via de boekhandel of rechtstreeks bij het Centraal Normalisatiebureau (CNB), Postbus 70, Den Haag.

## BROUWGERST

Bij de aankoop van brouwgerst wordt door de industrie meestal uitbetaald volgens een schaal voor vochtgehalte en kiemkracht. De kiemkracht valt buiten het kader van dit hoofdstuk en wij zullen ons dus beperken tot het vochtgehalte.

Door het Nationaal Instituut voor Brouwgerst, Mout en Bier T.N.O. (NIBEM) wordt het vochtgehalte van brouwgerst vastgesteld op een wijze die op bepaalde punten verschilt van de methode als beschreven in NEN 3090. De cijfers van het NIBEM gelden als officieel en belanghebbenden dienen derhalve dezelfde methode toe te passen.

Voor degenen die zich wensen te verdiepen in internationaal erkende bepalingen aan brouwgerst en mout, wordt verwezen naar no. 30 van de literatuurlijst. Daarin zijn ook voorschriften opgenomen over de monsternamen en wordt mededeling gedaan van de eisen waaraan droogstoven moeten voldoen. Het voorschrift voor de vochtbepaling laten wij hier volgen.

Bepaling van het vochtgehalte in brouwgerst:

1. Met behulp van een monsterverdeler wordt een monster van 20—25 gram gereed gemaakt.
2. Ca. 20 gram wordt gemalen en wel bij voorkeur in een E.B.C.-molen met een zeef van 1 mm, of anders in een Miag-Seck-molen
3. Ongeveer 5 gram van de gemalen gerst wordt afgewogen (in duplo) in aluminium weegdoosjes met dekseltjes (doorsnede doosjes 5 cm, hoogte 2 cm) en gedurende 3 uren bij  $\pm 106^\circ \text{C}$  in een droogstoof gedroogd. Daarna worden de doosjes gesloten en gedurende minstens 20 minuten afgekoeld in een exsiccator met silicagel. Vervolgens worden de doosjes opnieuw gewogen, en het vochtgehalte berekend.

### Voorbeeld

Er wordt 4,491 gram gemalen gerst in de droogstoof geplaatst.  
Na het drogen blijkt het gewichtsverlies 0,556 gram te bedragen.

Het vochtgehalte is dan  $\frac{0,556 \times 100}{4,491} = 12,4 \%$ .

Brouwgerst met meer dan 17 % vocht dient, evenals andere zeer natte graansoorten, eerst te worden voorgedroogd en mag dan pas worden gemalen.

Het voordrogen van de hele korrels dient hier te gebeuren bij temperaturen beneden 50° C.

De berekening van het eindvochtgehalte vindt dan plaats op dezelfde wijze als beschreven bij „Zeër nat graan of zaad”, dus met de formule:

$$V = (A^1 + A^2 - \frac{A^1 \times A^2}{100}), \text{ waarin}$$

A<sup>1</sup> = vochtverlies in % van de hele korrels

A<sup>2</sup> = vochtverlies in % van het gemalen monster uit de droogstoof, en

V = het totale vochtgehalte in %.

### 3. DE MONSTERNAME

Een vochtbepaling, hoe zorgvuldig ook verricht, verliest alle betekenis als aan de monstername niet de grootst mogelijke zorg is besteed.

Het vaststellen van het vochtpercentage is in de graanhandel een belangrijke aangelegenheid. Het vochtcijfer speelt een rol bij de financiële afrekening en is tevens een onmisbare factor voor de interne bedrijfscontrole (drogen, beluchten, opslaan).

Zowel van het aangevoerde als van het gedroogde graan moeten monsters worden genomen en wel zodanig, dat het gemiddelde vochtgehalte van de monsters gelijk of nagenoeg gelijk is aan dat van de partij. Dit is geenszins een eenvoudige zaak en het opstellen van algemeen geldende bemonsteringsvoorschriften stuit op bijzondere moeilijkheden omdat graan op diverse manieren wordt aangevoerd (per schip, trein, wagen, etc.). Bovendien kan aanvoer plaats vinden in zakken of kisten dan wel in losgestorte toestand.

Eén algemeen geldende richtlijn kan worden gegeven, nl. dat het beter is van een bepaalde partij graan verschillende kleine monsters te nemen dan slechts enkele grote.

Bij aanvoer in zakken b.v. kan het vochtgehalte per zak grote verschillen vertonen. Wordt nu uit enkele zakken een handvol graan genomen, dan zal het uit deze monsters verkregen vochtcijfer niet in overeenstemming zijn met het gemiddelde vochtpercentage van de gehele partij. Men dient dus uit een groter aantal zakken een monster te nemen en dan niet alleen boven uit de zak maar „dóór en dóór”, d.w.z. liefst met gebruikmaking van een boor.

Als het aangevoerde graan via een elevator of transportband (losgestort) het bedrijf binnenkomt, wordt het nemen van monsters eenvoudiger. Het graan is dan zonder speciale hulpmiddelen te bereiken en men kan regelmatig een kleine hoeveelheid in een monsterbusje opvangen.

Dat busje mag overigens niet open blijven staan en moet vervaardigd zijn van een stof die geen vocht opneemt b.v. van glas, blik of luchtdicht plastic.

In Nederland worden hoge eisen gesteld aan de vochtbepalingsapparatuur. Men verlangt vochtcijfers die nauwkeurig zijn tot op een tiende procent. Een dergelijke precisie heeft heel weinig zin als de bemonstering zó slordig is, dat de daarbij gemaakte fouten die van de vochtbepalingsapparatuur verre overtreffen. Daarom ook is het nemen van monsters in feite een belangrijke taak en degene die met dit werk is belast behoort over een grote mate van verantwoordelijkheidszin te beschikken.

## 4. VOCHTBEPALINGSAPPARATUUR

### 4.1 DROOGSTOVEN

Het drogen van een bepaalde materie tot constant gewicht is een vochtbepalingsmethode die al in de oudheid werd toegepast en ook nu nog in gebruik is. Ontdaan van alle franje is een droogstoof niets anders dan een grotere of kleinere kast met geïsoleerde wanden waarin een paar ventilatie-openingen zijn aangebracht. De lucht in de kast wordt verwarmd door elektrische verwarmingselementen en de gewenste temperatuur wordt ingesteld en gehandhaafd met behulp van een thermostaat of contactthermometer. In de stoof bevinden zich één of meer uitneembare platen of schappen waarop de monsters in kleine

schaaltjes, busjes of weegflesjes een plaats kunnen vinden. Verscheidene zaadsoorten, waaronder ook graan, dienen vooraf te worden gemalen. Van het gemalen graan wordt een kleine hoeveelheid afgewogen en in de stoof geplaatst, die tevoren reeds op de gewenste temperatuur is gebracht. Het droogproces wordt voortgezet tot het gewicht van het monster niet meer verandert. Men neemt dan aan, dat de substantie geheel droog is geworden en berekent het vochtpercentage uit het gewichtsverlies.

In de loop van de tijd werden verscheidene veranderingen in het bestaande droogstoof-type aangebracht. Toch wordt de „gewone” droogstoof ook nu nog veel gebruikt, vooral in laboratoria, waar goed geschoold personeel ter beschikking is. In de laatste tientallen jaren is er echter iets veranderd. Het vochtbepalen in land- en tuinbouwprodukten is niet langer een aangelegenheid, die uitsluitend tot het laboratorium beperkt blijft. Het werkterrein wordt en is reeds ten dele verlegd van de laboratoria naar de praktijk, dat is naar de direct belanghebbenden, dus de graan- en groenvoederdrogerijen, de zaadhandelaren en de landbouwers zelf. De mechanisatie van de landbouw werkt deze gang van zaken in de hand en vereist bovendien ontwikkeling van snellere vochtbepalingsmethoden en speciale apparatuur. De apparaten moeten in de meeste gevallen bediend worden door ongeschoold personeel en berekeningen dienen zoveel mogelijk te worden vermeden.

Als gevolg van de veranderde omstandigheden (een verandering, die zich niet alleen in de landbouw maar ook op ander gebied heeft voltrokken) is thans een droogstoof-type ontstaan, dat belangrijk afwijkt van het „klassieke” model.

Bij het nieuwere type is de eigenlijke droogruimte meestal kleiner en biedt plaats aan niet meer dan 6 of 10 monsters van 5 of 10 gram elk. Sommige fabrikaten werken met natuurlijke trek, andere zijn voorzien van een kleine ventilator die kamerlucht aanzuigt. In beide gevallen strijkt de instromende lucht langs een aantal elektrische verwarmings-elementen en komt dan in de eigenlijke droogruimte. De warme lucht neemt vocht op uit de monsters en verlaat het apparaat via een aantal aan de bovenzijde van de droogruimte aangebrachte „schoorsteentjes”.

De belangrijkste verandering is, dat de droogstoven voorzien zijn van een ingebouwde weeginrichting die zodanig is geconstrueerd, dat de schaalstukjes stuk voor stuk kunnen worden gewogen zonder ze uit de stoof te nemen. Het vochtpercentage kan direct worden afgelezen op een verlichte schaal, zodat geen berekeningen behoeven te worden gemaakt.

De weeginrichting kan echter niet worden gebruikt voor het afwegen van de verse monsters, omdat stoof en balans warm zijn. Een afzonderlijk weegwerktuig voor het afwegen van de verse monsters blijft dus nodig. Dat behoeft in dit geval geen dure analytische balans te zijn. Men kan volstaan met een apothekers- of milligrambalans in eenvoudige uitvoering.

De stoof dient gebruikt te worden overeenkomstig de voorschriften vervat in het Normaalblad NEN 3090, in het voorgaande nader toegelicht onder: „A. Het begrip vochtgehalte”.

Bij verscheidene graandroog- en opslagbedrijven zijn één of meer van deze z.g. half-automatische droogstoven in gebruik. De apparatuur is vrij kostbaar maar levert reproduceerbare resultaten die voor de handel voldoende nauwkeurig zijn.

Nu het graan als gevolg van nieuwe oogstmethoden in steeds kortere tijd bij de droog- en opslagbedrijven wordt aangevoerd, dreigt zelfs de half-automatische droogstoof enigszins in discredit te geraken. Men is het wel eens over de goed resultaten, maar de methode wordt meer en meer als te tijdrovend ervaren. Het laatste is vooral in het geding als het gaat om interne bedrijfscontrole, b.v. vochtcontrole op het gedroogde produkt van een drooginstallatie met een capaciteit van 10 ton per uur of meer. Als het onderzoek van de betreffende monsters 1 of 1½ uur in beslag neemt, kan de droger intussen 10 ton te droog graan hebben afgeleverd. Dat kost het bedrijf tijd en geld en het is duidelijk, dat de genormaliseerde droogstoofmethode (1½ uur drogen bij 130° C) voor een snelle vochtcontrole minder geschikt is.

In sommige bedrijven probeert men tijd te winnen door de temperatuur in de droogstoof op te voeren en de droogtijd naar verhouding te verkorten. In de praktijk komt het erop neer, dat het toch nog ongeveer een uur duurt voor het resultaat bekend is. Dat is dus geen oplossing van het probleem.

Er is onmiskenbaar behoefte aan zeer snel werkende vochtbepalingsapparatuur waarbij het vochtcijfer in enkele minuten bekend moet zijn. In verscheidene bedrijven is snelheid

de eerste eis en wil men desnoods genoeg nemen met wat minder nauwkeurige vochtcijfers, hoewel de afwijkingen ten opzichte van de droogstoof niet té groot mogen zijn.

## 4.2 ELEKTRISCHE VOCHTMETERS

De elektrische vochtmeters kunnen aan de „snelheidseisen” voldoen, maar de geproduceerde vochtcijfers zijn dan ook minder nauwkeurig. In feite wordt met deze meters niet het vocht gemeten, maar het geleidingsvermogen (of de elektrische weerstand) van het graan. Er is nog een tweede categorie, waarvan de werking berust op het meten van de di-elektrische constante. Het merendeel van de in ons land in de handel gebrachte elektrische vochtmeters behoort tot een van beide groepen.

Het geleidingsvermogen zowel als de di-elektrische constante hangen nauw samen met het vochtgehalte van het graan of zaad. Er is een zeker verband waardoor de mogelijkheid wordt geopend schalen te vervaardigen waarop het vochtgehalte direct kan worden afgelezen.

Voor elke graan- of zaadsoort is een aparte schaalverdeling of tabel nodig, die met grote zorg proefondervindelijk moeten worden samengesteld. Dit werk wordt gewoonlijk door of in opdracht van de fabrikant gedaan. Meestal zijn elektrische vochtmeters slechts voorzien van een vochtschaal voor een beperkt aantal graan- of zaadsoorten.

In Nederland zijn vochtmeters aan de markt van verschillend fabrikaat. Daarbij bevinden zich apparaten die zo zwaar wegen dat zij een vaste opstelling nodig hebben, maar er zijn ook kleine en licht geconstrueerde apparaatjes, die zeer gemakkelijk te vervoeren zijn.

Sommige vochtmeters moeten op het elektriciteitsnet worden aangesloten, andere werken op droge batterijen (vooral de kleinere meters).

In de laatste jaren is de technische uitvoering geperfectioneerd, waardoor de meeteigenschappen van verscheidene merken en fabrikaten niet ver uiteenlopen, al blijft de prijsklasse in sommige gevallen nog een rol spelen.

De prijzen variëren van f 450,— tot ca. f 3.000,—.

In Nederland wordt in het algemeen van een elektrische vochtmeter verlangd, dat de resultaten niet meer dan  $\pm 0.5\%$  (vocht) van de droogstoofcijfers zullen afwijken. Als het droogstoofcijfer b.v. 20% bedraagt moet de aanwijzing van de vochtmeter (na eventuele temperatuurcorrectie) tussen 19.5 en 20.5% liggen.

De ervaring heeft helaas geleerd, dat de afwijkingen soms belangrijk groter zijn en het is niet duidelijk of de miswijzingen moeten worden toegeschreven aan fouten, die bij het samenstellen van de vochtschalen zijn gemaakt, dan wel aan afwijkingen die inherent zijn aan het meetprincipe. Ook het ras en het gehalte aan zouten kunnen invloed hebben op het meetresultaat. Bij metingen aan hele korrels kunnen ook de afmetingen van de korrels een rol spelen.

De tabellen 63 t/m 65 geven een beeld van de afwijkingen die een elektrische vochtmeter kan vertonen t.o.v. de vochtcijfers die met een droogstoof zijn verkregen.

Het betreft hier vier elektrische vochtmeters van verschillend fabrikaat die in de tabellen nader zijn aangeduid met de letters A, B, C, D.

Tabel 62 geeft enige bijzonderheden over het meetprincipe en de stroomvoorziening.

TABEL 62

Vochtmeter	A	B	C	D
meetprincipe	di-elektrische constante	di-elektrische constante	geleidingsvermogen graan	geleidingsvermogen graan
stroomvoorziening	electriciteitsnet	batterijen	batterijen	electriciteitsnet
toestand graan	ongemalen	ongemalen	ongemalen	gemalen

Uit de tabellen 63 t/m 65 blijkt, dat van elektrische vochtmeters niet mag worden verwacht dat de geproduceerde vochtcijfers de droogstoofresultaten onder alle omstandigheden tot op  $\pm 0.5\%$  zullen benaderen. Dit geldt niet alleen voor de vier vochtmeters van dit onderzoek maar ook voor tal van andere fabrikaten, die in de loop der jaren door het IBVL zijn beproefd.

In het algemeen geven de vochtmeters, die met gemalen graan of zaad werken de beste resultaten (o.a. ook vochtmeter D).

Uit de metingen is niet gebleken, dat het ene systeem (weerstandsmeting) boven het andere (di-elektrische constante) te prefereren is.

Wat de gebruiksmogelijkheden betreft menen wij, dat sommige elektrische vochtmeters in de centrale droog- en opslagbedrijven en ook in de grotere landbouwbedrijven met eigen droog- en opslaginrichting, kunnen worden aangewend voor oriënterende vochtbepalingen bij ontvangst van het graan en voor controle op de vochtinhoud van het uit de drogers afgetapte graan.

### 4.3 STEEKHYGROMETERS

Een steekhygrometer bestaat uit een lange, puntige buis, waarop een afleesklok is gemonteerd. In de (meestal geperforeerde) buis bevindt zich een vochtgevoelig element dat verbonden is met de wijzer van de afleesklok. Men plaatst de buis zonder meer in losgestort of opgezakt graan of zaad en leest na tien minuten het vochtgehalte af van de klok.

In de meeste gevallen bestaat het vochtgevoelige element uit een harenbundel. Bij sommige fabrikaten is deze harenbundel vervangen door een kunststofelement. De werking berust in beide gevallen op het uitzetten en inkrimpen van het element, al naar gelang er een hoge of een lage vochtigheidsgraad heerst.

Met een dergelijk instrument wordt strikt genomen niet de vochtigheid van het graan of zaad gemeten, maar de vochtigheid van de lucht die zich tussen de graan- of zaadkorrels bevindt. Vooropgesteld, dat het instrument feilloos werkt, kan de meteraflezing alleen dan juist zijn, als het vochtgehalte van de lucht tussen de korrels in evenwicht is met het vochtgehalte van de korrels zelf. Dit laatste zal niet altijd het geval zijn, zeker niet als het graan of zaad kort tevoren kunstmatig gedroogd is.

Van de harenbundels is bekend, dat deze vrij snel ontregelen, vooral bij langer verblijf in een droge atmosfeer. De hygrometer is dan onbruikbaar en de ervaring heeft geleerd, dat het nauwkeurig op eigen bedrijf meestal wordt vergeten. Op de lange duur kan het materiaal vermoeid raken en in dat geval kan men er zelf niets meer aan verhelpen.

Met de kunststofelementen is nog niet veel ervaring opgedaan; ze schijnen wel minder snel te ontregelen.

TABEL 63

AFWIJKINGEN (IN % VOCHT) T.O.V. DE VOCHTPERCENTAGES, VERKREGEN MET DE GENORMALISEERDE DROOGSTOOFMETHODE (1½ UUR DROGEN BIJ 130° C)

Graansoort	Vochtgehalte volgens droogstoof %	Elektrische vochtmeter, fabrikaat:				Opmerkingen	
		A	B	C	D		
Haver	12.0	0.0	— 0.6 *	vochtmeter C niet voorzien van een vochtschaal voor haver	valt buiten het meetbereik van vochtmeter D	ca. ½ uur na 25 minuten drogen bij 90° C	
		— 0.1	— 0.6 *				
Haver	13.6	— 0.1	— 0.4		+ 0.7 *		
		0.0	— 0.4				+ 0.7 *
		+ 0.2	— 0.2				
Haver	14.2	0.0	— 0.4		+ 1.2 *		
		+ 0.2	0.0				+ 1.3 *
		+ 0.2	+ 0.1				
Haver	16.2	+ 0.2	+ 0.1		+ 0.2		
		+ 0.3	+ 0.4				+ 0.2
		+ 0.2	+ 0.5			+ 0.3	
		+ 0.3	0.0				+ 0.1
		— 0.3	+ 0.1			+ 0.1	
		+ 0.1	— 0.2				+ 0.3
Haver	16.8	+ 0.3	+ 1.2 *		+ 0.3		
		0.0	— 0.4			0.0	
		+ 0.1	+ 0.2				+ 0.2
		+ 0.2	— 0.1			+ 0.1	
		0.0	— 0.2				+ 0.1
+ 0.3	— 0.2	0.0					
Haver	19.4	+ 1.0 *	+ 1.4 *		+ 0.2		
		+ 1.0 *	+ 1.7 *			+ 0.3	
		+ 1.4 *	+ 1.5 *				— 0.3
Haver	21.5	+ 0.5	+ 1.2 *		— 0.4		
		+ 0.7 *	+ 1.1 *			— 0.3	
		+ 1.1 *	+ 1.3 *				— 0.2

\*) afwijkingen groter dan de toegestane limiet ( $\pm 0.5$  % vocht).



TABEL 64

AFWIJINGEN (IN % VOCHT) T.O.V. DE VOCHTPERCENTAGES VERKREGEN MET DE GENORMALISEERDE DROOGSTOOFMETHODE (1½ UUR DROGEN BIJ 130° C)

Graansoort	Vochtgehalte volgens droogstoof %	Elektrische vochtmeter, fabrikaat:				Opmerkingen
		A	B	C	D	
Rogge	13.2	+ 0.6 * + 1.0 * + 1.2 *	+ 0.7 * + 0.8 * + 1.1 *	+ 1.2 * + 1.7 * + 1.5 *	+ 0.5 + 0.9 * + 1.0 *	ca. ½ uur na 25 minuten drogen bij 80° C
Rogge	16.9	+ 1.0 * + 1.0 * + 1.0 *	+ 1.0 * + 0.9 * + 0.9 *	+ 0.3 + 0.1 + 0.2	+ 0.1 + 0.1 - 0.1	
Rogge	17.2	+ 0.6 * + 0.4 + 0.7 *	+ 0.4 + 0.4 + 0.4	+ 0.1 - 0.2 + 0.1	- 0.1 - 0.2 - 0.2	
Rogge	18.5	+ 0.9 * + 1.1 * + 1.1 *	+ 0.8 * + 1.0 * + 0.6 *	+ 0.4 + 0.4 + 0.4	+ 0.3 + 0.3 + 0.4	
Rogge	20.4	+ 0.3 + 0.4 + 0.3	+ 0.3 + 0.7 * + 0.7 *	- 0.3 - 0.2 - 0.4	- 0.1 - 0.1 + 0.1	

TABEL 65

AFWIJINGEN (IN % VOCHT) T.O.V. DE VOCHTPERCENTAGES VERKREGEN MET DE GENORMALISEERDE DROOGSTOOFMETHODE (1½ UUR DROGEN BIJ 130° C)

Graansoort	Vochtgehalte volgens droogstoof %	Elektrische vochtmeter, fabrikaat:				Opmerkingen
		A	B	C	D	
Tarwe	14.0	+ 0.3 + 0.2 + 0.2 + 0.2 + 0.4 + 0.3	+ 0.2 + 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.1 + 0.4	- 0.9 * - 0.6 * - 0.4 + 0.1 - 0.1 0.0	+ 0.3 + 0.3 + 0.3 + 0.2 + 0.3 + 0.2	ca. ½ uur na 25 minuten drogen bij 80° C } zelfde tarwe enkele dagen later gemeten
Tarwe	16.8	+ 0.2 + 0.4 + 0.3	+ 0.9 * + 0.9 * + 0.7 *	+ 1.1 * + 0.8 * + 0.8 *	+ 0.4 + 0.4 + 0.4	
Tarwe	17.5	0.0 + 0.3 + 0.1	+ 1.0 * + 1.1 * + 1.1 *	- 0.6 * - 0.7 * - 0.5	- 0.4 - 0.4 - 0.4	
Tarwe	18.0	+ 0.4 + 0.2 + 0.5	+ 1.2 * + 1.0 * + 0.9 *	- 0.3 - 0.7 * - 0.3	- 0.3 - 0.4 - 0.2	
Tarwe	20.1	+ 0.1 + 0.1 - 0.2	+ 0.5 + 0.9 * + 0.7 *	- 0.9 * - 0.5 - 1.1 *	- 0.3 - 0.4 - 0.4	
Tarwe	21.2	- 0.4 - 0.5 - 0.4	+ 0.8 * + 0.6 * + 0.7 *	- 1.6 * - 1.6 * - 1.5 *	- 0.6 * - 0.6 * - 0.5	

\*) afwijkingen groter dan de toegestane limiet ( $\pm 0.5$  % vocht).

#### 4.4 WARMTE(INFRAROOD)STRALERS

Het vochtgehalte van granen, zaden en allerlei land- en tuinbouwgewassen kan ook worden bepaald door de bestraling met z.g. infraroodlampen. Hiervan zijn verschillende soorten in de handel. Voor vochtbepalingsdoeleinden kan men gebruik maken van de thermostralers 250 Watt en van de z.g. droogstralers 250 Watt.

Behalve zichtbaar licht, zenden deze lampen ook nog de z.g. donkere straling uit, die voor een groot deel in het infrarode gebied ligt, warmtestralen dus.

Infrarode stralen zijn tot op zekere hoogte in staat in de materie door te dringen en worden daar onmiddellijk in warmte omgezet. Dit heeft een zeer snelle opwarming tot gevolg, waardoor de droogtijd belangrijk korter wordt dan bij de droogstoof.

De tijd, die nodig is om alle in een monster aanwezige vocht te verdampen, is mede afhankelijk van de afstand van de lamp tot het bestraalde materiaal. De bestralingssterkte neemt omgekeerd evenredig toe met het kwadraat van de afstand. Aangenomen, dat de afstand b.v. 18 cm bedraagt en men deze verkort tot 9 cm, dan wordt de bestralingssterkte  $4 \times$  zo groot. Vanzelfsprekend zijn de monsters dan ook in veel kortere tijd droog. Toch bestaat ook hier een limiet, omdat bij te kleine afstand verbrandingsverschijnselen optreden en de vochtbepaling dus mislukt.

Bij de handelsapparatuur is de afstand van de lamp tot het monster meestal niet veel groter dan 3 tot 6 cm. Bij een dergelijke kleine afstand is de bestraling zeer intensief en kan spoedig verbranding optreden. Om dat te voorkomen zijn de apparaten soms voorzien van een regeltransformator waarmee de bestralingssterkte verzwakt en de temperatuur dus verlaagd kan worden.

Bij sommige apparaten bevinden de droogschaltjes zich tijdens het drogen op een ingebouwde (torsie)balans, terwijl het vochtgehalte op een verlichte schaal kan worden afgelezen. Er is hier dus geen apart weegwerktuig meer nodig en er behoeven ook geen rekensommetjes te worden gemaakt om het vochtpercentage te vinden.

Een nadeel is, dat de fabrikant of importeur meestal geen tabellen verstrekt waarop de juiste bestralingsduur voor de diverse graan- en zaadsoorten is vermeld. Men kan de bestralingsduur (laten) vaststellen door vergelijking met de genormaliseerde droogstoofmethode. Het initiatief daartoe behoort uit te gaan van de fabrikant of de importeur.

De bestralingsduur voor een vochtbepaling in granen en zaden ligt tussen 10 en 15 minuten. De granen en vele andere zaadsoorten moeten vooraf worden gemalen. Oliehoudende zaden zoals koolzaad en lijnzaad mogen niet gemalen worden.

Met infrarood-vochtbepalingsapparaten kunnen vochtcijfers geproduceerd worden die de droogstoofcijfers zeer dicht benaderen. De afwijkingen blijven doorgaans beperkt tot  $\pm 0.2\%$ . Met een elektrische vochtmeter kan een dergelijke nauwkeurigheid meestal niet bereikt worden.

De prijzen voor infraroodapparatuur zijn doorgaans vrij hoog en variëren van  $f$  800,— tot  $f$  1800,—. Er zijn ook goedkopere apparaten, maar daaraan mogen geen hoge eisen van nauwkeurigheid worden gesteld.

Door het IBVL werd een eenvoudige infraroodapparatuur ontwikkeld voor snelvochtbepalingen in land- en tuinbouwprodukten. De apparatuur en methode zijn bedoeld voor interne bedrijfscontrole, terwijl gestreefd is naar een zo laag mogelijke prijs (ca.  $f$  225,—). De afstand van de lamp tot het monster is vastgesteld op ca 18 cm en dat is belangrijk méér dan bij de handelsapparatuur. Die afstand werd zo gekozen, omdat hierbij ook produkten als gras, voorgedroogd gras, lucerne, hooi, etc. zonder gevaar voor oxydatie of verbranding kunnen worden bestraald.

Als gevolg van de grotere lampafstand duurt een vochtbepaling in granen ca. 25 minuten. Voor een aantal land- en tuinbouwzaden werd de bestralingsduur vastgesteld (tabel 66). Het apparaat is voorzien van twee lampen, zodat een bepaling in duplo kan worden verricht. Vóór en na het drogen moeten de bussen worden gewogen. Een uitvoerige beschrijving van deze methode is verkrijgbaar bij het IBVL te Wageningen.

#### 5. HET AANSCHAFFEN VAN VOCHTBEPALINGSAPPARATUUR

Het is voor de belanghebbenden soms uiterst moeilijk een juiste keuze te doen uit de veelheid van vochtbepalingsinstrumenten die door de handel wordt aangeboden. Enkele wenken

TABEL 66

## HOEVEELHEID EN BESTRALINGSDUUR VOOR DIVERSE SOORTEN LAND- EN TUINBOUWZADEN

Zaadsoort	Aantal grammen	Bestralingsduur in min.	Opmerkingen
Bietenzaad	20	30	NIET malen 2 x omschudden
Blauwmaanzaad	20	10	NIET malen 2 „ „
Bonen (stam)	20	28	malen 2 „ „
Bonen (wier)	20	20	malen 2 „ „
Erwten (groene)	20	25	malen 2 „ „
Gerst	20	25	malen 2 „ „
Graszaad	20	30	NIET malen 2 „ „
Haver	20	20	malen 2 „ „
Kanariezaad	20	11	malen 2 „ „
Karwijzaad	20	21	NIET malen 2 „ „
Komkommerzaad	20	30	malen 2 „ „
Koolzaad	20	25	NIET malen 2 „ „
Lupine	20	25	malen 2 „ „
Lijnzaad	20	25	NIET malen 2 „ „
Mais	20	35	malen 2 „ „
Radijs	20	20	malen 2 „ „
Rogge	20	25	malen 2 „ „
Selderiezaad	20	21	NIET malen 2 „ „
Slazaad	20	19	NIET malen 2 „ „
Spinaziezaad	20	30	malen 2 „ „
Tarwe	20	25	malen 2 „ „
Tuinkers	20	30	malen 2 „ „
Uienzaad	20	15	malen 2 „ „
Wortelenzaad	20	22	NIET malen 2 „ „
GRAANSTRO	10	30	in stukjes van 1 à 2 cm lengte knippen of snijden

N.B. De in tabel 66 vermelde gegevens hebben uitsluitend betrekking op de infrarood-methode als beschreven in de IBVL-publikatie en kunnen dus niet worden gebruikt voor andere infrarood-handels-apparatuur.

kunnen worden gegeven om de keus te vergemakkelijken, hoewel de waarde daarvan slechts betrekkelijk kan zijn omdat de omstandigheden per bedrijf soms in hoge mate verschillend zijn.

Men dient te bedenken dat:

- a. de „KLASSIEKE” DROOGSTOOF vooral is voor het verwerken van vele tientallen monsters tegelijk, terwijl toch een relatief grote nauwkeurigheid (tot op  $\pm 0.2\%$ ) kan worden verkregen; bij een dergelijke droogstoof een analytische balans behoort en enige kennis van de weegtechniek onontbeerlijk is; het werken met geschoold personeel hier de voorkeur verdient en de resultaten pas na meerdere uren bekend kunnen zijn.
- b. de z.g. HALF-AUTOMATISCHE DROOGSTOVEN doorgaans niet meer dan 6 à 10 monsters tegelijk kunnen bevatten; vrij nauwkeurige resultaten geven (tot op  $\pm 0.3\%$ ); geen analytische maar wel een apothekersbalans nodig is; het apparaat toegerust moet zijn met een thermostaat of contactthermometer om de temperatuur constant te houden; de resultaten bekend zijn in ongeveer een uur tijd.
- c. ELEKTRISCHE VOCHTMETERS slechts een meetbereik hebben van ca. 9 tot 25%; niet voor alle zaadsoorten van een vochtschaal zijn voorzien; slechts één monster tegelijk kunnen verwerken maar resultaat geven in slechts enkele minuten; de nauwkeurigheid t.o.v. de genormaliseerde droogstoofmethode hoogstens  $\pm 0.5\%$  is en grotere afwijkingen kunnen voorkomen.
- d. de z.g. STEEKHYGROMETERS alleen kunnen dienen voor een ruwe oriëntering betreffende het vochtgehalte.
- e. INFRAROOD-VOCHTBEPALINGSAPPARATUUR te gebruiken is voor velerlei zaadsoorten en gewassen mits de juiste bestralingsduur is vastgesteld; de nauwkeurigheid van de apparatuur met verfijnde balans, de droogstoofresultaten zeer dicht benadert; slechts één bepaling per lamp kan worden gedaan, maar verschillende lampen kunnen worden opgesteld; de duur van een vochtbepaling afhankelijk van de lampafstand varieert van ca. 12 tot ca. 25 minuten (in granen).

Bij dit alles behoort nog te worden opgemerkt, dat voor een „echte” vochtbepaling het graan steeds moet worden gemalen en dus ook een molen nodig is. Voor een normale handelsbepaling kan worden volstaan met een goede elektrische koffiemolen, waarbij de maalbeker van een stof moet zijn die geen vocht opneemt. Strikt genomen dient men gebruik te maken van een langzaam draaiende molen (om warmte-ontwikkeling en daarmee gepaard gaand vochtverlies zoveel mogelijk te beperken) maar de praktijk maakt steeds meer gebruik van sneldraaiende elektrische molens. Een oriënterend onderzoek heeft uitgewezen, dat de vochtverliezen te verwaarlozen zijn, mits niet langer wordt gemalen dan strikt nodig is. Bij vochtgehalten hoger dan 22% kunnen moeilijkheden bij het malen optreden en verdient het de voorkeur een vóór-droging toe te passen als beschreven in het Normaalblad NEN 3090.

Overigens worden in de elektrische vochtmeters meestal hele korrels gebruikt.

# LITERATUUR

1. **KREYGER, J.:**  
„Onderzoek betreffende het bewaren van brouwergerst“.  
Int. Tijdschr. v. Brouwerij en Mouterij 18e jrg. 1958—1959 no. 3, 75-99.
2. **SCHOLZ, B.:**  
„Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt“.  
Landtechnische Forschung 12 (1962) 2 (Apr.) 48-52.
3. **SEMENIUK, G.:**  
"Activity of microflora in stored grain and grain products. Storage of cereal grain and their products".  
1954. Am. Assoc. of Cereal Chemists St. Paul Minnesota.
4. **SIJBRING, P. H. en J. JANSEN:**  
„Bewaren van zaaizaden“.  
Publ. no. 71 IBVL 1962 36-38.  
„Resultaten van zaaizaadonderzoek II“.  
Stichting Centraal Orgaan, Wageningen 1962.
5. **POUCHET, J. et J. C. PROMAT:**  
Ann. Epiphytes, 1962, 13 (1) 47-57.
6. **SEMENIUK, G.:**  
"Principal environmental factors influencing the activity of microflora. Storage of cereal grains and their products".  
1954. Am. Assoc. of Cereal Chemists St. Paul Minnesota.
7. **BELDEROK, B.:**  
„Onderzoek inzake het verband tussen de vitaliteit (tetrazolium-methode), de kiemkracht en de bak-kwaliteit van tarwe“.  
Rapp. 60-143 (Instituut v. Graan, Meel en Brood TNO) 1960.
8. **BEWER, H. E.:**  
„Getreidekonservierung mit kalter Nachtluft“.  
Berichte über Landtechnik No. 47 (1957).
9. **KREYGER, J.:**  
„Resultaten van een bewaaronderzoek onder afsluiting van de lucht met een negental landbouwzaai-zaden“.  
Publikatie Droogtechn. Lab. no. 67. Stencil 2516 CILO (1956).
10. **KOOPMAN, M. J. F.:**  
„Bewaarproef met 47 zaadsoorten onder verschillende omstandigheden“.  
Resultaten zaaizaadonderzoek 1, 82-85, Stichting Centraal Orgaan, Wageningen 1959.
11. **MILNER, M. and W. F. GEDDES:**  
"Respiration and Heating. Storage of cereal grains and their products".  
1954. Am. Assoc. of Cereal Chemists St. Paul Minnesota.
12. **KREYGER, J., G. R. VAN BASTELAERE en J. JANSEN:**  
„Onderzoek betreffende geventileerde bewaring en langzame droging van brouwergerst“.  
Int. Tijdschrift voor Brouwerij en Mouterij no. 5 (1959-1960) 134-161.
13. **KREYGER, J., G. A. VAN BASTELAERE en J. JANSEN:**  
Onderzoek betreffende langzame droging door ventilatie met onverwarmde lucht gevolgd door geven-tileerde bewaring van tarwe“.  
Publ. no. 74 IBVL 1962.
14. **BASTELAERE G. R. VAN:**  
„Voortgezet onderzoek betreffende langzame droging en geventileerde bewaring van tarwe“.  
Intern Rapport no. 144 IBVL 1962.

15. **BASTELAERE, G. R. VAN:**  
„Temperatuurwaarnemingen in graansilo's tijdens continu ventileren”.  
10 Jarenplan Graanonderzoek, Ned. Graan Centrum, verslag 8e jaar.
16. **KREYGER, J.:**  
„Geventileerd bewaren van graan”.  
Publ. no. 77 IBVL 1962.
17. **KREYGER, J.:**  
„Het drogen van akkerbouwprodukten”.  
Publ. A 20 IBVL 1958.
18. **KREYGER, J.:**  
„Invloed van de luchttemperatuur op de kwaliteit van gedroogd graan”. (Onder omstandigheden, zoals deze in vele praktijkdrogers kunnen worden benaderd).  
Conserva 8 (1959/60) 323.
19. **KREYGER, J.:**  
„Drogen van zaaizaden”.  
Resultaten van zaaizaadonderzoek I, Stichting Centraal Orgaan, Wageningen 1959.
20. **KREYGER, J.:**  
„Drogen van zaaizaden”.  
Publ. 71 IBVL 1962 15-31. Resultaten van zaaizaadonderzoek II, Stichting Centraal Orgaan, Wageningen 1962.
21. **KREYGER, J.:**  
"Drying of seeds".  
Proceedings Int. Seed Testing Ass. Vol. 25 1960 no. 1, 590-601.
22. **KREYGER, J.:**  
„Het bepalen van de temperatuurgevoeligheid van een negental zaaizaden door middel van verhitingsproeven”.  
Publikatie van het Droogtechnisch Laboratorium no. 44.
23. **LINDBERG, JOH. E. en I. SÖRENSEN:**  
Kungl. Skogsoch Lantbruks-akademiens Tidskrift. Suppl. 1, Stockholm (1959).
24. **SIJBRING, P. H.:**  
Interne studie IBVL.
25. **KREYGER, J. en P. H. DE HAAN:**  
"Problemen bij de opzet van centrale op- en overslagbedrijven voor inlands graan".  
Jaarverslag IBVL 1962 (33-42).
26. **BEKASSOW, A. G. en N. I. DENISSOW:**  
Handbuch der Körner Trocknung, VEB Verlag Technik, Berlin (1955).
27. **GEHLE, H.:**  
"Commercial Grain Drying Conference on Drying".  
Inst. of Fuel Republic of Ireland Group, Dublin 1963.
28. **G. R. VAN BASTELAERE en Mej. A. VEENBAAS:**  
"Geventileerd bewaren van groene erwten". Meerjarenplan voor onderzoek akkerbouwprodukten. Verslag over het 5e jaar, 1962 (39-64).
29. **SPRENGER, J. J. I.:**  
"Kunstmatig drogen in de landbouw".  
Staatsdrukkerij, den Haag, 1958.
30. **ANALYTICA, E. B. C.**  
Elsevier Publishing Company, 2e druk, 1963.

# INDEX

	pag.
<b>A</b> Ademhaling van het zaad	2, 145
<b>B</b> Bacteriën tijdens bewaren	6
Bakwaarde in verband met drogen	54—60
Bewaarduur (zie N)	
Bewaren graan (zie onder C, K, N, S, V)	
Bewaren zaaizaden zie ook K, N, S en V	137, 138
<b>C</b> Centrale bedrijven voor graan: typen	67—69
"      "      "      " : grootte onderdelen	69—72
"      "      "      " : schematische opzet	70, 71
<b>D</b> Dampdrukisothermen, granen-zaden	5, 7, 8, 9
Drogen: Grondslagen	32
" : Uitwendige droogomstandigheden	32
" : Mollier-diagram	33—35
" : Inwendige droogomstandigheden	38—40
" : Kritische korreltemperatuur i.v.m. kiemeigenschappen	42—45
" : Kritische korreltemperatuur i.v.m. bakeigenschappen	54—60
" : Spreiding en verloop korreltemperatuur tijdens het drogen in doorstroomdrogers	54—56
" : Technologische indeling droogsystemen	35—38
" : Benodigde droogcapaciteit centrale graanbedrijven	70
" : Keuze droogsystemen op centrale graanbedrijven	76—77
" : Gewichtsverliezen bij drogen	73—75
" : Zaaigraan	117
" : Zaaigraan in vlakke lagen	120
" : Zaaigraan op droogvloer	122, 123
" : Zaaigraan in kisten	119, 123, 124, 127
" : Zaaigraan in cilindrische silo's met binnenbuis	127, 128
" : Zaaizaden	130, 131
" : Zaaizaden, algemene opmerkingen	141
" : Zaaizaden, in de zak	132
" : Zaaizaden, voorbeeld zakkendrogerij voor graszaad	133—137
" : Peulvruchten	139, 140
Drogen en bewaren op de boerderij	145—159
Droogstoven	168—170
Drogers: Technologische indeling droogsystemen	35—38
" : Keuze droogstelsel op centrale graanbedrijven	76, 77
" : Trommeldrogers	77—81
" : "          Capaciteit	79
" : "          Krachtverbruik	80
" : "          Brandstofverbruik	80
" : "          Voorbeelden (berekeningen)	80, 81
" : Verticale doorstroomdrogers	81—88
" : "          "          Contactverwarming	88
" : "          "          Capaciteit	89
" : "          "          Droogduur	89
" : "          "          Krachtverbruik	91
" : "          "          Warmteverbruik	91
" : "          "          Voorbeelden (berekeningen)	91, 92
" : Schudeestdrogers	92, 93

Druk	: Dynamische druk	95—96
„	: Statische druk (zie ook luchtweerstand)	95
„	: Totale druk	96
<b>E</b>	<b>Elektrische vochtmeters</b>	170, 171
	Evenwichtsvochtgehalten (zie dampdrukisothermen)	
<b>G</b>	<b>Graszaad, drogen in de zak (zie Drogen)</b>	
<b>I</b>	<b>Infraroodstralers</b>	174
	Infraroodstralers, bestralingstabel (66)	175
<b>K</b>	<b>Kiemkrachtbehoud, normen bij bewaren zonder ventilatie</b>	12—22
	„ bij drogen	42—45
	Koelen door ventilatie, grondslagen	29—31
	Koelen bij hoge silo's	64—66
	Krachtverbruik (zie D en V)	
	Kisten	127
<b>L</b>	<b>Luchtweerstand</b>	94
	„ Toevoerleidingen	95—98
	„ Verdeelsystemen	98
	„ Geperforeerde plaat	98, 99
	„ Ringbuis met spleet	100
	„ Vlakke lagen graan of zaad	103, 104
	„ Lagen in cilindrische doorblaassilo's e.d.	107—109
	„ Bij drogen graan of zaad in de zak	135, 136
	Luchtsnelheid	95
<b>N</b>	<b>Normen (temperatuur-vocht-duur) bij bewaren (zaadeigenschappen i.v.m. bewaren)</b>	11—27
	i.v.m. kiemkracht (geen ventilatie)	12—22
	i.v.m. schimmelvorming (geen ventilatie)	23—26
	Betekenis van de bewaarnormen	27
<b>O</b>	<b>Omlopen silo's (hoge silo's)</b>	63
<b>S</b>	<b>Schimmelvorming tijdens bewaren</b>	6, 10, 11
	Schimmelvrij bewaren (ongeventileerd)	23—26
	Schimmelvrij bewaren (geventileerd)	31—32
	Silo's - hoge silo's - voor graan	63
	„ „ „ temperatuurcontrole	63
	„ „ „ ventileren	64
	„ „ „ mechanisch koelen	64—66
	„ „ „ omlopen	63
	Steekhygrometers	171
<b>V</b>	<b>Verliezen aan gewicht bij drogen</b>	73—75
	Verliezen aan droge stof bij bewaring	3, 4



<b>Ventilatie bij bewaren,</b>	<b>grondslagen doelstelling</b>	27
„ „ „	<b>grondslagen langzame droging</b>	27, 28
„ „ „	<b>grondslagen koeling</b>	29—31
„ „ „	<b>op centrale graanbedrijven, doelstelling</b>	93
„ „ „	<b>op centrale graanbedrijven, varianten</b>	94
„ „ „	<b>luchtweerstand</b>	94—103 en 107—109
„ „ „	<b>krachtverbruik (vlakke lagen)</b>	106, 107
„ „ „	<b>invloed storthoogte op luchthoeveelheid (vlakke lagen)</b>	105, 106
„ „ „	<b>doorblaassilo's met binnenpijp</b>	107—112
„ „ „	<b>doorblaassilo's, zuigen of blazen</b>	109
„ „ „	<b>doorblaassilo's, krachtverbruik</b>	109, 110
„ „ „	<b>doorblaassilo's, invloed diameter binnenbuis op krachtverbruik</b>	109, 110
„ „ „	<b>vergelijking ventileren vlakke lagen of in cilindrische silo's met binnenbuis</b>	111, 112
„ „ „	<b>geringe verwarming bij ventileren</b>	27, 28, 117
„ „ „	<b>tijdelijk bewaren graan 21-24 % vocht</b>	112, 113
„ „ „	<b>tijdelijk bewaren graan 19-20 % vocht</b>	113, 114
„ „ „	<b>definitief bewaren graan met 17—18 % vocht</b>	114
„ „ „	<b>definitief bewaren graan 18-20 % vocht</b>	115, 116
„ „ „	<b>Zaaigraan</b>	128, 129
„ „ „	<b>Zaaigraan laagdikte - luchtbehoefte - opwarming</b>	131—137
„ „ „	<b>Peulvruchten</b>	140
„ „ „	<b>Peulvruchten, samenstelling laagdikte - luchtbehoefte - opwarming</b>	140
<b>Vochtbepalingen, algemeen</b>		163
„	<b>in zeer nat graan en zaad</b>	164
„	<b>in brouwgerst</b>	167
„	<b>monstername</b>	168
<b>Vochtbepalingsapparatuur, aanschaffen van</b>		174
<b>W Warmte (infrarood)stralers</b>		174
<b>bestralingstabel (66)</b>		175