

SEPARAAT
No. 21061

**Invloed van de luchttemperatuur
op de kwaliteit van gedroogd graan**

633.1.002.612 : 631.563.2 : 551.524

(Onder omstandigheden, zoals deze in vele praktijkdrogers kunnen worden benaderd)

door J. KREYGER

BIBLIOTHEEK
INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
GRONINGEN

Overdruk uit
CONSERVA
8 (1959/60) 323

Invloed van de luchttemperatuur op de kwaliteit van gedroogd graan

(Onder omstandigheden, zoals deze in vele praktijkdrogers kunnen worden benaderd)

door J. KREYGER

Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwproducten, Wageningen

Inleiding

Granen zullen, alvorens ze voor hun speciale bestemming worden gebruikt, als regel enige tijd moeten worden bewaard.

Voor een doelmatige bewaring zijn maatregelen nodig, enerzijds gericht op het brengen van het materiaal in een voor de opslag gunstige toestand en anderzijds op het scheppen en in stand houden van goede opslagomstandigheden.

Tot de eerstgenoemde categorie maatregelen behoort het drogen, dat tot doel heeft het vochtgehalte op een voor de opslag geschikt peil te brengen. Dit drogen dient in een zo vroeg mogelijk stadium na het oogsten te geschieden. Verder moet de eis worden gesteld, dat alle eigenschappen, waarop men prijs stelt, behouden blijven.

Bij het drogen zal men er uiteraard naar streven om op een zo economisch mogelijke wijze te werk te gaan, dus doelmatige en niet onnodig dure inrichtingen en werkwijzen te gebruiken en toe te passen.

Veel van de in de praktijk in gebruik zijnde typen drogers blijken in verband met principe en uitvoering tekenen te vertonen, die wijzen op een compromis. Een dergelijk compromis is gesloten met betrekking tot verschillende technologische en economische eisen. Dit is zeer begrijpelijk. Toch is het noodzakelijk om de essentiële technologische kenmerken van een droger te onderkennen en de consequenties ervan na te gaan ten aanzien van kwaliteitseisen, die aan de behandelde granen moeten worden gesteld.

In het navolgende artikel zal een beschouwing

worden gegeven op grond waarvan blijkt, dat vele in de praktijk in gebruik zijnde drogers een gemeenschappelijk kenmerk vertonen, t.w. het drogen van graan in een laag, die vrijwel niet wordt gemengd, terwijl de luchtrichting nagenoeg éénzijdig is.

Het leek gewenst het drogen van graan onder dergelijke omstandigheden aan een nader onderzoek te onderwerpen, temeer, omdat de maximaal toe te laten korreltemperatuur, de variatie van korreltemperaturen in de laag, het verloop van de korreltemperatuur tijdens de droging, het verband tussen lucht- en korreltemperatuur, het verband tussen korreltemperatuur en vochtgehalte bij het drogen in de praktijk kwesties zijn, waarover men niet altijd goed is geïnformeerd.

Dit onderzoek, dat door het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwproducten te Wageningen ter hand werd genomen, wordt beschreven en de resultaten en conclusies worden gegeven. Het onderzoek zou uiteraard niet mogelijk zijn geweest zonder de medewerking van andere instituten. Een belangrijk deel betrof het vaststellen van kwaliteitswaarden van monsters, die bij de proefneming werden verkregen.

De kiemkrachtbepalingen werden verricht door het *Rijksproefstation voor Zaadcontrole* te Wageningen, de bakeigenschappen werden vastgesteld door het *Instituut voor Graan, Meel en Brood T.N.O.*, eveneens te Wageningen.

Een woord van dank aan genoemde instituten is op zijn plaats. Hetzelfde geldt voor enkele medewerkers van het I.B.V.L., waarvan genoemd worden de heer J. Jansen, die een groot aandeel had

in de uitvoering van de proeven en de heer F. A. J. Rohde, die de tekeningen gereed maakte voor publikatie.

Het eindvochtgehalte bij het drogen van granen

Zoals alle vochtbevattende materialen bezit graan een zekere waterdampspanning. De waarde hiervan mag bij opgeslagen graan liefst niet hoger zijn dan 70—75% van de dampspanning van zuiver water bij de opslagtemperatuur. In dat geval zal de evenwichts atmosfeer van het graan een relatieve vochtigheid hebben van 70—75%, een waarde waarbij schimmels niet tot ontwikkeling komen.

Nu is de dampdruk van granen lager dan die van water bij dezelfde temperatuur. Afhankelijk van het vochtgehalte varieert de bedoelde verhouding van 0,1—0,95.

Om uit te maken tot welk vochtgehalte dient te worden gedroogd, is de kennis van dampdrukisothermen van granen noodzakelijk. Deze geven het verband aan tussen de dampdruk en het vochtgehalte bij een bepaalde temperatuur. Als regel wordt de dampdruk uitgedrukt als percentage van de waarde van de dampspanning van zuiver water bij dezelfde temperatuur. Voor enkele granen zijn in tabel 1 enige gegevens opgenomen (10, 20).

TABEL 1
Dampdrukisothermen (gedeeltelijk) voor enkele zaden in tabelvorm (geldend bij kamertemperatuur)

Materiaal	Vochtgehalten in % van totaal gewicht bij evenwichts atmosferen met de volgende relatieve vochtigheden					
	50%	60%	70%	75%	80%	90%
Tarwe	12,2	13,4	14,8	15,3	16,7	20,4
Rogge	12,2	13,5	15,1	16,2	17,5	21,6
Haver	11,4	12,5	14,0	15,2	17,0	22,6
Koolzaad	6,0	6,9	8,0	8,6	9,3	12,1
Groene erwten	11,9	13,5	15,0	15,9	17,1	22,0

De vochtgehalten in de verticale kolommen zijn vergelijkbaar, m.a.w. ten opzichte van de houdbaarheid is een vochtgehalte van bv. 6,9% voor koolzaad vergelijkbaar met 13,4% voor tarwe en 12,5% voor haver. Verschillen tussen de soorten worden mede veroorzaakt door de gebruikelijke wijze van uitdrukken van het vochtgehalte (op totaal gewicht). Vet is t.o.v. de dampdruk indifereent; zou men het vochtgehalte bv. uitdrukken op vetvrije droge stof, dan zou het verschil tussen de zaden onderling grotendeels wegvallen.

Droogt men bv. zaden tot 18 à 19% vocht, betrokken op vetvrije droge stof, dan heeft men een produkt dat in evenwicht is met een atmosfeer, die een relatieve vochtigheid heeft van 70—75%.

Het hangt overigens van de opslagomstandigheden af tot welke grens van relatieve evenwichtsvochtigheid men dient te gaan.

Het materiaal, bezien van uit een droogtechnisch standpunt

Structuur

Graankorrels bezitten een zeer ingewikkelde structuur (18). In het bestek van dit artikel moet worden volstaan met een zeer globale beschouwing van een droogtechnisch standpunt uit. Op die wijze beschouwd, krijgt men het volgende beeld. Aan het eigenlijke zaad kan een omhulsel worden onderscheiden, dat de kiem en de voedselvoorraad voor de kiem omvat (endosperm). Bij de bedektzadigen is het geheel omgeven door het kafje.

Het omhulsel van de eigenlijke graankorrel heeft een gecompliceerde bouw; in dit verband moet worden opgemerkt, dat er een laag cellen in aanwezig is, die vrij moeilijk vocht doorlaat. Alleen ter plaatse van de kiem is deze doorlatendheid wat groter (24). Bij een droging zal de kiem dan ook eerder uitdrogen dan de rest van het inwendige. Het inwendige van het zaad maakt verreweg het grootste deel uit van het korrelgewicht.

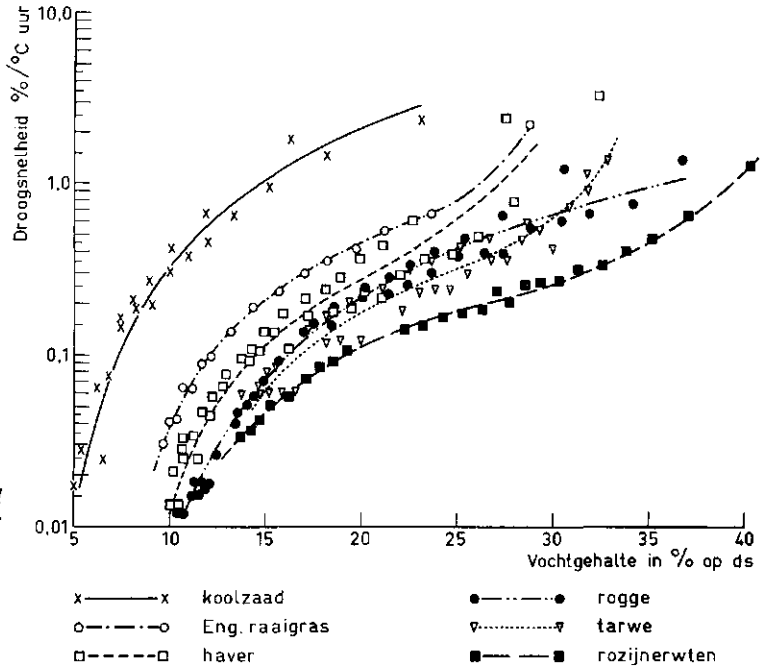
Het endosperm bestaat voor het grootste deel uit zetmeel, daarnaast zijn eiwitten aanwezig (in het endosperm van tarwe ca. 14% eiwit en ca. 80% zetmeel op de droge stof). Het zijn bij tarwe vooral de eiwitten in het endosperm, die van groot belang zijn voor de bakkwaliteit. Bij het drogen mogen de elastische eigenschappen niet verdwijnen doordat de korreltemperatuur te hoog is geweest. Bij het drogen van zaaigraan mag de temperatuur van de korrel evenmin te hoog zijn, omdat dan de kiem gedood wordt en er tevens andere blijvende beschadiging wordt aangericht, waardoor het ingewikkelde kiemingsproces verstoord of onmogelijk wordt.

Bereidheid om vocht af te staan

Bij het drogen van materialen, die zeer nat zijn, kan het voorkomen, dat ze zich in de eerste fazen van de droging gedragen als zuiver water. Afhankelijk van de droogomstandigheden blijft de droogsnelheid (bv. 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, zakt de droogsnelheid, ook al blijven de droogomstandigheden zoals ze buiten het materiaal zijn aangelegd, gelijk. Men noemt dit, in tegenstelling tot de eerste periode van gelijk blijvende 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 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, die



Afb. 1 Droogsnelheden van enkele zaadsoorten. Luchtsnelheid ca. 0,4 m/sec; luchttemperatuur 35°C.

eventueel ook in graandrogers zouden kunnen worden gedroogd.

Ter verduidelijking van het begrip droogsnelheid moet worden opgemerkt, dat er bij het drogen altijd twee zaken moeten worden onderscheiden, t.w.:

- a. de uitwendige droogomstandigheden, bv. temperatuur en snelheid van de lucht langs het materiaal;
- b. het materiaal, dat specifieke eigenschappen vertoont met betrekking tot het loslaten van het vocht onder de gegeven omstandigheden.

Verschillen ten aanzien van het sub b bedoelde kan men onderkennen als men verschillende materialen aan droogproeven onderwerpt, waarbij de omstandigheden, als bedoeld sub a, gelijk worden gehouden.

Een onderzoek naar de onderlinge verhouding van droogsnelheden van verschillende zaden is verricht door de afdeling Droog-, Koel- en Luchttechniek van het Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwproducten te Wageningen.

Hier volgen enkele resultaten, die in het geval van granen van belang zijn.

In afb. 1 ziet men ter illustratie het verband getekend tussen droogsnelheid en vochtgehalte voor haver, tarwe en rogge en ter vergelijking voor koolzaad, Engels raaigras en rozijnerwten. De droogsnelheid is ter onderlinge vergelijking uitgedrukt in procent vochtonttrekking per 1°C droogpotentiaal van de lucht en per uur. Het vochtgehalte is betrokken op de droge stof. De uitwendige droogomstandigheden waren nagenoeg gelijk. Gedroogd werd in zeer dunne lagen (enkele korrels dik).

Men ziet, dat onder de gegeven droogomstandigheden voor haver, tarwe, rogge en rozijnerwten 10% vocht op ds ongeveer het evenwichtsvochtgehalte is, bij Engels raaigras en koolzaad ligt het lager. Stelt men de droogsnelheid, m.a.w. de bereidheid om vocht af te staan, voor tarwe bij 20% vocht op ds op 100, dan krijgt men de verhoudingen van tabel 2.

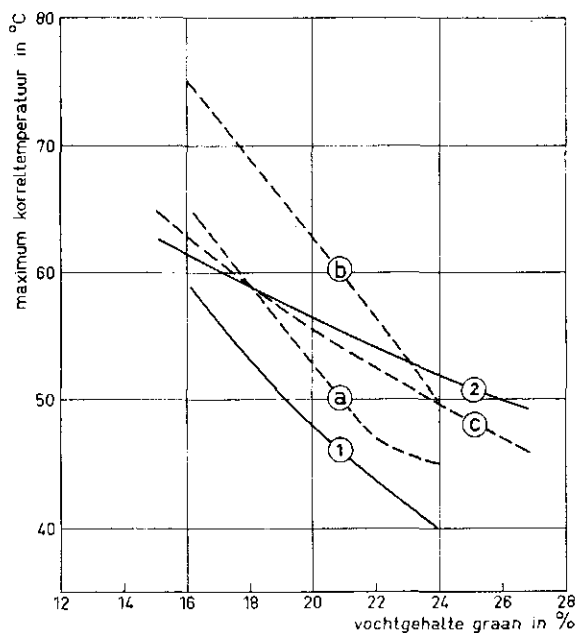
TABEL 2
Verhouding in de bereidheid om vocht af te staan bij tarwe, rogge en haver

Vochtgehalte op ds	Tarwe	Rogge	Haver
15	40	40	60
20	100	120	150
25	180	240	350

Temperatuurgevoeligheid

Een ander probleem betreft de temperatuurgevoeligheid van het graan. Men kan zich afvragen wat de maximale temperatuur is die het graan kan verdragen zonder de gewenste eigenschappen te verliezen. In de literatuur zijn gegevens te vinden, gebaseerd op onderzoek en ervaring. Uit de onderzoeken blijkt, dat de temperatuurgevoeligheid daalt naarmate het graan droger is. Bij vele van de opgaven is een marge van 10°C verdisconteerd ten opzichte van de waarden, zoals deze bij proefnemingen zijn gevonden (dit met het oog op onvolkomenheden die bij de droogpraktijk voorkomen).

In afb. 2 is een aantal van deze gegevens grafisch samengevat (zonder praktijkcorrectie). Naast



Afb. 2 Verband kritische korreltemperatuur en vochtgehalte tijdens het drogen (uit de literatuur): 1 zaaigraan (21); 2 zaaigraan (12); a consumptietarwe (21); b consumptierogge (21); c consumptiegraan (12).

deze gegevens zijn verspreide opgaven te vinden, die nogal eens uiteenlopen. Enkele Russische opgaven (1, 8) schrijven als eindtemperatuur bij zaaddroging 40 tot 45°C.

Het meten van de korreltemperatuur geeft in de praktijk vaak moeilijkheden. Men vindt daarom voor het drogen met verwarmde lucht (de meest toegepaste werkwijze) ook wel normen voor de luchttemperatuur opgegeven (17, 11).

Voedergranen

luchttemp. max. 82°C

Consumptiegranen

luchttemp. max. 65°C

Brouwgerst - zaaigraan

luchttemp. max. 48°C beneden 24% vocht

luchttemp. max. 43°C boven 24% vocht

Mounfield en medewerkers (16) komen tot de conclusie, dat men met de luchttemperatuur tot 95°C kan gaan, wil men de bakeigenschappen niet ten ongunste veranderen. Bij de proeven, waarop deze uitspraak is gebaseerd, werd het graan in een 15 cm dikke laag, onder voortdurend roeren van het materiaal, gedroogd.

Enkele recente onderzoeken verdienen nadere vermelding. Bij een onderzoek, verricht door Lindberg en Sørensen (12), 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. Verder bleek, dat bij tarwe geen grote verschillen aanwezig waren tussen de kritische temperaturen be-

treffende de kiemkracht en de bakeigenschappen (vooral niet in het normale traject van vochtonttrekking). De voornaamste resultaten vindt men in tabel 3.

TABEL 3

Door Lindberg en Sørensen gevonden waarden voor de kritische temperatuur van graan

Vochtgehalte in %	Kritische temperatuur in °C		
	1	2	3
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 bromaatvoeging)

3: met betrekking tot bakeigenschappen (met bromaatvoeging)

Bij de waarden van tabel 3 is geen rekening gehouden met een veiligheidsmarge voor de praktijk.

Hege (4) deed droogproeven met graan in een experimentele tegenstroomdroger, waarbij het graan in een laag van 60 cm dik werd gedroogd. Het bleek, dat de maximaal toelaatbare korreltemperatuur, die werd bereikt als het vochtgehalte beneden 17% kwam, voor tarwe bij 65°C, voor gerst bij 60°C en voor rogge bij 62°C lag. Tot deze temperaturen bleken de bakeigenschappen op peil te blijven, bij overschrijden van deze korreltemperaturen trad beschadiging op. Ook bij deze waarden is geen praktijkcorrectie in rekening gebracht. Von Sybel (23) vond bij proefnemingen, dat de bakeigenschappen intact bleven als de korreltemperatuur op het einde van de droging niet hoger was dan 73°C. Opgemerkt dient te worden, dat het eindvochtgehalte daarbij slechts 11% was. De proefdrogingen vonden plaats met behulp van een proefdroger, waarbij de warmte hoofdzakelijk door straling op het graan werd overgedragen.

Naast onderzoeken als bovengenoemd, zijn er proeven genomen, waarbij de temperatuurgevoeligheid is nagegaan aan de hand van verhittingsproeven onder stationaire omstandigheden. Hierbij zijn zaden met verschillend vochtgehalte gedurende bepaalde tijden bij verschillende temperaturen verhit. Deze omstandigheden zijn stationair en daarom principieel anders dan tijdens een droging. Men heeft bij dergelijke proeven geen vochtgradiënt in de korrels. De resultaten zijn daarom alleen dienstig ter onderlinge vergelijking van de temperatuurgevoeligheid. Wij laten ze hier buiten beschouwing.

Principes van het drogen van graan

Bij het drogen moet er vocht van 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 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 plaats vinden door:

- A. verhoging van de dampdruk van de korrels;
- B. verlaging van de dampdruk buiten de korrels;
- C. 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 korrel naar zijn omgeving te bevorderen, dus om de droog-snelheid te vergroten, dient men op de een of andere wijze warmte aan de korrel toe te voeren. Men moet er hierbij voor zorgen, dat de dampdruk van de omgeving door het vrijkomende vocht niet stijgt. 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 graan gemakkelijker vocht af dan bij lagere vochtgehalten.

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

De korreltemperatuur op een bepaald ogenblik hangt dus af van:

- a. de mate van warmte-overdracht op de korrel;
- b. de mate van vochtafvoer uit de korrel op dat ogenblik.

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

1. door *contact*. Het graan wordt via een wand verwarmd door condenserende stoom of door heet water e.d.;
2. door *convectie*. Het graan 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 graan 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 uiterst weinig toegepast. Wel zijn er proeven genomen (23).

De onder B genoemde maatregel kan bv. 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 graan 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 (bv. 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 men zou bij vacuümdroging de korreltemperatuur extra hoog maken, dan zou men de situatie hebben, genoemd sub C.

Op welke wijze men in principe droogt, altijd vindt er bij de droging een verandering van de korreltemperatuur plaats, van een lagere temperatuur naar een hogere. Bij de sub B genoemde methode ligt het niveau van de korreltemperatuur evenwel lager dan bij A en bij C.

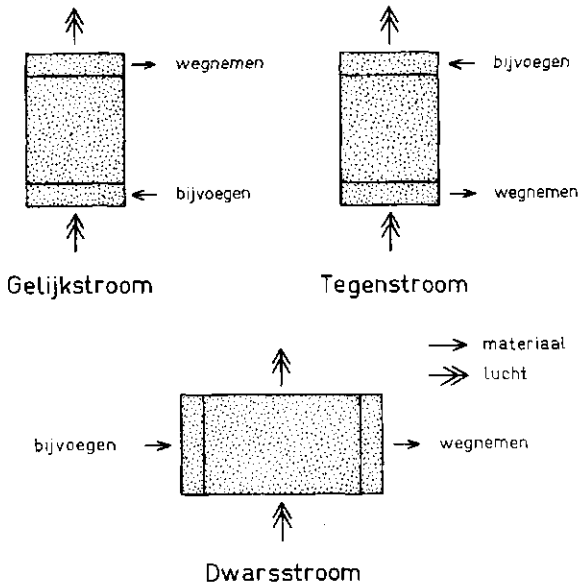
In de praktijk toegepaste methoden van graan-droging

Vacuümdroging van graan

Hierbij wordt het graan verwarmd door contact en geleiding (met door stoom of warm water verwarmde elementen), terwijl buiten de korrels een vacuum 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 en hoogwaardige granen.

Onderscheiden kunnen worden: continu werkende en discontinu werkende drogers.

Bij continu werkende vacuümdrogers, die zeer hoog kunnen zijn, treedt het graan door automa-



Afb. 3 Principes van continu drogen met verwarmde lucht

tisch werkende sluizen in en uit de onder vacuum 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. Volgens Mohs (5) kan men bij een korreltemperatuur van 55°C binnen 40 minuten 8% vocht onttrekken. De capaciteit kan in de orde van 10—15 ton/uur liggen.

Bij de discontinu werkende drogers wordt ladingsgewijs gedroogd. Dit gebeurt meestal in trommels. Er bestaat evenwel ook een uitvoering, waarbij een circulatie van de lading wordt toegepast door middel van een onder vacuum staand transportsysteem (Circuvac-droger).

Het drogen van graan met behulp van een luchtstroom

In verreweg de meeste graandrogers wordt lucht gebruikt, die de graankorrels omspoelt. Men zou deze drogers, in tegenstelling tot de vacuumdrogers, atmosferische drogers kunnen noemen. 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.

Een verder onderscheid is te maken tussen continu werkende drogers en discontinu werkende drogers. De laatste zijn meer geschikt voor kleinere firma's en voor landbouwbedrijven.

Continu werkende drogers (m.b.v. een luchtstroom).

Bij de continu werkende drogers kunnen twee principieel verschillende systemen worden onderkend, t.w.:

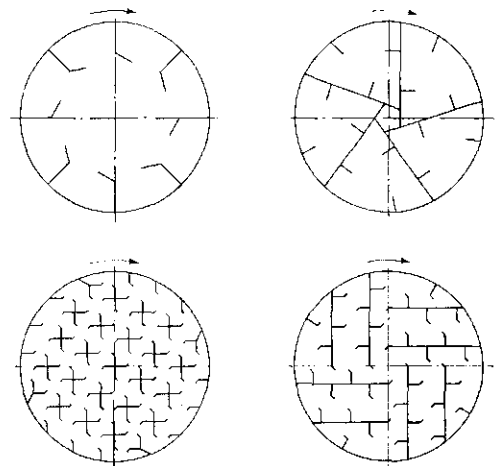
- a. drogers, waarbij ernaar wordt gestreefd alle korrels precies dezelfde behandeling te laten ondergaan (gelijkstroom - tegenstroom);
- b. drogers, waarbij de graankorrels niet onder dezelfde omstandigheden worden gedroogd (dwarsstroom).

In afb. 3 zijn genoemde principes schematisch aangegeven. Voor wat betreft de sub a genoemde drogers vormen trommeldrogers de voornaamste categorie. 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 afb. 4a is schematisch een gelijkstroom-trommeldroger geschetst, in afb. 4b zijn enkele vormen van binnenwerken getekend.

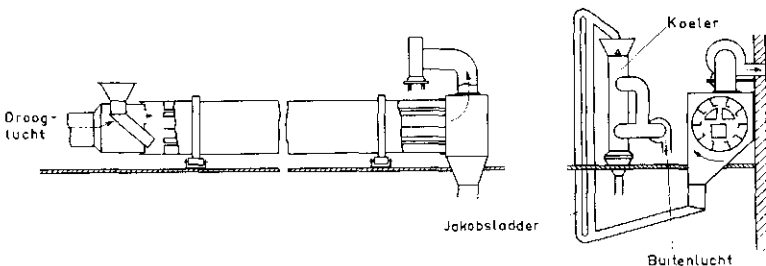
Men kan het drogen van graan in een trommel in principe beschouwen als het drogen in een laag, met dien verstande, dat aan de „droge zijde” van de laag het materiaal steeds wordt weggenomen, terwijl aan de „natte zijde” van de laag steeds vers materiaal wordt toegevoegd.

Gelijkstroom wordt bij het drogen in trommels het meest aangetroffen. Tegenstroom is wat meer warmte-economisch, doch heeft het nadeel, dat

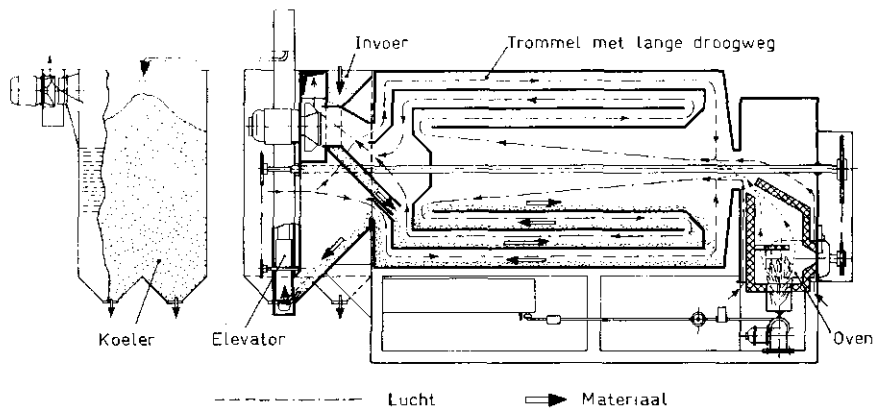
Afb. 4b Verschillende typen binnenwerk (trommeldrogers)



Afb. 4a Eenvoudige trommeldroger, gelijkstroom (Börgeling)



Afb. 5 Trommeldroger met verlengde droogweg (Emceka)



het droogste materiaal met de warmste lucht in aanraking komt. Bij gelijkstroom komt het natste materiaal met de heetste lucht in aanraking, doch bij voldoende doorstroming van materiaal kan de 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 vochtgehaltegradiënt. Aangezien het materiaal zich in de richting van de lucht verplaatst (met de luchtrichting mee of tegen de luchtrichting in) krijgen de korrels alle dezelfde behandeling.

Doordat men bij trommeldrogers heeft gezorgd voor de 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 is een aparte koelinstallatie nodig; 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).

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 dan bovendien nog vrij veel vocht verdampt (soms tot 30%). In de trommel vindt in dergelijke gevallen slechts een deel van de droging plaats, ze dienen in zekere zin als vóórverwarmers en vóórdrogers.

Trommeldrogers lenen zich in principe meer 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.

In afb. 5 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.

Behalve trommeldrogers zijn ook zg. fluidizatie-drogers onder categorie a te rangschikken. Deze drogers verkeren nog min of meer in het experimentele stadium.

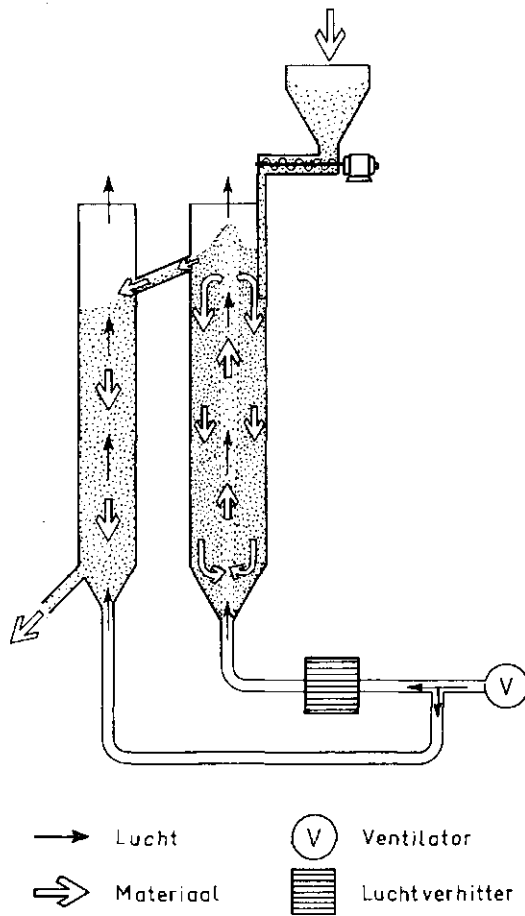
Het goed in contact brengen van een gas en een fijn verdeeld materiaal, zodanig dat alle partikels eenzelfde behandeling ondergaan, is een techniek, die in de industrie toepassing vindt. Graankorrels zijn voor dit doel tamelijk grof, zodat het niet eenvoudig is om een gefluidiseerd bed te verkrijgen, 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.

Mathur en Gishler (13, 14) hebben op kleine schaal geëxperimenteerd met een zg. „spouted bed”, waarin weliswaar geen fluidizatie in de zin van het woord optrad, maar waarbij een intensieve circulatie van het graan wordt bereikt (in de kern van het vat omhoog, langs de randen naar beneden). In afb. 6 is het principe geschetst. De beste resultaten werden verkregen met een bed, dat 1,20 m diep was.

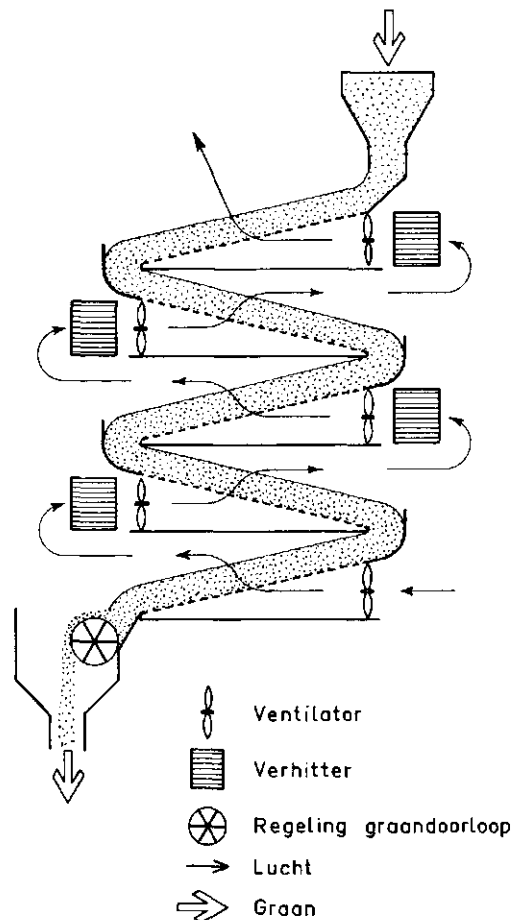
De hoogste luchttemperatuur, die werd toegepast, was 175°C. Hierbij werd 2/3 van het vocht in de droger verdampt en 1/3 in de erachter te schakelen koeler. De verblijftijd in de droger was 12 min. Gedroogd werd van 25,3 tot 21,6% (in de droger); na de koeling was het vochtgehalte 19,7%. De bakeigenschappen hadden niet geleden. Een industriële uitvoering van een dergelijke droger bestaat nog niet.

Hoffmann (7) geeft enkele resultaten van het drogen in een min of meer gefluidiseerd bed. Hij wijst op minder gunstige resultaten; de verblijftijd van de korrels zou te ongelijk zijn.

Een Franse droger (afb. 7) bestaat uit elementen, elk voorzien van een schuine geperforeerde bodem en een ventilator met verhitter. Het graan wordt door de sterke luchtstroom langs de hellende platen naar beneden gevoerd. De lucht strijkt door een aantal lagen en wordt na elke laag herverwarmd. Het is de vraag of hier van een fluidizatie



Afb. 6 Principe „Spouted bed” droger
 (Mathur en Gishler)



Afb. 7 Principe gemodificeerde fluidizatie droger
 (V.I.M.)

kan worden gesproken. Vast staat evenwel, dat er bepaalde trekken van dit systeem zijn te onderkennen.

Behalve trommeldrogers en fluidizatedrogers is er nog een type droger tot groep a te rekenen, nl. drogers waarbij het graan in een laag wordt gedroogd volgens afb. 3 (tegenstroom). Deze drogers verkeren nog in het experimentele stadium (4, 6).

De sub b genoemde drogers zijn banddrogers en verticale drogers. Verticale drogers, waarbij het graan 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.

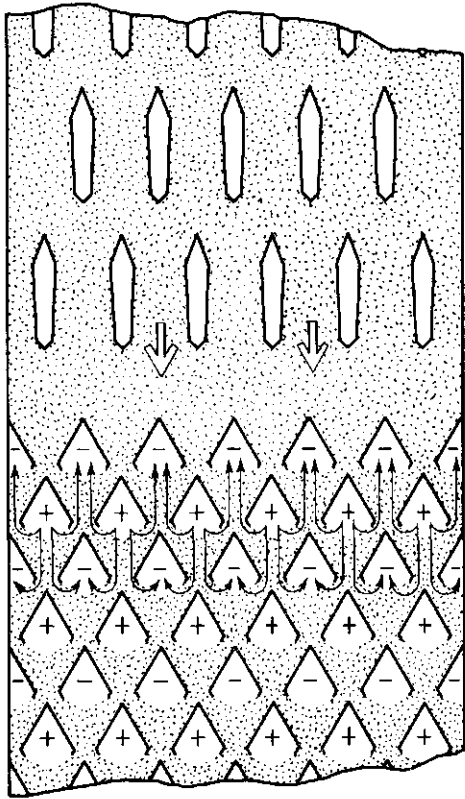
In bepaalde gevallen wordt een deel van de benodigde warmte, vooral die, nodig om het graan te verwarmen, door contact overgebracht. Dit gebeurt bv. in verticale drogers waarin warmwater-elementen zijn ingebouwd, die warmte door contact op de korrels overbrengen. De korrels worden zodoende verwarmd zonder dat ze drogen; daardoor wordt bewerkstelligd, dat het vochttransport in de korrel zelf wordt vergemakkelijkt. Men kan

bv. een contactverwarmingszone afwisselen met een zone waarin lucht door het graan wordt geblazen (afb. 8).

Drogers met stoom- of warmwater-elementen voor contactverwarming zijn uiteraard nogal duur. Ze zijn meer geschikt voor grote bedrijven.

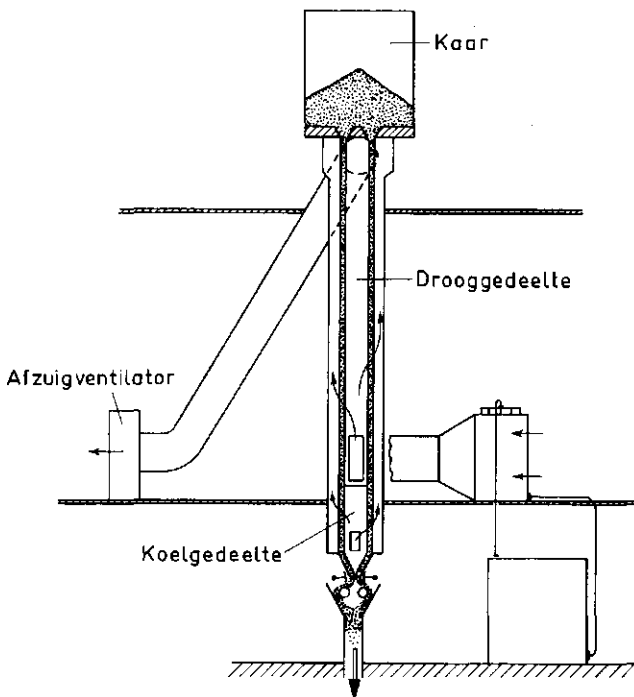
De allereenvoudigste drogers van de sub b genoemde categorie hebben verticale graanschichten tussen geperforeerde platen. Evenals bij andere verticale drogers wordt de snelheid van graandoorstroming geregeld bij de uitlaat van de droger onder aan de koelzone. In de afbeeldingen 9, 10, 11 en 12 ziet men voorbeelden van dergelijke eenvoudige drogers. Men heeft hierbij een eenzijdige luchtrichting 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 zg. cascadedrogers. In afb. 13 ziet men het voorbeeld van een dergelijke droger. In de koelzone is de laag dunner dan in de droogzone. Ook bij deze droger is de luchtrichting éénzijdig. Het mengen in de zig-zag lagen kan worden verwaarloosd. Bij proeven genomen door

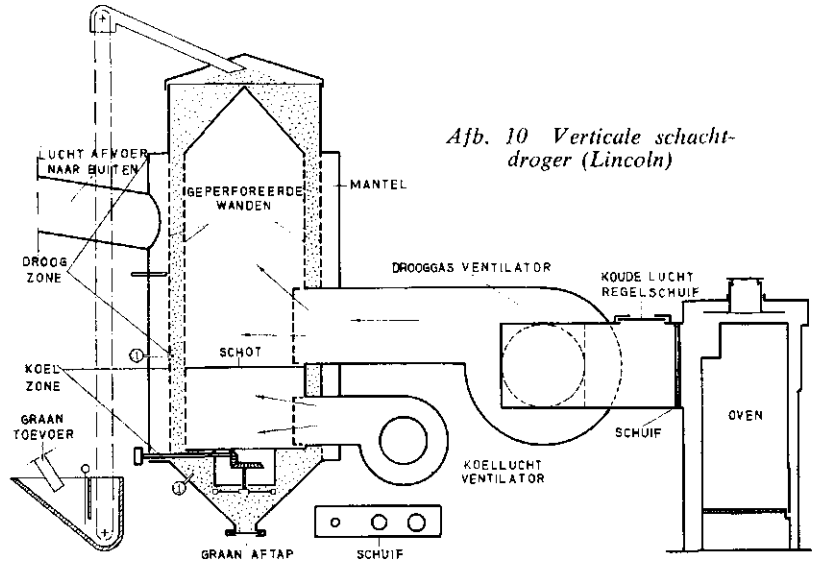


→ Lucht ⇨ Graan

Afb. 8 Verwarmingselementen in verticale droger (Miag, ook Kvarnmaskiner)



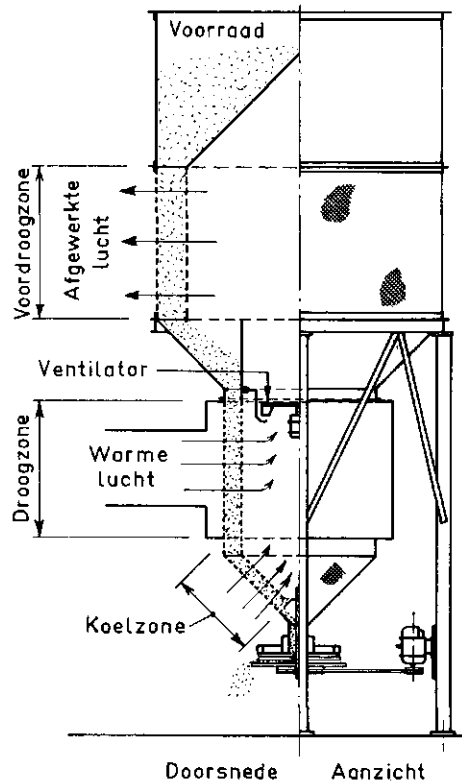
Afb. 9 Verticale schachtdroger (Börgeling)



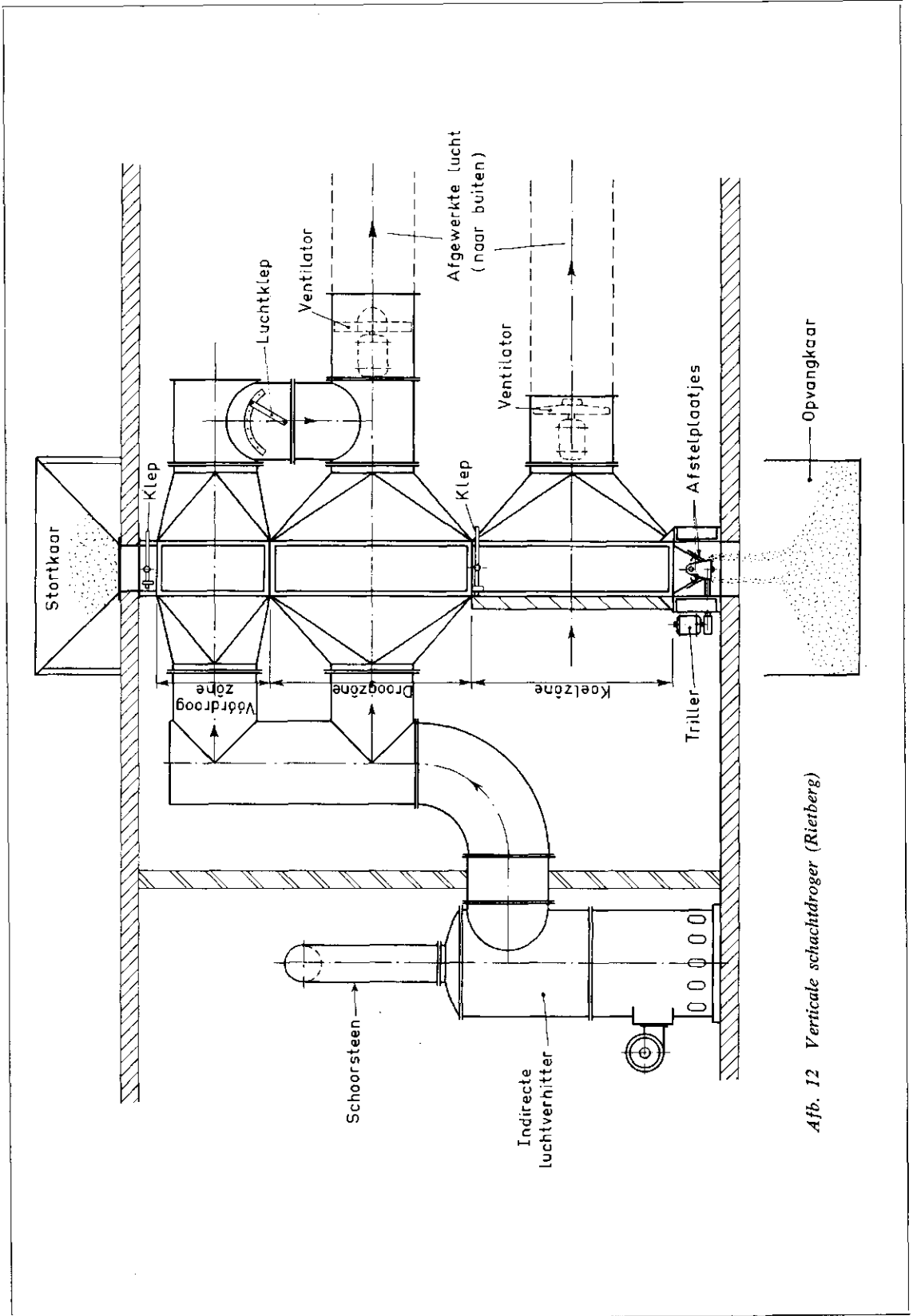
Afb. 10 Verticale schachtdroger (Lincoln)

Sprenger (19) is gebleken, dat het aan de gelijkmatigheid van de stroming nogal hapert en dat vooral de geperforeerde platen aanleiding geven tot wrijving. Ook afb. 14 betreft een cascade droger.

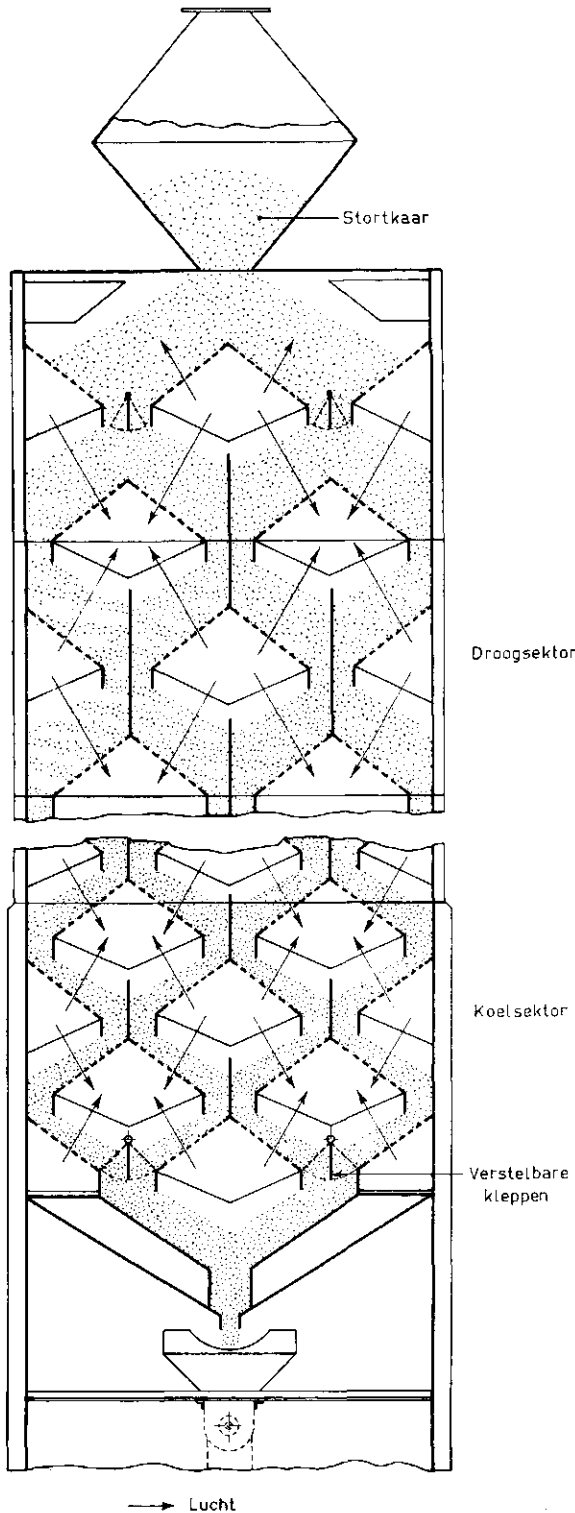
Een andere categorie verticale drogers is voorzien van dakjes, die zich in de drogeruimte bevinden. Daardoor vormt het graan bij het zakken



Afb. 11 Verticale schachtdroger (Tornado)



Afb. 12 Verticale schachtdroger (Rietberg)

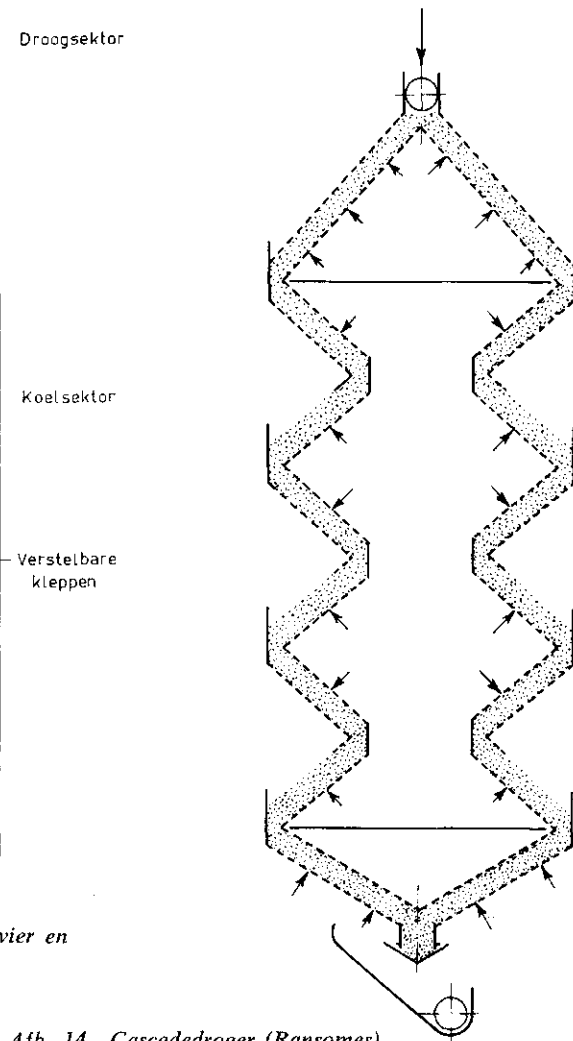


Afb. 13 Cascadedroger (Van Opstal, Plevier en Hakkens)

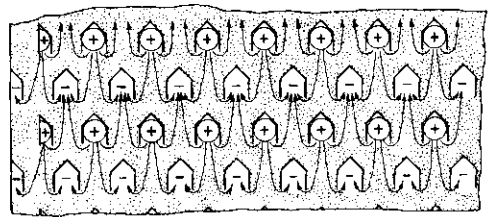
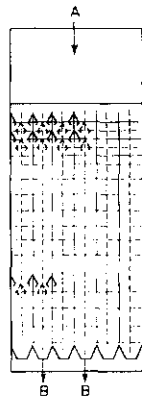
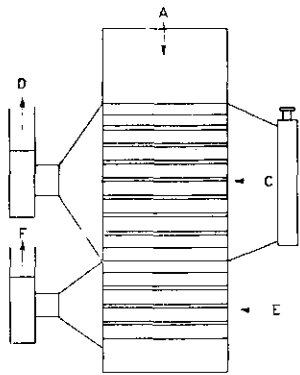
aparte stromen, die elkaar telkens raken en dan weer zijdelings (zig-zag) afbuigen. De dakjes vormen kanalen voor toe- en afvoer van de droog-lucht.

In de afbeeldingen 8, 15, 16 en 17 ziet men voorbeelden van verschillende vormen van dergelijke dakjes getekend. Een voordeel van deze drogers is gelegen in het feit, dat ze gemakkelijk geheel kunnen leeglopen en dat er geen geperforeerde platen aanwezig zijn, die kunnen verstopen. De luchtdoorstroming door de zig-zaglagen 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.

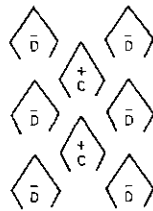
Een ander nadeel, zowel bij cascadedrogers als bij drogers met dakjes, kan zijn, dat men bij de constructie niet genoeg aandacht heeft geschonken aan de luchtverdeling over de cascades of de dakjes. Bij sommige drogers zijn de luchtaansluitingen zodanig, dat een goede luchtverdeling stromings-



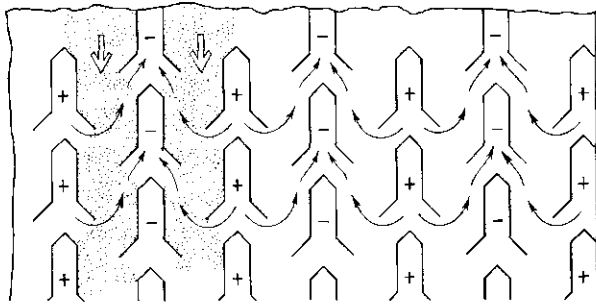
Afb. 14 Cascadedroger (Ransomes)



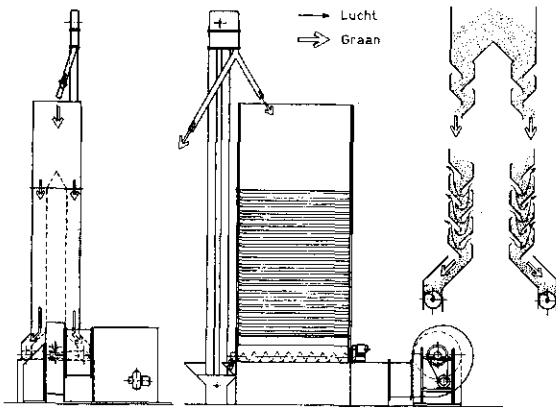
Afb. 17 Dakjes in droger (Hess-Kvarnmaskiner)



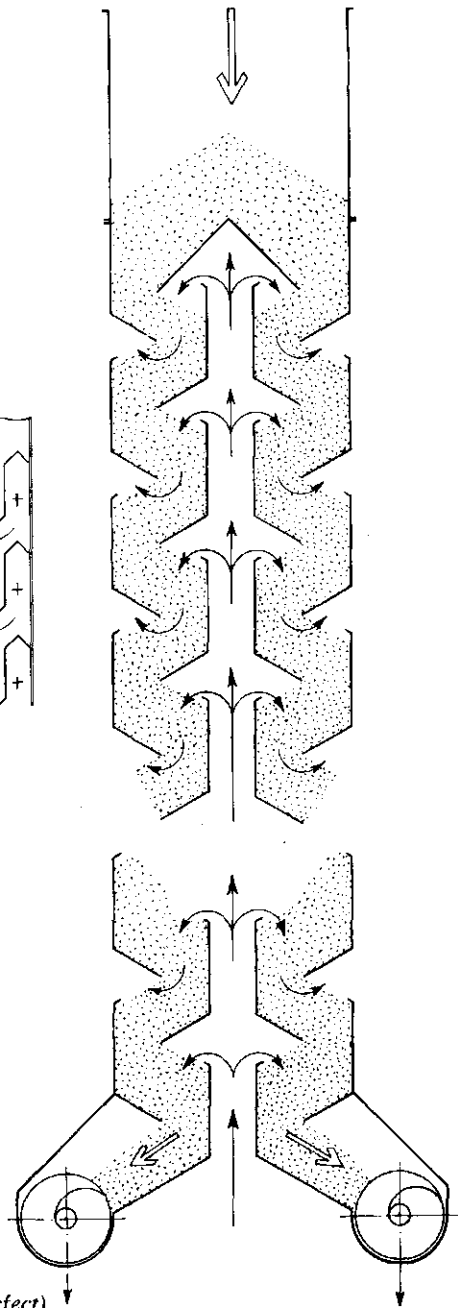
Afb. 15 Droger met dakjes (Sluis-Morris)



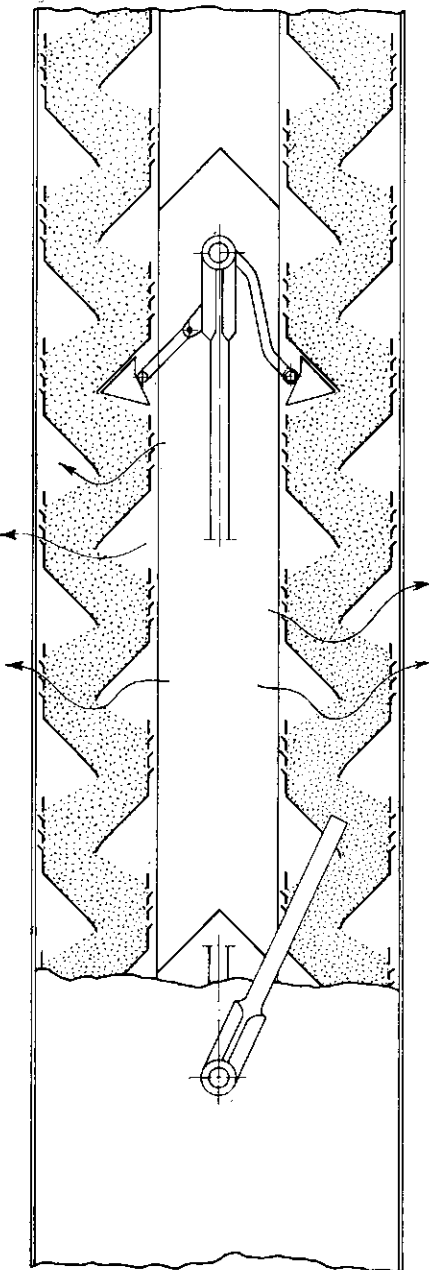
Afb. 16 Dakjes in droger (Randolph)



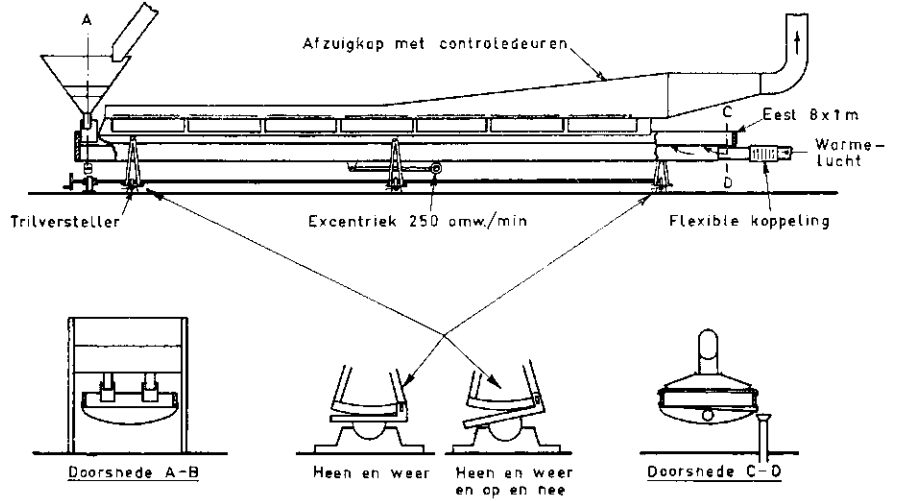
Afb. 18 Zig-zag graankolom (American Drying System)



Afb. 19 Zig-zag graankolom (Perfect)



Afb. 20 Zig-zag graankolom (Hess)



Afb. 22 Schudeestdroger (Kvarnmaskiner)

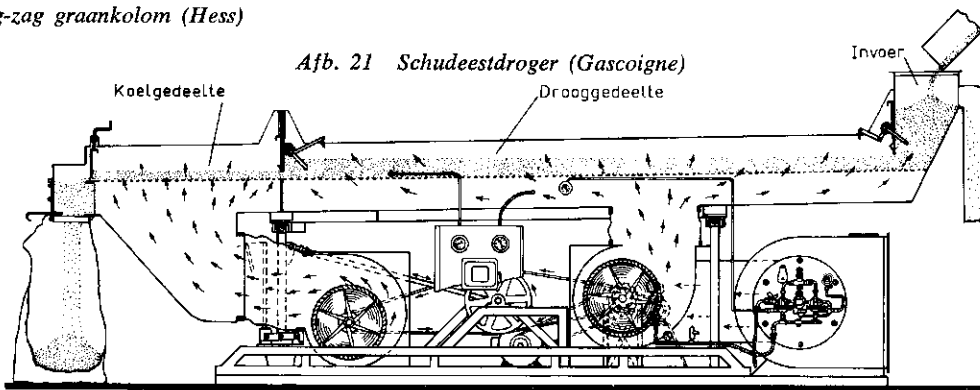
technisch gezien onmogelijk is. De hier geschetste moeilijkheden houden verband met het streven naar kleine afmetingen van de droger en een goedkope constructie.

Weer een ander type verticale droger werkt met zig-zag graanstromen, ook zonder, of met alleen verticale geperforeerde platen, doch ook zonder de dakjes. In de afbeeldingen 18, 19 en 20 zijn schematisch enkele voorbeelden weergegeven. Ook hierbij heeft men eenzijdige luchtrichting en vrijwel geen menging in de graanstromen.

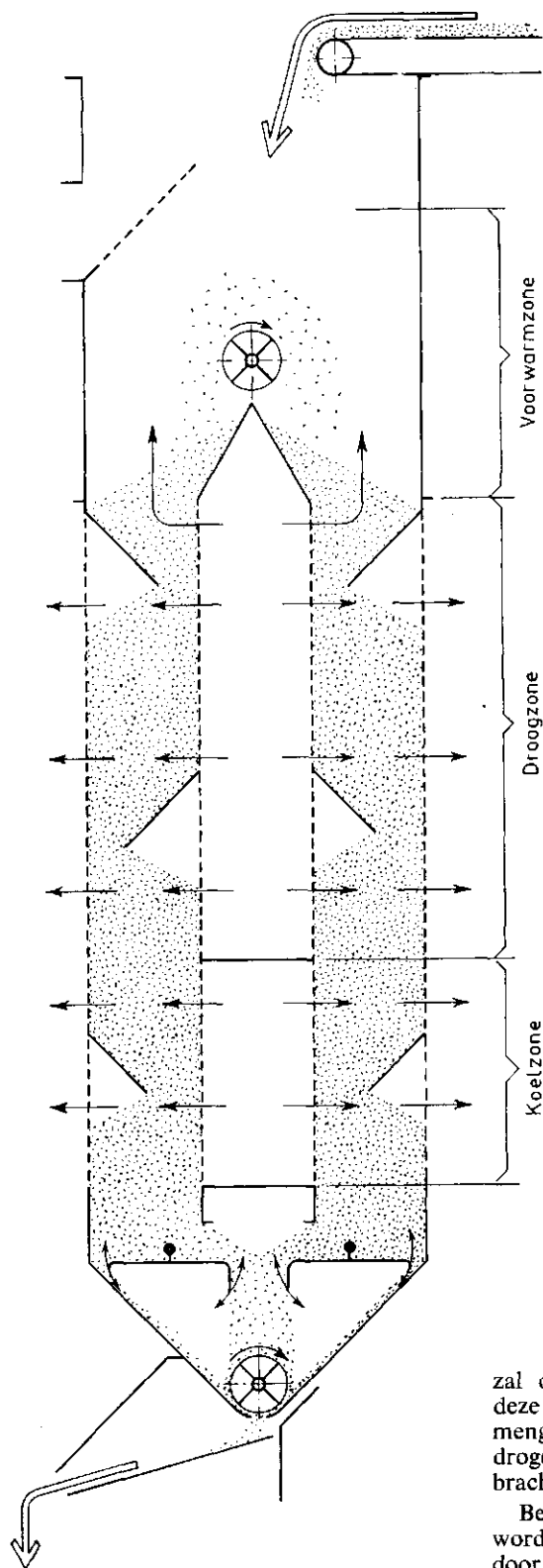
Bij banddrogers of schudeestdrogers heeft men te maken met horizontale graanlagen. In principe is de droogwijze ook hier hetzelfde. Van menging in het graan is nagenoeg geen sprake en de luchtrichting is eenzijdig. In de afbeeldingen 21 en 22 zijn schematisch enkele voorbeelden gegeven.

Enkele bezwaren, verbonden aan het in dwarsstroom drogen heeft men bij bepaalde typen getracht te verzachten door pogingen om de luchtrichting periodiek om te keren of om toch enige menging in de graankolom te bewerkstelligen.

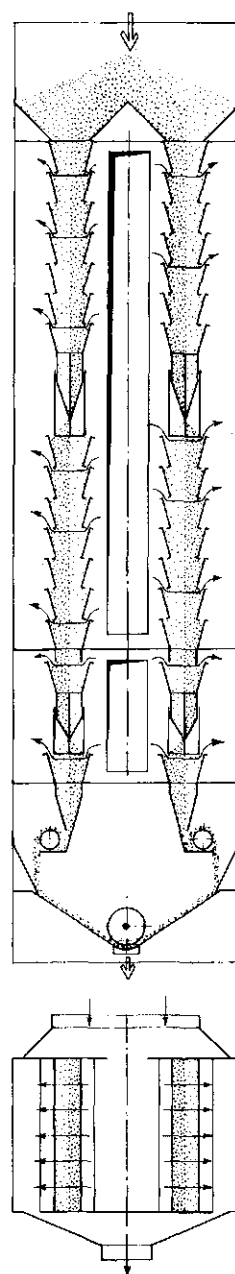
In afb. 23 ziet men schematisch een droger afgebeeld met verticale schachten. Er zijn schuine platen aangebracht, waarvan wordt verwacht dat daardoor een periodieke menging van het graan



Afb. 21 Schudeestdroger (Gascoigne)



Afb. 23 Schachtdroger (Mathur en Platt)

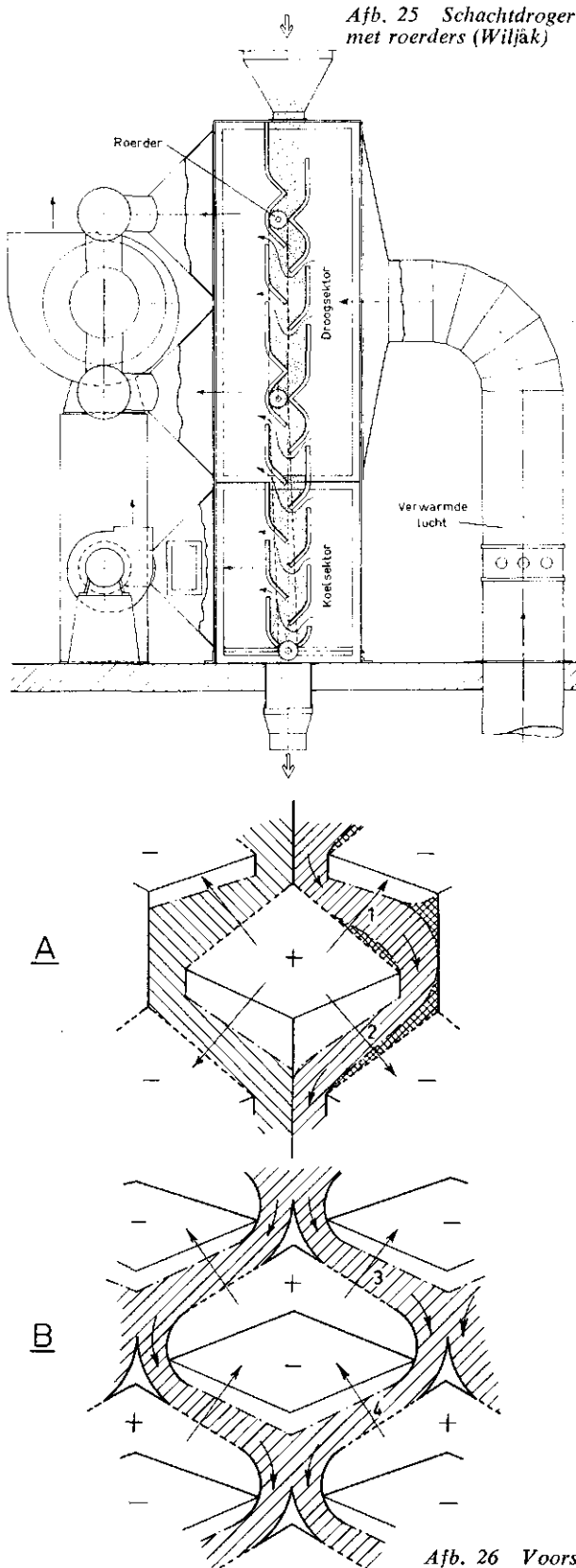


Afb. 24 Schachtdroger met keerschotten (Strecher en Schradel)

zal ontstaan. Bij de doorstroomsnelheden, zoals deze in drogers voorkomen, zal er van een menging evenwel niet veel zijn te bespeuren. Bij de droger van afb. 24 heeft men inrichtingen aangebracht, die de graanlaag als het ware omkeren.

Beter is een uitvoering als van afb. 25. Hierbij wordt de zakkende graanstroom op enkele plaatsen door een roterende inrichting doorengemengd.

Sprenger (19) heeft een verbetering voorgesteld voor het type cascadedroger. Afb. 26A toont een gebruikelijke cascade met de stroom van het graan.

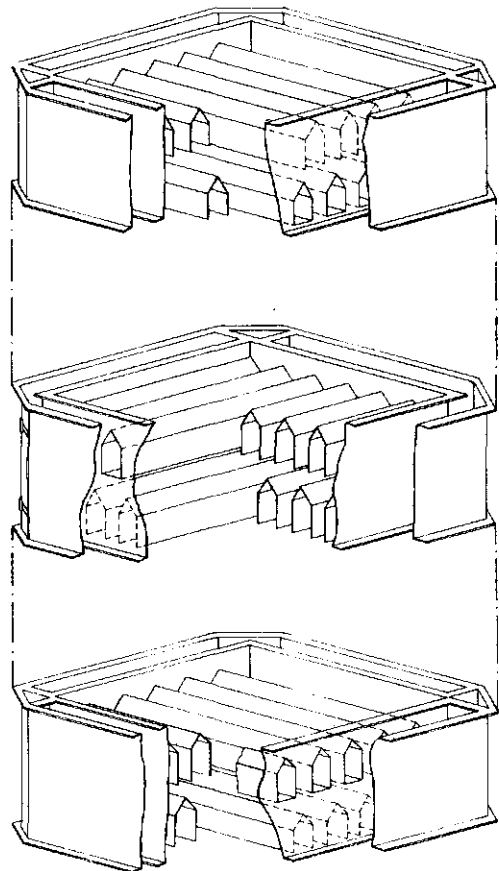


Afb. 26 Voorstel tot verbetering van een cascadedroger (Sprenger)

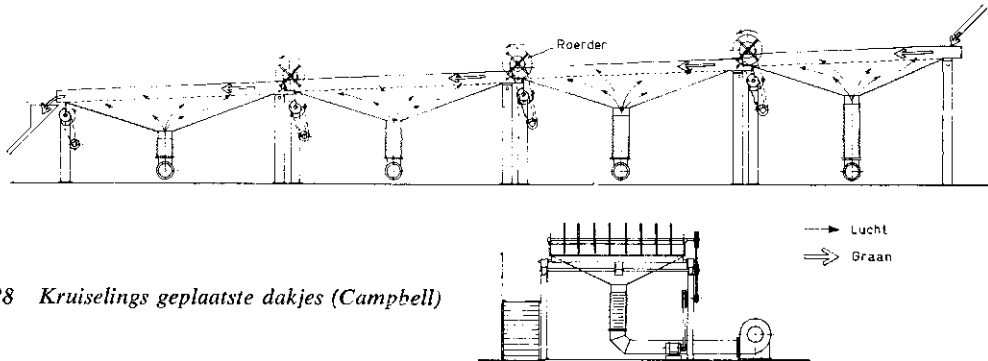
De gestippeld aangeduide gedeelten van de graanlaag zijn „dode zones”. Bij 1 gaat de lucht eerst door de zeefplaat en dan door het materiaal, bij 2 is dit juist omgekeerd. In het laatste geval heeft men last van verstopen van de zeefplaat met stof e.d. Verder is het een bezwaar, dat steeds dezelfde zijde van de naar beneden stromende graanlaag het eerst met de hete lucht in contact komt. (Hetzelfde graan, dat bij 1 onder ligt, ligt bij 2 boven.)

Afb. 26B geeft schematisch de gewijzigde constructie. De graanstromen zijn meer gestroomlijnd (geen dode zones). De lucht treedt zowel bij 3 als bij 4 eerst door de zeefplaat, dan in het materiaal. Daardoor is telkens een andere zijde van de graanlaag het eerst in contact met de warme lucht (wat bij 3 onder ligt, ligt bij 4 boven). Vermoedelijk i.v.m. het feit, dat deze verbetering neerkomt op een ingewikkelede en duurdere constructie, is er nog geen praktijkdroger geconstrueerd, waarin deze verbeteringen zijn verwerkt.

Sommige fabrikanten bouwen drogers, waarin de dakjes groepsgewijs kruiselings zijn ingebouwd. Afb. 27 toont het principe van een dergelijke dro-



Afb. 27 Kruiselings geplaatste dakjes (Aldersley)

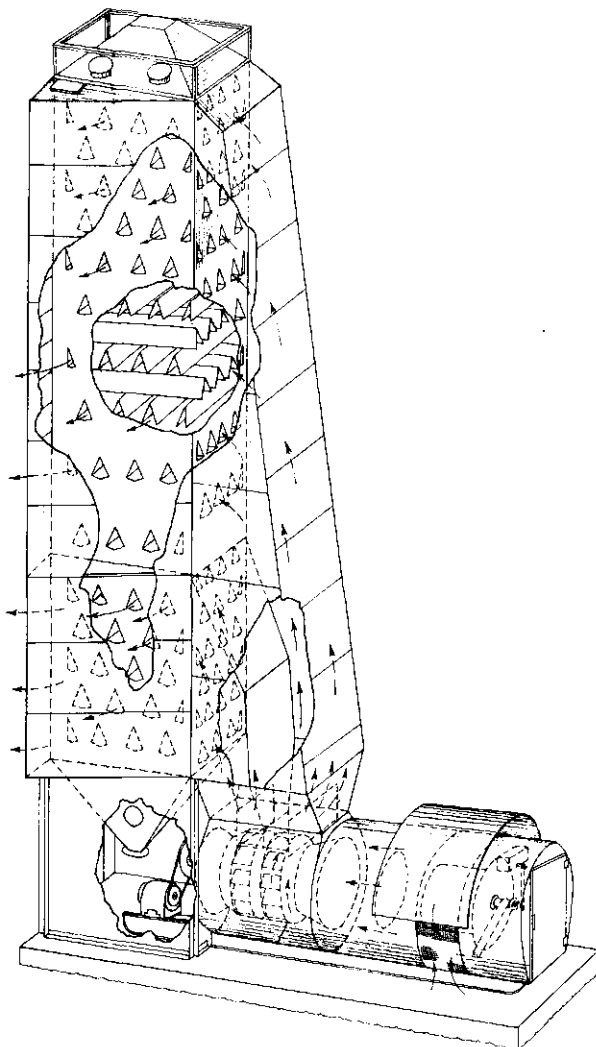


Afb. 28 Kruislings geplaatste dakjes (Campbell)

ger. Hiermee bereikt men, dat de graanstromen periodiek verdeeld en anders gegroepeerd worden. Een zekere verbetering is hier ongetwijfeld in gelegen. Drogers als van afb. 28 zijn in de Verenigde

Staten in gebruik; ze staan soms in de buitenlucht opgesteld.

Afb. 29 geeft een beeld van een banddroger, waarbij het droogproces zich in étappes voltrekt. Na elke étappe wordt de laag dooreen geroerd en vindt een hergroepering van de korrels plaats. Men heeft de mogelijkheid om in de verschillende droogzones verschillende temperaturen toe te passen. In de laatste zone wordt gekoeld. Dergelijke banddrogers nemen, als oppervlakte gerekend, veel plaatsruimte in beslag.



Afb. 29 Banddroger met zonedroging en menging van het graan (Butterley Goodall)

Discontinuu werkende drogers (m.b.v. een luchtstroom)

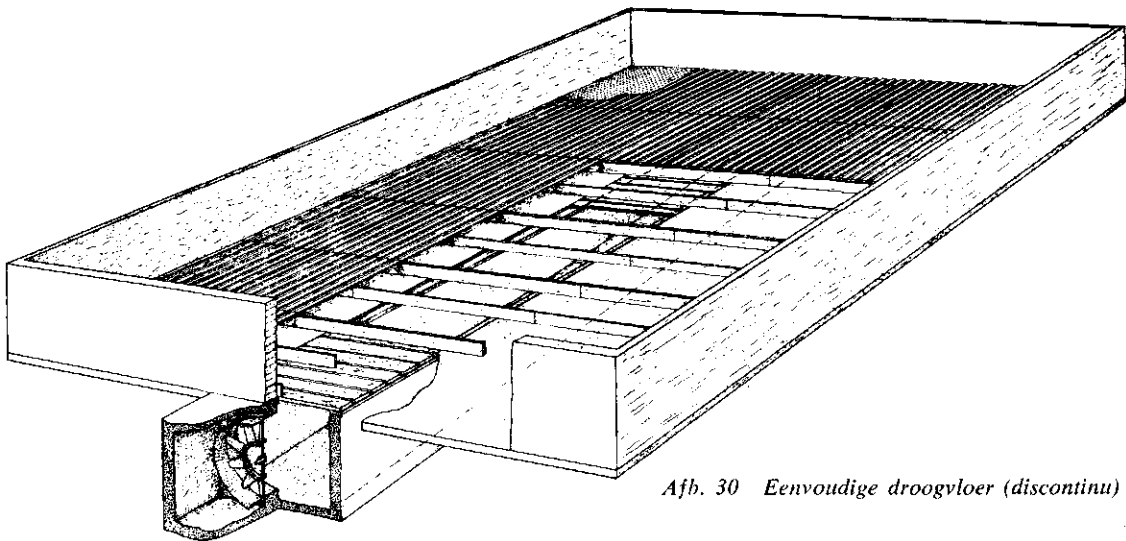
Bij discontinuu werkende drogers of drooginrichtingen wordt ladingsgewijs gedroogd. De lading kan los gestort zijn; het kan ook voorkomen dat het graan in de zak wordt gedroogd. Dergelijke discontinuu werkende drogers zijn geschikt voor niet te grote bedrijven of voor bedrijven, waar veel uiteenlopende partijen moeten worden gedroogd, bv. met verschillend vochtgehalte of die om een of andere reden niet mogen worden gemengd (bv. zaaigraan). Discontinuu drogers lenen zich voor het drogen op landbouwbedrijven. De Nederlandse landbouwbedrijven zijn in het algemeen te klein voor continu drogen.

In de regel komt de droging neer op het drogen in dwarsstroom met meer of minder verwarmde lucht. Het kan voorkomen, dat de laag zo dik is, dat het praktisch en economisch mogelijk is het graan aldus opgeslagen te laten liggen. (Dit kan alleen als het te drogen graan niet al te vochtig is als men drooglucht gebruikt, die slechts enkele graden Celsius of in bepaalde gevallen niet is opgewarmd.)

In tabel 4 zijn maximale laagdikten en minimale luchthoeveelheden opgegeven, opgesteld op grond van ervaring die werd opgedaan bij onderzoek en praktijkproeven van het I.B.V.L. te Wageningen.

Men kan de waarden van tabel 4 als van toepassing beschouwen op het drogen van lagen graan op droogvloeren, zoals dat op landbouwbedrijven, in aardappelbewaarplaatsen of bij kleine coöperaties en firma's mogelijk is en ook wordt toegepast (9). In afb. 30 is een dergelijke droogvloer getekend.

Het gemakkelijkst wordt gewerkt met een



Afb. 30 Eenvoudige droogvloer (discontinuu)

ondergronds luchtkanaal en geperforeerde platen op een roostervloer. Men kan ook een eenvoudige drogerij inrichten voor het drogen in zakken. Deze liggen dan op perrons op gaten van een speciale afmeting en vorm. Onderzoek door het I.B.V.L. te Wageningen heeft uitgewezen, dat men door toepassing van dergelijke gaten een gelijkmatiger droging verkrijgt (ten koste van wat meer druk, dus van wat meer krachtverbruik). In afb. 31 is een dergelijke eenvoudige drogerij geschetst.

In de praktijk komt het wel eens voor, dat óf

de laagdikte te groot óf de graad van opwarming te hoog óf de luchthoeveelheid te klein is. Men krijgt dan een zeer ongelijkmatige droging. De gelijkmatigheid van droging wordt beter, naarmate de luchtsnelheid groter en de droogkracht van de lucht geringer is. Droogtechnisch gezien, droogt men in discontinu werkende drogers altijd in zeer dikke lagen.

Het grootste bezwaar bij het drogen op droogvloeren wordt gevormd door het feit, dat ze arbeidsintensief zijn en dat ze nogal wat plaats (oppervlak) innemen. Om aan het eerstgenoemde bezwaar tegemoet te komen, zijn er drogers ontwikkeld als in afb. 32 is weergegeven (omkippbare eestbak). Aan beide bezwaren wordt min of meer tegemoet gekomen door óf de graanlagen recht op te plaatsen óf verschillende lagen op elkaar te leggen. In afb. 33 zijn deze oplossingen in principe aangegeven, naast het principe van het drogen op een vloer. De afstand *a*, die de lucht door het graan moet afleggen, kan, luchttechnisch gezien, als „laagdikte” worden aangemerkt.

Drooginrichtingen, gebaseerd op afb. 33C (rechttopstaande graanlaag), zijn veelal cilindrisch uitgevoerd en bedoeld voor landbouwbedrijven. De geperforeerde binnenpijp is soms zeer nauw, de droging duurt vrij lang en de droger is tegelijk opslagsilo. Als ventilator dient vaak een graanblazer, die tevens voor het transport kan zorgen.

Er zijn ook rechttopstaande graanlagen, die een rechthoekige vorm hebben, bv. 20 cm dik, die worden toegepast in drogers, systeem *Mansholt*. Door de laag niet dikker te nemen dan 20 cm, is een betrekkelijk eenvoudige houten en gazen constructie mogelijk.

Een wat ingewikkelder systeem is geschetst in afb. 34.

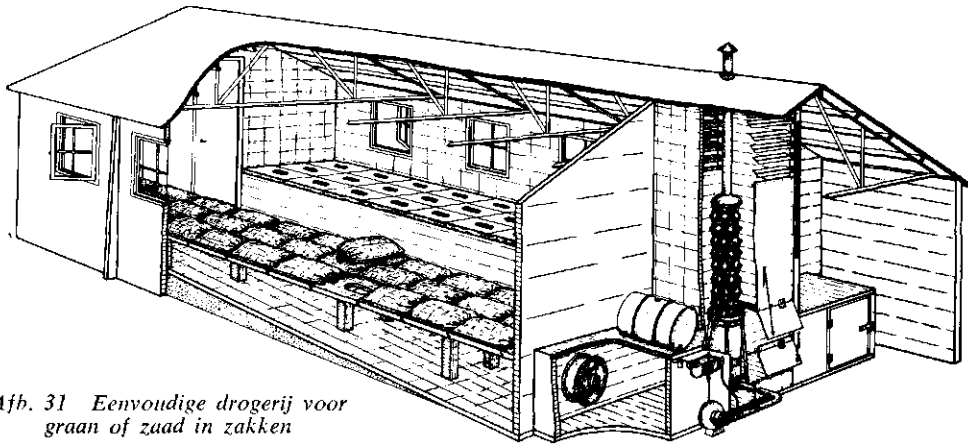
Gebaseerd op het principe van afb. 33D zijn discontinu werkende drooginrichtingen in gebruik, bestaande uit silo's van rechthoekige doorsnede en ongeveer 4—6 meter hoog, waarin een stelsel van

TABEL 4

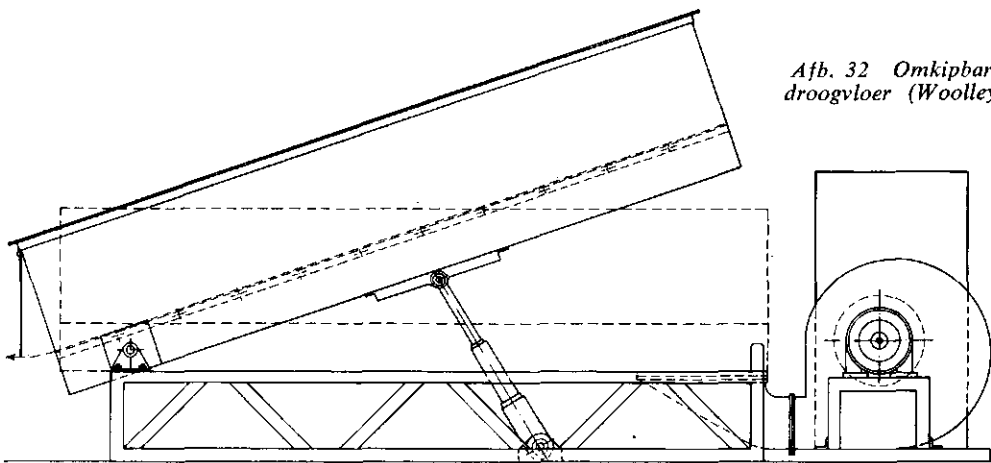
Maximale laagdikte en minimale luchthoeveelheid bij het discontinu drogen van graan

Opwarming lucht in °C	Vochtgehalte graan %						
	18	20	22	24	26	28	
2,5	2,70	2,20	1,50	0,90	0,60	0,30	A
	35	80	170	380	650	1350	B
5	2,30	1,80	1,25	0,75	0,45	0,25	A
	55	110	210	460	900	1600	B
10	1,50	1,20	0,85	0,50	0,30	0,20	A
	110	180	340	720	1200	2000	B
15	1,10	0,85	0,60	0,35	0,20		A
	190	280	500	1000	2000		B
20	0,60	0,50	0,35	0,20			A
	380	550	1000	1900			B
25	0,45	0,35	0,25				A
	600	1000	1600				B

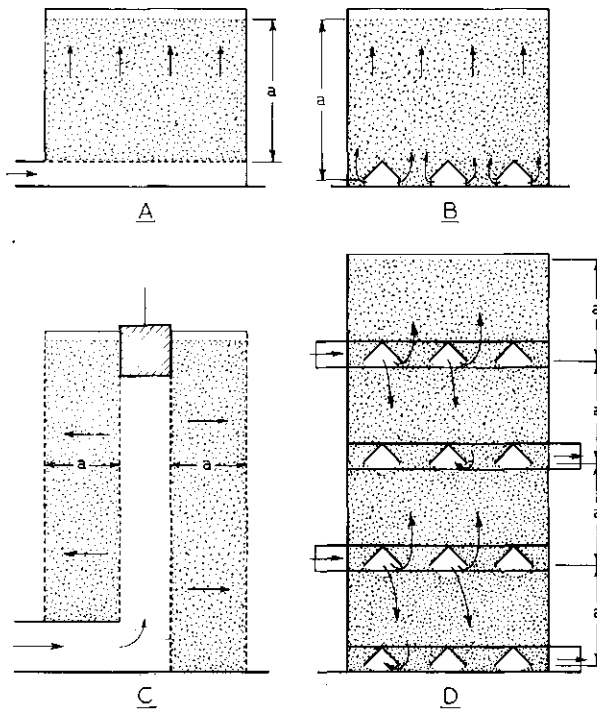
A = max. laagdikte in m.
B = min. luchthoeveelheid m³/m³h.



Afb. 31 Eenvoudige drogerij voor graan of zaad in zakken



Afb. 32 Omkipbare droogvloer (Woolley)



Afb. 33 Verschillende principes van discontinue graandrogers

dakjes is ingebouwd voor toe- en afvoer van de lucht. In principe zijn ze eender gebouwd als de continu werkende drogers met dakjes; de „laagdikte” is evenwel vele malen groter. Een bepaald fabrikaat staat bekend onder de naam „Mitchell”, doch er zijn ook andere fabrikaten, die hetzelfde principe toepassen. Ze worden wel als droogsilo's betiteld. In Zweden zijn ze het eerst toegepast (3). Een droger, gebaseerd op het principe van afb. 33D, is geschetst in afb. 35. Ook hierbij ziet men de dakjes, die de kanalen vormen voor toe- en afvoer van de lucht.

Een speciale categorie, als regel discontinu werkende, drogers wordt gevormd door droog inrichtingen, waarbij de lucht vooraf zelf wordt gedroogd. Dit kan gebeuren door middel van droogmiddelen (bv. silicagel) of door het vocht uit de lucht te koelen (afkoeling tot beneden het dauwpunt) en de lucht vervolgens weer in meer of mindere mate te herverwarmen. In afb. 36 is een dergelijke droger schematisch afgebeeld. Men kan een cilindrische droogsilo met dakjes onderscheiden en een luchtdroger (silicagel). De silicagel ligt in compartimenten, die beurtelings dienst doen om de lucht te drogen. Als ze daarvoor niet in gebruik zijn, wordt het vocht uit de silicagel gedreven door hete lucht. De aldus geregenereerde gel is dan later weer geschikt voor het onttrekken van vocht uit de drooglucht. Dergelijke drogers zijn, althans voor graan, in Schotland in gebruik.

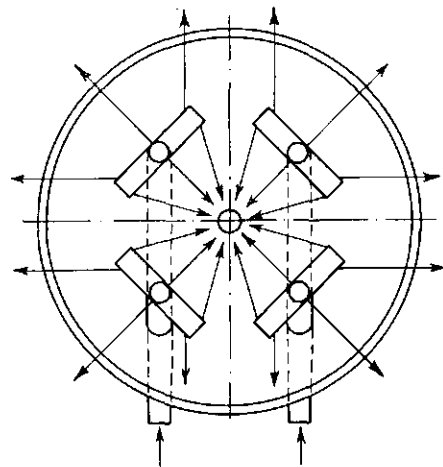
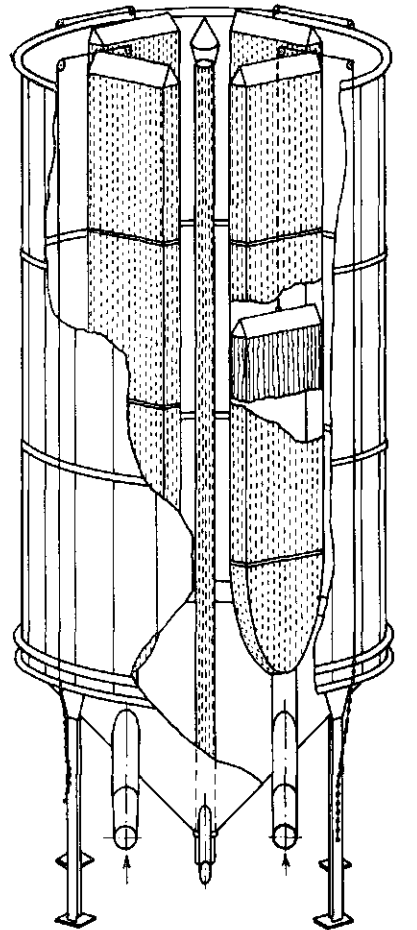
Het verloop van de korreltemperatuur bij het drogen van graan volgens gegevens uit de literatuur

Wanneer men graan in een laag droogt van bv. 10—14 cm dik, zoals dit in toren- of banddrogers gebeurt of in nog veel dikkere lagen zoals bij langzame drogingen in aardappelbewaarplassen, op de boerderij op droogvloeren of in geventileerde silo's, heeft men te maken met het feit, dat de temperatuur en de droogkracht van de lucht bij het doorstrijken van de laag verandert door vocht-opneming en afkoeling. Het drogend vermogen (zowel wat betreft de warmte-afgifte als de opnemingscapaciteit voor vocht) verandert. Elk deel van de laag wordt daarbij onder andere omstandigheden gedroogd. In de praktijk ligt de kwestie van de korreltemperatuur van het graan dus nogal gecompliceerd.

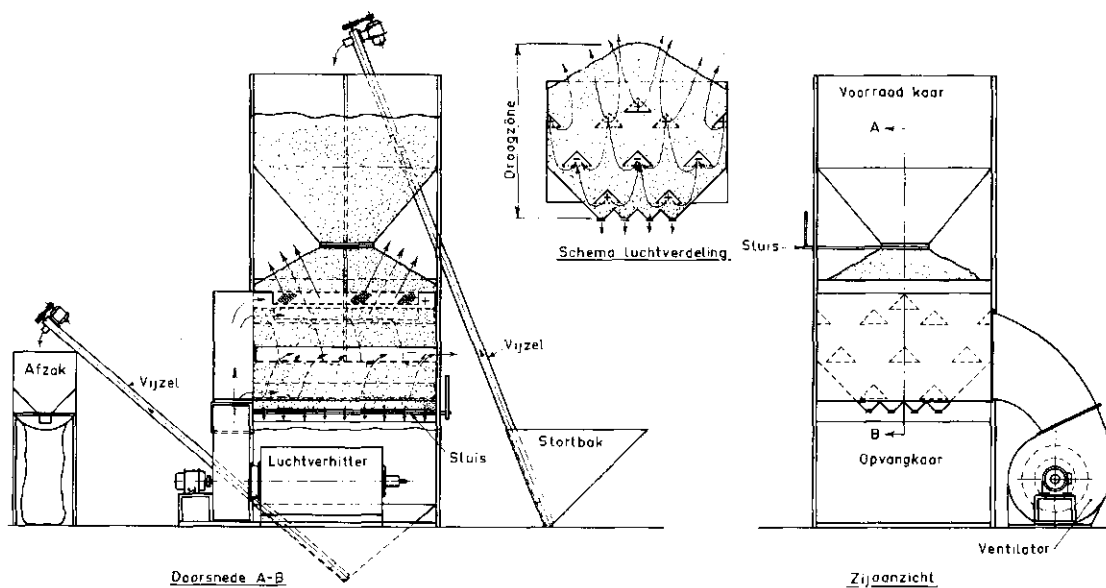
In de literatuur vindt men hier en daar gegevens over het verloop van de korreltemperatuur bij het drogen van graan. In afb. 37 zijn enkele lijnen getekend, die op grond van gegevens uit de literatuur kunnen worden geconstrueerd en die betrekking hebben op het drogen met lucht die tot 70 à 80°C is verwarmd.

Men ziet 5 verschillende lijnen getekend.

Lijn A is betrokken uit een onderzoek van Simmonds, Ward en McEwen (22), waarbij werd gedroogd in een zeer dunne laag met lucht van 75°C. Lijn B betreft een onderzoek van Lindberg en Sörensen (12), luchttemperatuur ca. 75°C; er werd gedroogd in een trommel, waarbij het materiaal dus voortdurend werd gemengd.



Afb. 34 Verticale discontinu werkende graandroger (Graepel)



Afb. 35 Discontinuu werkende graandroger (Blanche-Bettison)

De lijnen C1 en C2 zijn betrokken uit een onderzoek van Mounfield en medewerkers (16), luchttemperatuur resp. 71°C en 82°C. Gedroogd werd in een laag ter dikte van 15 cm, waarbij het graan door een roerder voortdurend werd gemengd.

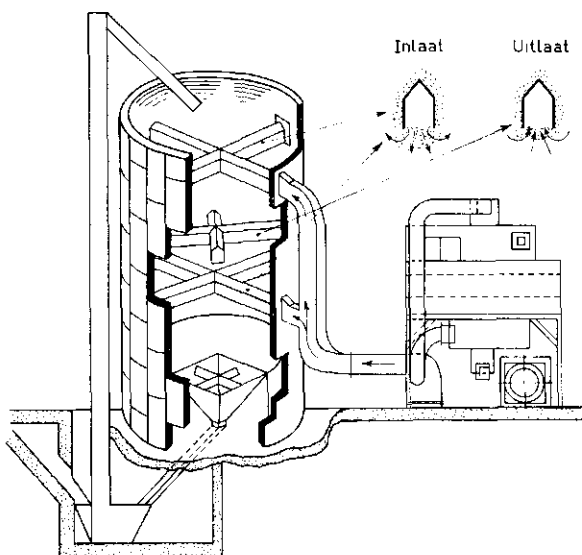
Lijn D tenslotte is ongeveer te trekken naar aanleiding van een onderzoek van Hoffmann (7). Hierbij werd het graan in een bed gedroogd met zoveel lucht van 70°C temperatuur, dat er een zg. fluidizatie optrad, het graan mengde zich voortdurend.

De getekende lijnen hebben hetzij betrekking op graan in een zeer dunne laag, hetzij op graan dat voortdurend werd gemengd.

Hege (4) ging bij proefdrogingen in een tegenstroomdroger met een laagdikte van 60 cm het verloop van de korreltemperatuur en het verloop van de luchttemperatuur in de laag na. Bij een inlaattemperatuur van de lucht van 70°C verschilde de korreltemperatuur op een plaats in de laag ca. 3—4°C met die van de luchttemperatuur, bij 80°C als inlaattemperatuur was het verschil 5—7°C. Bij deze proeven ging het om tarwe, aanvangsvochtgehalte 20%. De lichtsnelheid was 1 m/sec, een waarde die veel groter is dan die, welke in de gebruikelijke schacht-, cascade- of torendrogers voorkomt. In de praktijk zal het verschil vermoedelijk kleiner zijn.

Uit een en ander volgt in elk geval, dat de gradiënt in luchttemperatuur en die van de korreltemperatuur veel overeenkomst vertonen.

Uit het voorgaande is wel gebleken, dat in de praktijk zeer vaak wordt gedroogd met lucht in dwarsstroom met vrijwel eenzijdige luchtrichting. De dikte van de toegepaste lagen is, uit een droogtechnisch oogpunt bezien, zeker niet dun te noemen. Menging in de lagen treedt niet of nagenoeg niet op. Er is dus alle aanleiding een nader onderzoek in te stellen naar het verloop van de korreltemperatuur onder dergelijke omstandigheden en naar de invloed van het drogen met lucht van verschillende temperatuur op de kwaliteit en de capaciteit. In het volgende hoofdstuk wordt dit onderzoek beschreven.

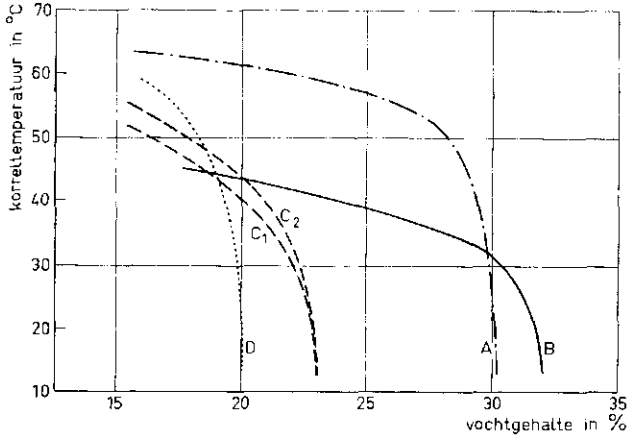


Afb. 36 Discontinuu werkende graandroger, werkend met vóórgedroogde lucht (Rimer)

Onderzoek

Beschrijving proefdroogapparatuur

In afb. 38 is het principe van de proefdroger schematisch getekend. Het toestel is in principe beschreven door Sprenger (19). Voor ons doel zijn er verschillende wijzigingen aangebracht; voorts is



Afb. 37 Verband korreltemperatuur en vochtgehalte bij het drogen van graan met verwarmde lucht (ca. 70—80°C) op grond van enkele gegevens in de literatuur (zie tekst)

een controlesysteem voor het instellen van de luchtsnelheid ontwikkeld en toegepast.

De graanlaag was 14 cm dik, liggende op een geperforeerde bodem en omgeven door een geïsoleerde wand, van binnen bekleed met ribfluweel (ribben horizontaal) ter vermindering van rand-effect.

De luchtstroom werd geleverd door twee kleine ventilatoren, waarbij de sterkte kan worden geregeld door een voorgeschakelde regeltransformator. De sterkte van de luchtstroom werd gecontroleerd door een omgekeerde trechter op de eest te plaatsen en in de tuit ervan een Lambrecht luchtsnelheidsmeter (doorstroomprincipe met directe aanwijzing) te steken. De aanwijzing van deze meter was van tevoren geijkt door de luchthoeveelheid door een flowrator te meten en de luchtsnelheid op het eestoppervlak (2 dm²) te betrekken.

De temperatuurregeling vond plaats door middel van schuifweerstand in combinatie met een elektrische verhitter. De luchttemperatuur werd gemeten met een kwikthermometer. Op twee plaatsen (op één kwart en drie kwart van de hoogte van de laag) werden temperatuuraanwijzingen verkregen met behulp van kwikthermometers.

Tenslotte zij opgemerkt, dat het gehele proefdroogtoestelletjes was geplaatst op een balans van voldoende sterke constructie en voldoende gevoeligheid. De elektrisch verbindingen kwamen tot stand door dospelcontactjes in kwikbakjes.

Met het proeftoestel was het aldus mogelijk om het verloop van het gewicht met de tijd (dus het verloop van het gemiddelde vochtgehalte met de tijd) na te gaan. Tevens was het mogelijk om het verloop van de temperatuuraanwijzingen op drie plaatsen in de laag (aan de luchtinlaatzijde en op één kwart en drie kwart van de laagdikte ervan af) te registreren.

Teneinde na te gaan in hoeverre de beide temperatuuraanwijzingen in de laag met de graan-

temperatuur ter plaatse overeenkwamen, is een aantal voorlopige proeven genomen. Daartoe is de temperatuur waargenomen van de drooglucht en in de graanlaag tijdens het ventileren en drogen. Op een bepaald moment werd de ventilatie stopgezet en de temperatuurwaarnemingen in de graanlaag werden gedurende 10 minuten voortgezet (om de minuut). De bedoeling was om na te gaan of de laatste waarnemingen, die de graantemperatuur betroffen, overeenkwamen met die vlak voor het stilzetten van de ventilatie, of dat er een sprongsgewijze verandering zou zijn te constateren. In tabel 5 vindt men de resultaten. Er blijkt geen sprongsgewijze verandering van enige betekenis op te treden.

De in de loop van de 10 minuten optredende zeer geringe verandering, die hier en daar wordt gesignaleerd, is te wijten aan het uitwisselen van warmte naar de omgeving en in de laag zelf.

Het bleek aldus bij de proefdroger op zeer eenvoudige wijze mogelijk te zijn het verloop van de korreltemperatuur op een bepaalde plaats in de laag tot op ca. 1°C nauwkeurig vast te leggen, althans bij luchtsnelheden van 0,2—0,5 m/sec.

Proefmateriaal

Tarwe I Peko, 1e nabouw, oogstjaar 1958, afkomstig van de Z.P.B. te Elst.

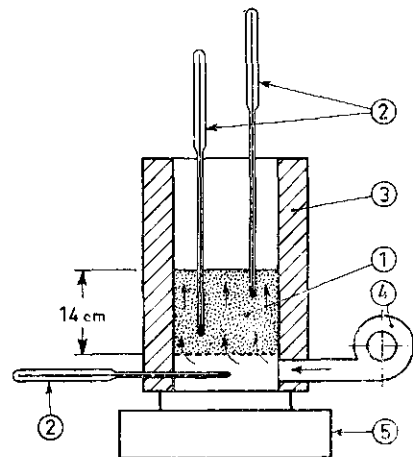
Gerst Balder, oogstjaar 1957, afkomstig van Export-Mouterij „Nederland” Wageningen.

Tarwe II Leda, oogstjaar 1958, afkomstig van de C.H.V. van de N.C.B. te Sas van Gent.

Proefschema

Serie I. Tarwe I en gerst (criterium: kiemeigenschappen).

Vochtgehalten:	a ca. 28%	b ca. 24%	c ca. 20%
Luchtsnelheid:	0,2 m/sec		
Laagdikte:	14 cm		
Luchtrichting:	van één zijde		



Afb. 38 Schematische aanduiding van een proefdroogertje voor het drogen van korrelig materiaal in een laag: 1 graan; 2 kwikthermometers op $\frac{1}{4}$ en $\frac{3}{4}$ van de laagdikte en in de lucht; 3 isolatie; 4 ventilator met verwarming; 5 balans.

TABEL 5
Controlemetingen i.v.m. het vaststellen materiaalttemperatuur in een laag zaad tijdens drogen met verwarmde lucht
 Materiaal: tarwe. Laagdikte: 14 cm. Luchttemperatuur: 75°C.

Vochtgehalte	ca. 17%				ca. 20%				ca. 24%				ca. 28%			
	0,2 m/sec		0,5 m/sec		0,2 m/sec		0,5 m/sec		0,2 m/sec		0,5 m/sec		0,2 m/sec		0,5 m/sec	
	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven
Plaats in laag	61,8	39,0	58,5	46,7	59,7	38,0	57,0	37,0	54,9	35,2	52,0	38,0	60,0	30,8	58,0	36,0
Temp. op moment stopzetten ventilatoren	na 1 min	38,9	58,1	46,5	58,9	37,4	56,4	37,1	54,1	34,5	51,6	37,8	58,7	30,1	56,8	35,8
	na 2 min	38,5	58,0	46,1	58,3	37,0	56,0	37,0	53,8	34,0	51,3	37,5	57,8	30,0	56,0	35,6
	na 3 min	60,8	38,3	57,9	46,0	58,0	36,8	55,8	53,5	33,7	51,2	37,4	57,2	30,1	55,5	35,5
	na 4 min	60,7	38,1	57,8	46,0	57,8	36,6	55,6	53,3	33,3	51,2	37,2	56,8	30,2	55,0	35,5
	na 5 min	60,6	38,1	57,8	46,0	57,6	36,4	55,4	53,2	33,2	51,2	37,2	56,7	30,2	54,7	35,4
	na 6 min	60,6	38,0	57,8	46,0	57,5	36,3	55,3	53,2	33,1	51,2	37,2	56,6	30,5	54,5	35,3
	na 7 min	60,6	38,0	57,8	46,0	57,4	36,2	55,3	53,2	33,1	51,2	37,2	56,5	30,7	54,2	35,3
	na 8 min	60,5	38,0	57,9	46,0	57,3	36,2	55,3	53,3	33,2	51,2	37,3	56,4	30,8	54,1	35,3
	na 9 min	60,5	38,0	57,9	46,0	57,2	36,2	55,3	53,4	33,2	51,3	37,4	56,4	30,9	54,0	35,2
	na 10 min	60,5	38,0	57,9	46,0	57,2	36,2	55,3	53,4	33,2	51,3	37,6	56,3	31,0	53,8	35,2

B.

Vochtgehalte	ca. 17%				ca. 20%				
	0,2 m/sec		0,5 m/sec		0,2 m/sec		0,5 m/sec		
	onder	boven	onder	boven	onder	boven	onder	boven	
Plaats in laag	46,0	19,5	46,7	19,9	39,0	22,4	43,5	21,9	
Temp. op moment stopzetten ventilatoren	na 1 min	45,8	19,5	46,1	20,0	38,7	22,6	43,3	22,0
	na 2 min	45,2	19,6	45,6	20,0	37,9	22,8	43,0	22,1
	na 3 min	45,0	19,7	45,1	20,0	37,4	22,8	42,7	22,1
	na 4 min	44,7	19,8	44,8	20,0	37,0	22,9	42,4	22,1
	na 5 min	44,5	19,8	44,6	20,1	36,8	22,9	42,2	22,1
	na 6 min	44,5	19,9	44,3	20,1	36,7	22,9	42,2	22,1
	na 7 min	44,5	19,9	44,1	20,1	36,5	22,9	42,1	22,1
	na 8 min	44,5	19,9	44,0	20,1	36,5	22,9	42,1	22,2
	na 9 min	44,4	19,9	43,8	20,1	36,4	22,9	42,1	22,2
	na 10 min	44,4	20,0	43,7	20,1	36,4	22,9	42,1	22,2

A. Temperatuuropnemingen in de laag na 25 min drogen tijdens het drogen en vervolgens gedurende 10 minuten na afzetten lucht.

Onder = op 1/4 van de laagdikte

Boven = op 3/4 van de laagdikte

B. Idem na 5 min drogen.

Luchttemperaturen: a 25 - 35 - 45 - 55 - 65 - 75°C
 b 35 - 45 - 55 - 65 - 75°C
 c 45 - 55 - 65 - 75°C
 Kiemkracht en vocht: vóór drogen en na drogen in beide helften van de laag
 Aantal objecten: totaal 30

Serie 2. Tarwe II (criterium: bakeigenschappen).

Vochtgehalten: a 20% b 24% c 24%
 Luchtsnelheid: 0,18 m/sec
 Laagdikte: 14 cm
 Luchtrichting: van één zijde
 Droogwijze: a van 20%—15% ineens
 b van 24%—15% ineens
 c van 24%—20%, later van 20%—15%
 (in twee drogingen met een koeling ertussen)
 Luchttemperaturen: a, b en c 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160°C
 Bakeigenschappen: vóór drogen en na drogen
 Aantal objecten: totaal 18

Opmerking: De gekozen luchtsnelheden zijn van een orde van grootte, zoals deze in een praktijkdroger kunnen worden verwacht.

Uitvoering van de proeven

Het materiaal werd vooraf bevochtigd en geconditioneerd, overeenkomstig het te onderzoeken object. Daartoe is een tevoren berekende hoeveelheid water aan een bepaalde hoeveelheid materiaal toegevoegd en in een afgesloten vat goed doorengemengd. Vervolgens is het vat met inhoud gedurende 8 dagen in een koelruimte (5°C) bewaard.

In deze bewaarperiode is het vat eerst een paar dagen af en toe gerold en geschud, daarna is de inhoud gedurende 4 dagen elke dag doorengewerkt en tenslotte is het materiaal enkele dagen af en toe in een dunne laag uitgestort, omgeschept en gemengd. Na deze behandeling vond een vochtbepaling plaats.

Voor de blanco monsters werd het aldus behandelde graan met behulp van een daartoe ontwikkelde en in eigen beheer geconstrueerde monsterdroger met behulp van veel lucht en enkele graden temperatuurverhoging gedroogd. Ten behoeve van serie 1 (kiemeigenschappen) werd van deze blanco gedroogde monsters en van de in de proefdroger gedroogde objecten door het R.P.v.Z. de kiemkracht bepaald, bij serie 2 werden door het I.G.M.B.-T.N.O. aan de blanco monsters en de in de proefdroger gedroogde objecten de bakeigenschappen vastgesteld.

Uit het door ir. E. K. Meppelink van het I.G.M.B.-T.N.O. uitgebrachte desbetreffende rapport volgt, dat daartoe bakproeven werden uitgevoerd volgens de bij genoemd instituut gebruikelijke methode voor bloem van inlandse tarwe. Elk der bakproeven omvatte 3 ongeknijpte busbroden van ca. 400 g, overeenkomende met ongeveer 240 g droge stof (15).

Met het oog op het bepalen van de optimale bromaatbehoefte is door het I.G.M.B.-T.N.O. vooraf een oriënterend onderzoek verricht met

TABEL 6

Voorbeeld van verkregen gegevens van een van de 30 objecten serie I

Droogproef: tarwe I. Luchttemperatuur: 55°C. Vochtgehalte: 28,3%. Laagdikte: 14 cm. Luchtsnelheid: 0,2 m/sec.

Droogduur in minuten	Gemiddeld vochtgehalte		Korreltemperatuur in °C	
	%	% op d.s.	op ¼ van de laag	op ¾ van de laag
0	28,3	39,4	15,0	15,0
2	28,2	39,3	21,0	15,5
5	28,0	38,9	28,2	21,0
10	27,5	38,0	38,2	22,0
15	26,9	36,8	41,2	23,8
20	26,2	35,5	43,0	25,0
25	25,5	34,2	44,2	28,1
30	24,8	33,1	45,1	30,8
35	24,1	31,8	46,1	32,2
40	23,5	30,7	46,9	33,6
45	22,9	29,7	47,5	34,8
50	22,3	28,7	48,2	35,8
55	21,8	27,9	49,0	36,7
60	21,2	26,9	49,5	37,8
65	20,7	26,2	50,0	38,3
70	20,2	25,3	50,3	39,0
75	19,7	24,5	50,7	40,0
80	19,2	23,8	51,0	40,5
85	18,8	23,2	51,3	41,1
90	18,3	22,4	51,8	42,0
100	17,5	21,2	52,2	43,2
110	16,7	20,0	52,0	44,5
120	16,0	19,0	53,5	46,0
130	15,3	18,1	53,3	47,0

dezelfde onbehandelde (dus niet bevochtigde en weer gedroogde) tarwe. De voor alle objecten toe te passen bromaatbehoefte bleek 3 g KBrO₃ per 100 kg bloem te zijn.

Verkregen resultaten

Serie I (kiemeigenschappen gerst en tarwe)

Voor alle objecten zijn gegevens verkregen betreffende het verloop van het gemiddelde vochtgehalte en het verloop van de korreltemperaturen op ¼ en op ¾ van de laagdikte. Bij wijze van voorbeeld geven wij in tabel 6 de verkregen gegevens van een van de 30 objecten (tarwe I - 28,3% vocht - 55°C). In tabel 7 zijn de voornaamste resultaten betreffende de droogduur, de vochtgehalten en de kiemkrachtcijfers samengevat betreffende gerst en tarwe I.

In de afbeeldingen 39 en 40 is het verloop van de gemeten korreltemperaturen van serie I grafisch weergegeven.

Serie 2 (bakeigenschappen tarwe)

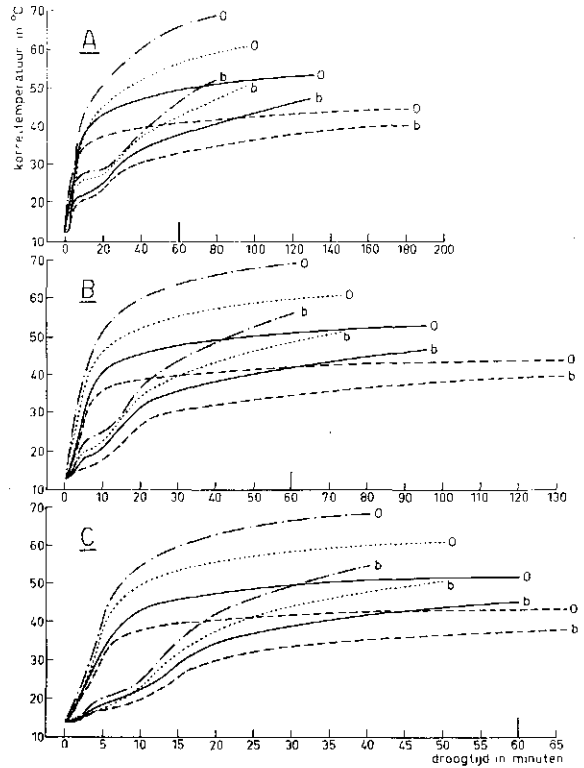
Voor alle objecten zijn gegevens verkregen betreffende het verloop van het gemiddelde vochtgehalte en het verloop van de korreltemperaturen op ¼ en op ¾ van de laagdikte. Bij wijze van voorbeeld geven wij in tabel 8 de verkregen ge-

TABEL 8

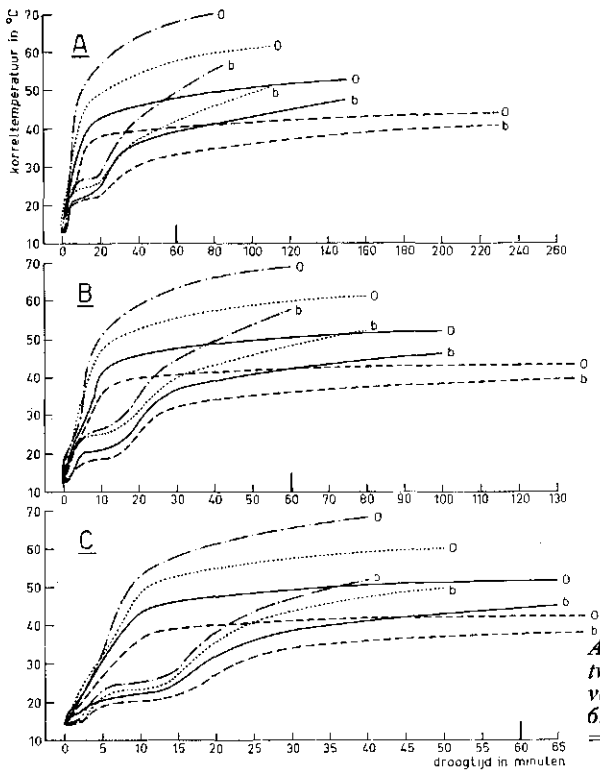
Voorbeeld van verkregen gegevens van een van de 18 objecten serie 2

Droogproef: tarwe II. Luchttemperatuur: 100°C. Vochtgehalte: 24%. Laagdikte: 14 cm. Luchtsnelheid: 0,18 m/sec. In een keer gedroogd.

Droog- resp. koelduur in minuten	Gemiddeld vochtgehalte		Korreltemperatuur in °C	
	%	% op d.s.	op 1/4 van de laag	op 3/4 van de laag
Drogen				
0	24,5	32,4	18,5	18,5
2	24,4	32,3	29,9	18,6
5	24,1	31,8	39,0	28,0
10	23,4	30,5	56,2	31,3
15	22,5	29,0	66,0	31,8
20	21,6	27,6	74,1	32,3
25	20,6	25,9	81,1	32,7
30	19,6	24,4	86,2	35,0
35	18,6	22,9	90,9	38,3
40	17,6	21,4	94,5	42,5
44	16,8	20,2	96,2	45,5
Koelen				
0	16,8	20,2	96,2	45,5
5	15,9	18,9	73,5	50,0
10	15,3	18,1	39,0	51,5
15	15,0	17,6	31,0	41,0
20	14,8	17,4	29,0	31,5
25	14,7	17,2	28,0	28,2
30	14,6	17,1	27,2	27,0
35	14,5	17,0	26,5	26,0



Afb. 39 Verloop gemeten korreltemperaturen op twee plaatsen in de laag. Serie 1: gerst. Temperatuur van de drooglucht: — · — · — = 75°C, - - - - = 65°C, — — — — = 55°C, — — — — = 45°C. a = op 1/4 van de laagdikte, b = op 3/4 van de laagdikte. A ca. 28%, B ca. 24%, C ca. 20% vocht.



gegevens van één van de 18 objecten (tarwe II - 24% vocht - 100°C).

In de afbeeldingen 41a en 41b is het verloop van de gemeten korreltemperaturen van serie 2 grafisch weergegeven (drogen en koelen; tarwe II). In tabel 9 zijn de voornaamste resultaten betreffende droogduur, vochtgehalten en bakeigenschappen samengevat betreffende tarwe II. De gegevens betreffende de bakeigenschappen zijn ontleend aan het eerder genoemde rapport (15). Tabel 9 dient tevens ter nadere toelichting bij de afbeeldingen 42, 43 en 44, die het uiterlijk en de doorsnede van de door het I.G.M.B.-T.N.O. verkregen proefbroden vertonen.

Het verloop van de korreltemperatuur over de laag en met de tijd

In het linker deel van afb. 45 is bij wijze van voorbeeld voor één object aangegeven hoe de korreltemperatuur in de laag verloopt na verschil-

Afb. 40 Verloop gemeten korreltemperaturen op twee plaatsen in de laag. Serie 1: tarwe I. Temperatuur van de drooglucht: — · — · — = 75°C, - - - - = 65°C, — — — — = 55°C, — — — — = 45°C. a = op 1/4 van de laagdikte, b = op 3/4 van de laagdikte. A ca. 28%, B ca. 24%, C ca. 20% vocht.

TABEL 9
Voornaamste resultaten droogproeven serie 2 (vochtgehalte, bakeigenschappen, droogduur tarwe)

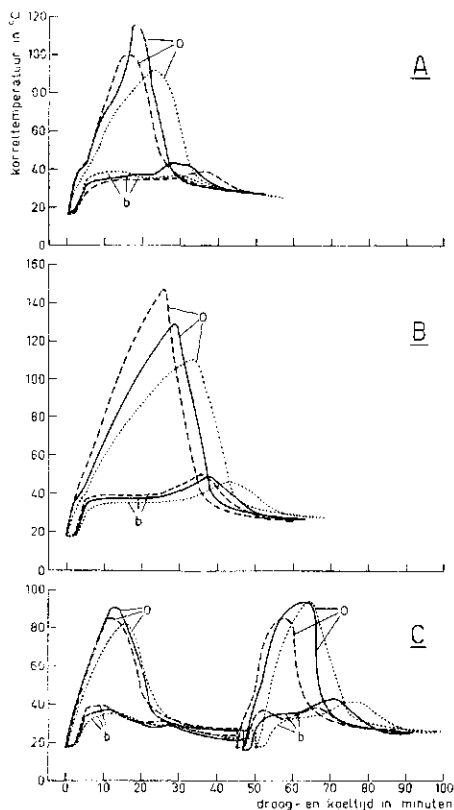
	Temperatuur °C															
	60		80		100		120		140		160					
	A ₂	B ₂	A ₃	B ₃	A ₄	B ₄	A ₅	B ₅	A ₆	B ₆	A ₇	B ₇	C ₆	C ₇		
Vochtgehalte																
Voor 1e maal drogen	%	20,4	24,5	24,2	20,4	24,5	24,2	20,4	24,5	24,2	20,4	24,5	24,2	20,4	24,5	24,2
Na 1e maal drogen gemiddeld	%	15,5	15,7	20,1	16,2	16,4	21,0	17,1	17,6	21,8	17,6	18,1	22,0	17,8	18,1	22,4
Na 1e maal koelen	%	14,8	14,8	19,0	14,8	14,5	19,1	14,7	14,6	19,0	14,6	14,5	19,0	14,6	14,4	18,8
Na 1e maal koelen onderste laag	%	13,7	12,8		12,9	11,8		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		17,6	19,1		17,8	19,5		18,0	20,2	
Voor 2e maal drogen	%		18,9			19,0			18,9			18,8			18,6	
Na 2e maal drogen gemiddeld	%		15,6			16,3			16,7			17,1			17,3	
Na 2e maal koelen	%		14,9			14,7			14,5			14,5			14,6	
Na 2e maal koelen onderste laag	%		13,8			13,0			12,4			12,0			11,8	
Na 2e maal koelen bovenste laag	%		15,8			16,4			16,6			17,0			17,2	
Droogduur																
Droogduur 1e maal	min	60	90	42	38	58	26	28	44	18	22	33	15	17	28	12
Droogduur 2e maal	min			40			24			18			14			10
Droogduur totaal	min	60	90	82	38	58	50	28	44	36	22	33	29	17	28	22
Koelduur 1e maal	min	2,5	2,5	20	30	30	30	30	35	35	35	35	35	35	35	35
Koelduur 2e maal	min			25			30			35			35			35
Koelduur totaal	min	2,5	2,5	45	30	30	60	30	35	70	35	35	70	35	35	70
Koel- en droogduur totaal	min	8,5	11,5	127	68	88	110	58	79	106	57	68	99	52	63	92
Bakeigenschappen																
Broodvolume voor drogen	l/ml/100 g bloem	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441	412	421	441
Idem na drogen	ml/100 g bloem	420	430	453	428	409	458	393	377	337	329	328	294	296	296	270
Waardering overige eigenschappen voor drogen		15	16	22,5	15	16	22,5	15	16	22,5	15	16	22,5	15	16	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

Cursief gedrukte cijfers: duidelijke achteruitgang in bakeigenschappen.

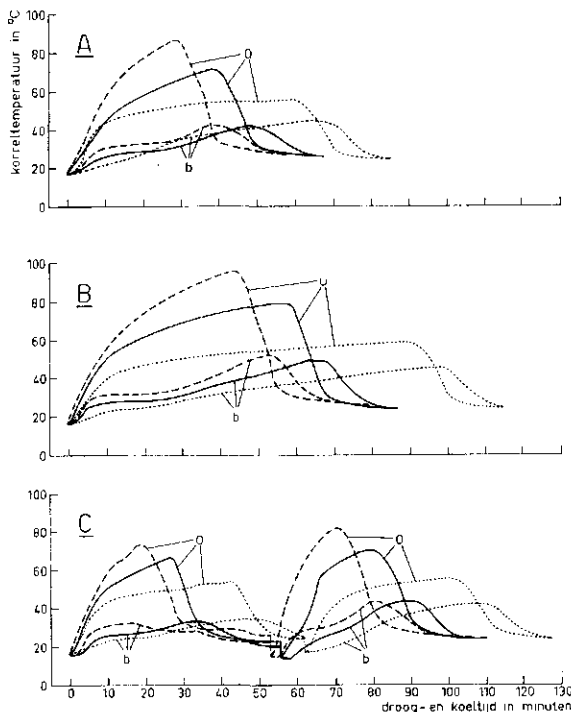
lende droogtijden. Daartoe zijn voor de droogtijden 0, 2, 5, 10, 15 enz. telkens vloeiende lijnen getrokken door drie bekende punten, die de korreltemperaturen op een afstand 0, 1/4 laagdikte en 3/4 laagdikte van de luchtinlaatzijde voorstellen.

Door nu op deze vloeiende lijnen de temperatuurwaarden op 0,05 - 0,15 - 0,25 enz. van de laagdikte op te zoeken en deze waarden over te brengen in een grafische voorstelling, als rechts in afb. 45, verkrijgt men het verloop van de korreltemperatuur met de tijd in het hart van 10 gelijke delen van de laag. In afb. 45 zijn als voorbeeld de 10 punten op de lijn: droogtijd 5 min aangegeven.

Op deze wijze is het mogelijk het temperatuurverloop in de laag met de tijd in beeld te brengen. In de afbeeldingen 46, 47 en 48 ziet men hiervan enkele voorbeelden. In afb. 46 ziet men het verloop bij zaaitarwe (luchttemperatuur 75°C) voor drie vochtgehalten. Hetzelfde is gebeurd in afb. 47, waarin het soortgelijke verloop van korreltemperaturen voor consumptietarwe wordt vergeleken bij eenzelfde vochtgehalte, maar bij verschillende luchttemperaturen (60°C en 120°C) of in afb. 48 (80°C—100°C).



Afb. 41a Verloop gemeten korreltemperaturen op twee plaatsen in de laag tijdens drogen en koelen. Serie 2: tarwe II. Temperatur van de drooglucht: — — — = 160°C, — — — — — = 140°C, - - - - - = 120°C. O = op 1/4 van de laagdikte, b = op 3/4 van de laagdikte. A, B en C - Droogwijze - zie proefschema.

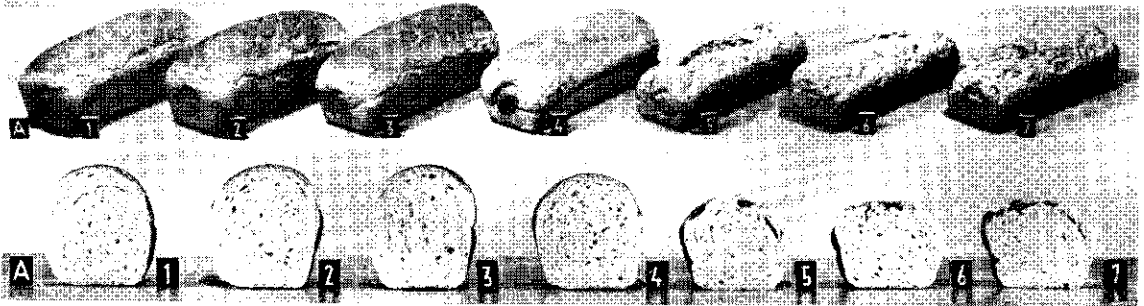


Afb. 41b Verloop gemeten korreltemperaturen op twee plaatsen in de laag tijdens drogen en koelen. Serie 2: tarwe II. Temperatur van de drooglucht: — — — = 100°C, — — — — — = 80°C, - - - - - = 60°C. O = op 1/4 van de laagdikte, b = op 3/4 van de laagdikte, A, B en C - Droogwijze - zie proefschema.

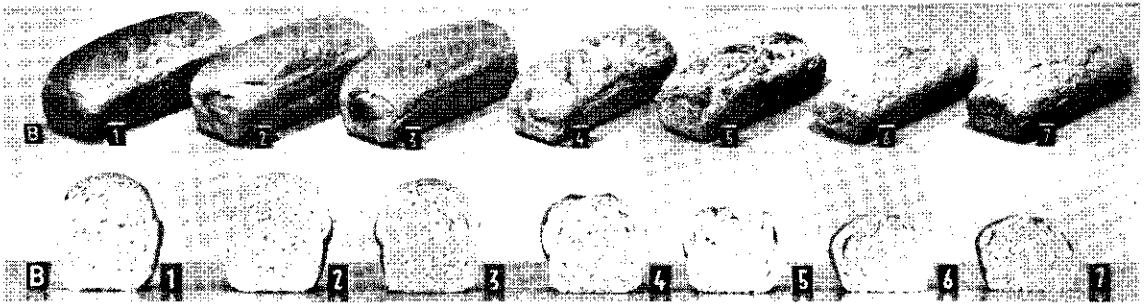
Uit de afbeeldingen 46, 47 en 48 is te zien, dat het patroon van korreltemperaturen vooral afhangt van de temperatuur van de drooglucht.

De invloed van het vochtgehalte is bij gelijke luchttemperatuur van ondergeschikt belang, alleen de verhittingsduur wordt erdoor beïnvloed. Hoe hoger de temperatuur van de drooglucht is, des te groter zijn de verschillen in korreltemperatuur in de laag. Ook in afb. 49 ziet men dit geïllustreerd. Hierin is het verloop van de korreltemperatuur over de dikte van de laag afgebeeld op het moment, waarop het gemiddelde vochtgehalte tot ca. 18% is gedaald, bij droging met lucht van 60 tot 160°C, uitgaande van tarwe met 24% vocht. Men ziet, dat naarmate de temperatuur daalt, de gradiënt vlakker wordt.

Zou men de gemiddelde korreltemperatuur bepalen (bv. zoals men deze verkrijgt door een monster graan in een thermosfles op te vangen en daarin de temperatuur te meten), dan zou men tussen de gemiddelde korreltemperatuur en het gemiddeld vochtgehalte een verband krijgen, grafisch weergegeven in de afbeeldingen 50 en 51. Deze afbeeldingen gelden voor een stilliggende laag van 14 cm dik en kunnen worden vergeleken met afb. 37. Men krijgt dan een geflatteerd beeld; er komen in de laag hogere temperaturen voor dan de gemiddelde waarde. Deze gemiddelde waarde van de korreltemperatuur stijgt naarmate het gemiddelde vochtgehalte daalt. De gemiddelde kor-



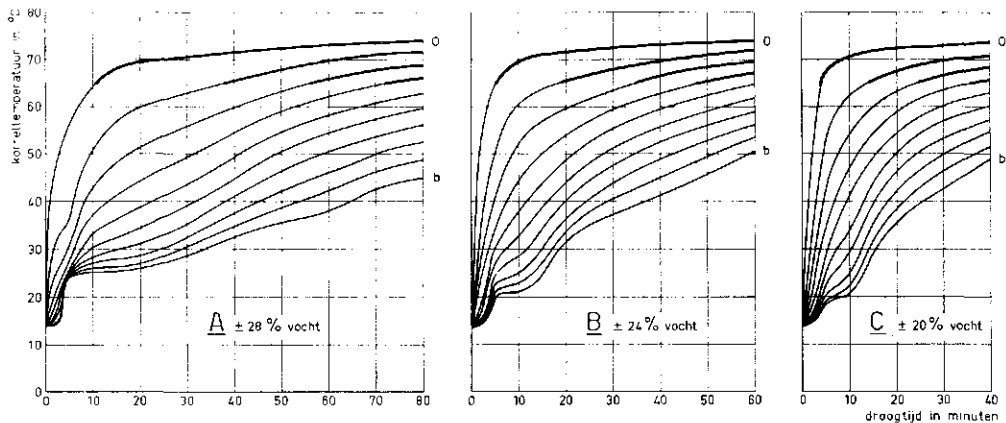
Afb. 42 Resultaat bakproeven serie 2 (tarwe II): A gedroogd van 20%—15%; 1 blanco; 2 luchttemperatuur 60°C; 3 luchttemperatuur 80°C; 4 luchttemperatuur 100°C; 5 luchttemperatuur 120°C; 6 luchttemperatuur 140°C; 7 luchttemperatuur 160°C.



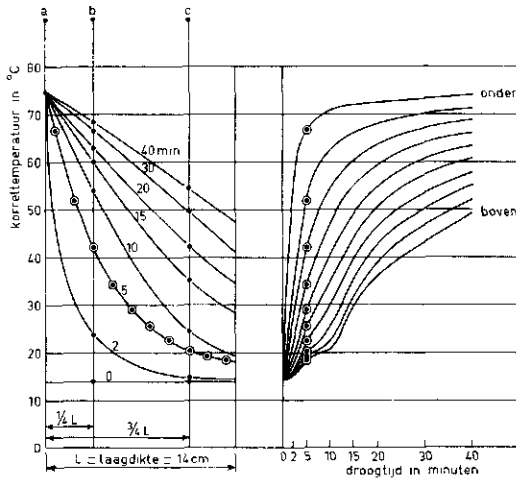
Afb. 43 Resultaat bakproeven serie 2 (tarwe II): B gedroogd van 24%—15% (in éénmaal); 1 blanco; 2 luchttemperatuur 60°C; 3 luchttemperatuur 100°C; 5 luchttemperatuur 120°C; 6 luchttemperatuur 140°C; 7 luchttemperatuur 160°C.



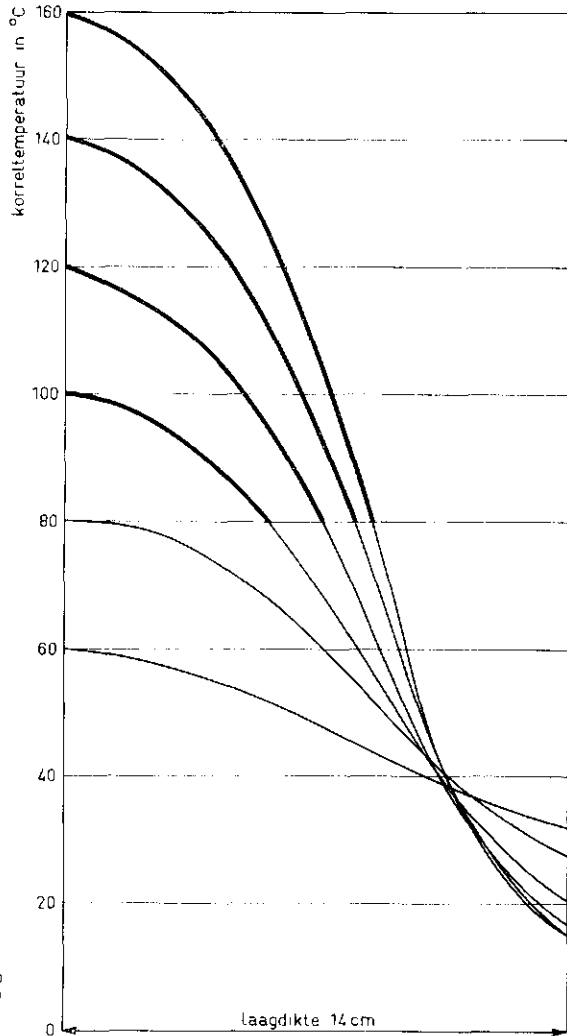
Afb. 44 Resultaat bakproeven serie 2 (tarwe II): C gedroogd van 24%—15% (in tweeën); 1 blanco; 2 luchttemperatuur 60°C; 3 luchttemperatuur 80°C; 4 luchttemperatuur 100°C; 5 luchttemperatuur 120°C; 6 luchttemperatuur 140°C; 7 luchttemperatuur 160°C.



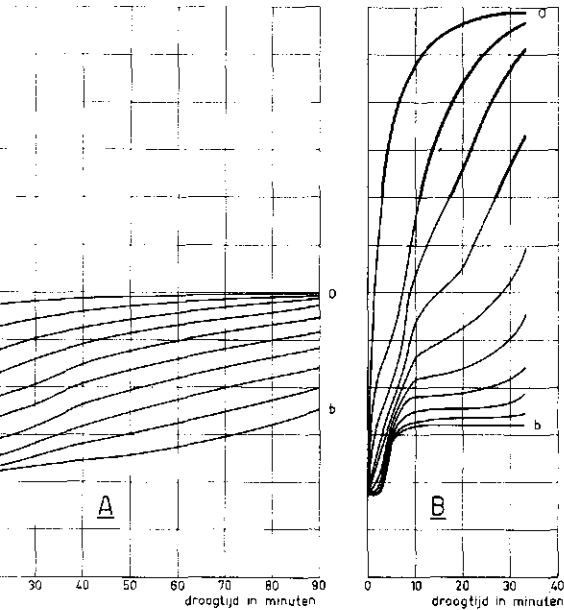
Afb. 46 Verloop korreltemperaturen in 10 gelijke delen van een laag zaaitarwe (serie 1). Luchttemperatuur 75°C; laagdikte 14 cm; lichtsnelheid 0,2 m/sec; éézijdige luchtrichting; verschillend vochtgehalte: o = onderste 1/10 deel; b = bovenste 1/10 deel.



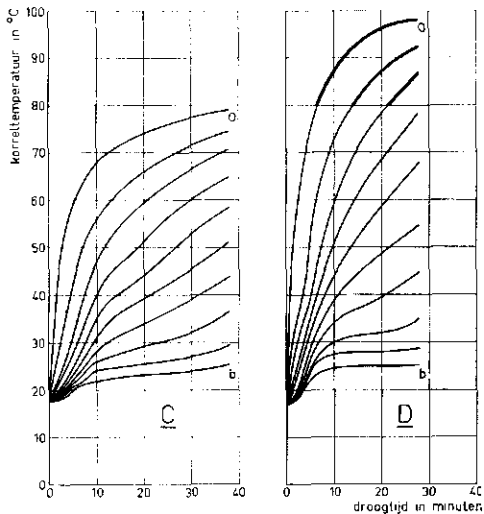
Afb. 45 Constructie verloop korreltemperatuur in 10 gelijke delen van een laag bij het drogen met éénzijdige luchtrichting



Afb. 49 Verloop van de korreltemperatuur over een laag tarwe ter dikte van 14 cm na droging tot gemiddeld 18% vocht, uitgaande van ca. 24% vocht (verschillende luchttemperaturen, éénzijdige luchtrichting)

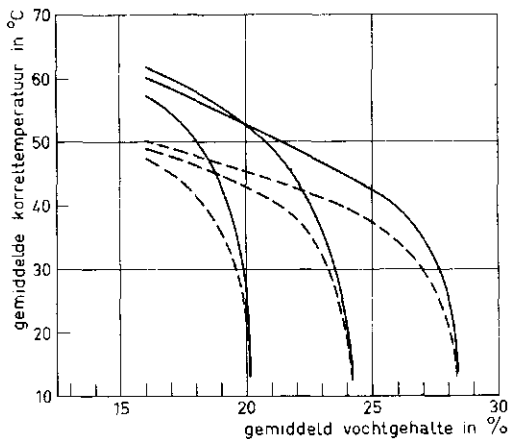


Afb. 48 Verloop korreltemperaturen in 10 gelijke delen van een laag consumptietarwe (serie 2). Vochtgehalte ca. 20%; laagdikte 14 cm; lichtsnelheid 0,18 m/sec; éénzijdige luchtrichting; verschillende luchttemperaturen: C = luchttemperatuur 80°C; D = luchttemperatuur 100°C; o = onderste 1/10 deel; b = bovenste 1/10 deel.



Linker kolom midden:

Afb. 47 Verloop korreltemperaturen in 10 gelijke delen van een laag consumptietarwe (serie 2). Vochtgehalte ca. 24%; laagdikte 14 cm; lichtsnelheid 0,18 m/sec; éénzijdige luchtrichting; verschillende luchttemperaturen: A = luchttemperatuur 60°C; B = luchttemperatuur 120°C; o = onderste 1/10 deel; b = bovenste 1/10 deel.



Afb. 50 Verband gemiddelde korreltemperatuur en gemiddeld vochtgehalte in een laag tarwe, dik 14 cm, gedroogd met lucht van verschillende temperatuur bij verschillende uitgangsvochtgehalten. Luchtsnelheid 0,2 m/sec. Eénzijdige richting luchtstroom. Temperatuur van de drooglucht: — = 75°C, - - - = 55°C.

reltemperaturen komen bij ca. 16% vocht ongeveer als volgt te liggen:

Luchttemperatuur	Eindwaarde gemiddelde korreltemperatuur (ca. 16% vocht)
120°C	ca. 70—80°C
100°C	ca. 65—70°C
80°C	ca. 56—62°C
60°C	ca. 50°C

Het in tweeën drogen van graan met 24% vocht blijkt, voor wat betreft het verloop van de korreltemperatuur, in zoverre van voordeel te zijn, dat er bij eenzelfde luchttemperatuur minder hoge gemiddelde korreltemperaturen optreden dan bij het ineens drogen. Dit is uit het verloop van de lijnen van de afbeeldingen 41a en 41b op te maken.

De kwaliteit van het gedroogde graan

Uit de gegevens van tabel 7 volgt, dat een daling van de kiemkracht van meer dan 10% begint op te treden bij objecten met luchttemperaturen van 75°C en dan alleen in de onderste helft van de laag. Nemen wij een dergelijke daling als reëel aan, dan kan worden geconcludeerd, dat men bij de onderzochte tarwe, drogende op een wijze zoals beschreven (en zoals in de praktijk bij zeer veel drogers kan worden benaderd), met de luchttemperatuur niet boven de 65°C moet gaan.

Bij het toepassen van 65°C als luchttemperatuur blijkt de kiemkracht van de laag als geheel niet te zijn achteruitgegaan, althans dit is uit de analyses niet te constateren.

Mocht de kritische korreltemperatuur lager liggen, dan is het verschil tussen 65°C en deze kritische temperatuur blijkbaar zodanig gering en het percentage korrels dat boven deze kritische temperatuur is verhit blijkbaar zodanig klein, dat

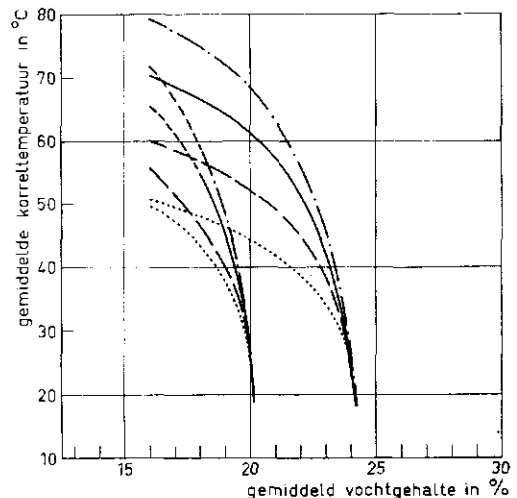
dit niet in een waarneembare achteruitgang van het geheel tot uiting komt.

Bij een luchttemperatuur van 75°C is dit blijkbaar wel het geval. In afb. 46 zijn de temperatuurgedeelten boven de 65°C dik getrokken. Hiermee wordt niet bedoeld, dat 65°C de kritische waarde voor de korreltemperatuur zou zijn. Wel ligt het voor de hand om aan te nemen, dat de dik getrokken lijnen op plaats, tijd en temperatuurniveau wijzen, waarbij de grenzen zeker zijn overschreden.

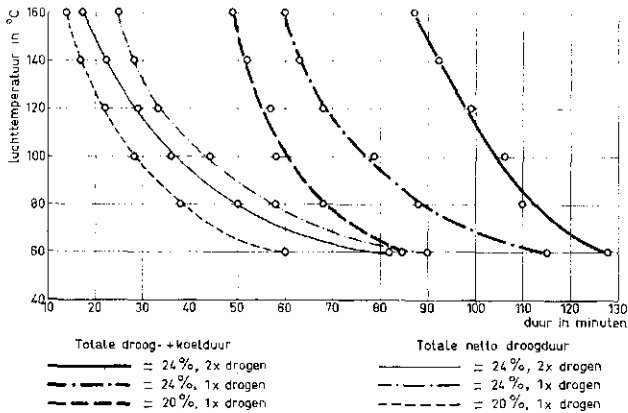
Bij toepassing van luchttemperaturen van 75°C komt bij eenzijdige luchttriching in 4/10 deel van de laag (80% van de onderste helft van de laag) gedurende kortere of langere tijd een korreltemperatuur voor van 65°C tot 74°C. Uit de gegevens van tabel 7 volgt verder, dat de gerst minder temperatuurgevoelig was dan de tarwe.

Uit de gegevens van tabel 9 volgt, dat bij het toepassen van luchttemperaturen van 100°C en hoger, drogend op de wijze zoals bij de proef voorkwam (en zoals in vele praktijkdrogers kan worden benaderd), bij de onderzochte, bevochtigde Leda tarwe een achteruitgang van de bakeigenschappen is te constateren. Bij toepassing van een luchttemperatuur van 80°C en lager was dit niet of nagenoeg niet het geval. Wel wijst het object 24% vocht - 80°C in één maal drogen op het feit, dat 80°C wel zo ongeveer de grens is voor de toe te laten luchttemperatuur.

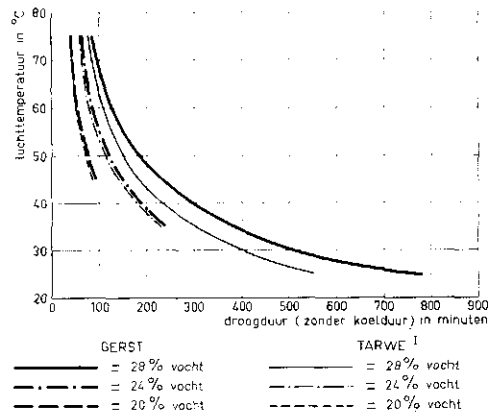
Hiermee is niet bewezen, dat de kritische korreltemperatuur voor de bakkwaliteit bij 80°C zou liggen. Men kan stellen, dat bij het drogen met 80°C als luchttemperatuur het percentage korrels in de laag, dat tot boven een bepaalde kritische waarde zou zijn verhit, blijkbaar zodanig weinig is geschaad of als aandeel in het totaal zodanig weinig gewicht in de schaal werpt, dat de bakeigen-



Afb. 51 Verband gemiddelde korreltemperatuur en gemiddeld vochtgehalte in een laag tarwe, dik 14 cm, bij droging met lucht van verschillende temperatuur. Beginvochtgehalten 24 en 20%; luchtsnelheid 0,18 m/sec; éénzijdige richting luchtstroom. Temperatuur van de drooglucht: — . — . — = 120°C; — — — = 100°C; — - - - = 80°C; - - - - = 60°C.



Afb. 52 Verband tussen korreltemperatuur en droog- resp. droog + koelduur bij het drogen van tarwe II (laagdikte 14 cm, éénzijdige luchtrichting, lichtsnelheid 0,18 m/sec)



Afb. 53 Verband tussen luchttemperatuur en droogduur (zonder koelduur) bij drogen van gerst en tarwe I (laagdikte 14 cm, éénzijdige luchtrichting, lichtsnelheid 0,2 m/sec)

schappen van de laag als geheel niet zijn achteruitgegaan. Waarschijnlijk speelt ook een zekere verbetering door de warmtebehandeling, een soortgelijk effect als door de warmteconditionering in het maalderijbedrijf wordt beoogd, een rol.

Hoe dit zij, bij de proeven is gebleken, dat het zeker verkeerd gaat als er in de laag korreltemperaturen voorkomen, die hoger zijn dan 80°C.

In de afbeeldingen 47 en 48 zijn de lijnen voor de korreltemperaturen, voor zover ze boven de 80°C liggen, dik getrokken. Dit heeft geen ander doel dan oriënterend te wijzen op plaats, duur en temperaturniveau, waarop de korreltemperatuur zoveel boven de kritische waarde is gestegen, dat achteruitgang van de bakeigenschappen is te constateren.

Bezien wij het object 24% vocht - ineens drogen bij 120°C (afb. 47 B), dan blijkt, dat in het laatste geval in 40% van de laag gedurende kortere of langere tijd korreltemperaturen voorkwamen van 80 tot 119°C, terwijl in 60% van de laag de maximale korreltemperatuur niet boven de 70°C is uitgekomen. De bakeigenschappen van het geheel zijn zeer achteruitgegaan.

Vergelijken wij twee objecten, waarbij de omstandigheden niet zo heel veel verschilden, nl. het object 20% vocht - 80°C (afb. 48 A) en het object 20% vocht - 100°C (afb. 48 B), dan zien wij, dat in het laatste geval in 30% van de laag korreltemperaturen voorkwamen van 80 tot 98°C, waarbij de bakeigenschappen van het geheel ongunstig zijn beïnvloed, zij het in veel mindere mate dan in het geval van afb. 47 B.

Als men de luchtrichting periodiek zou omkeren, zou men aan de zijden van de laag toch ook zeer spoedig een korreltemperatuur verkrijgen, gelijk of nagenoeg gelijk aan de luchttemperatuur. Bij een luchttemperatuur van bv. 120°C volgt uit afb. 47, dat bij de toegepaste luchthoeveelheid en bij een vochtgehalte van 24% binnen 5 minuten een korreltemperatuur van bv. 80°C is bereikt in het hart van het 1/10 deel van de laag dat aan de luchtinlaatzijde is gelegen. Bij het drogen in toren-

en cascadedrogers of in banddrogers zou men op grond van de proeven met de temperatuur van de drooglucht zekerheidshalve niet boven een bepaalde grens (bij de onderzochte granen 65°C) dienen te gaan, als het om het behoud van die kiemeigenschappen van graan gaat en niet boven 80°C, als het om het behoud van de bakeigenschappen te doen is.

Voor de objecten met 24% vocht is bij de tarwe II zowel het ineens drogen als het in tweeën drogen onderzocht. Bij de laatste methode bleek in één geval, dat het in tweeën drogen, relatief bezien, een betere bakkwaliteit opleverde dan het ineens drogen. Dit geval betrof het drogen van tarwe met 24% bij 80°C als luchttemperatuur.

Op grond hiervan zou men kunnen concluderen, dat men de onderzochte tarwe met een vochtgehalte van 24% en hoger in tweeën moet drogen. Intussen is de totale droog + koelduur, als men in tweeën droogt, bij 80°C nagenoeg even groot als bij het ineens drogen van dezelfde tarwe bij 60°C; in het laatste geval had het ineens drogen geen nadelige invloed op de bakeigenschappen.

De conclusie is, dat men de onderzochte vochtige tarwe wel met lucht van 80°C kan drogen, maar dan niet ineens. Vermoedelijk doet men er beter aan dergelijke tarwe bij bv. 65°C in één doorloop te drogen.

Verkregen capaciteiten

De bij de proeven toegepaste luchthoeveelheid bedroeg 6500 à 7500 m³ per ton graan per uur (voor drogen en koelen te zamen).

De voor drogen en koelen apart benodigde hoeveelheden lucht lopen zeer uiteen. Bij de hogere temperaturen is relatief minder lucht voor het drogen en meer lucht voor het koelen nodig.

In afb. 52 ziet men het verband tussen de luchttemperatuur en de droogduur, respectievelijk droog + koelduur voor tarwe II. Veel van wat bij hogere temperatuur door de kortere droogduur wordt gewonnen, gaat weer verloren bij het koelen (aangenomen dat, evenals bij de proeven, in alle ge-

vallen tot hetzelfde temperatuurniveau wordt gekoeld.

Nemen wij de totale verblijftijd en de capaciteit bij het geval: 20% vocht - 80°C luchttemperatuur - 1 × drogen als 100% aan, dan worden de relatieve verblijfsduren en relatieve capaciteiten in de andere gevallen als opgegeven in de tabellen 10 en 11.

In afb. 53 ziet men het verschil in het gedrag van tarwe en gerst ten opzichte van de droogsnelheid geïllustreerd. Het blijkt, dat de tarwe gemakkelijker droogde dan de gerst. Tot en met 24% vocht is het verschil niet groot, maar bij 28% vocht is het verschil aanzienlijk.

TABEL 10

Relatieve verblijftijd (drogen + koelen) bij drogen van tarwe, dwarsstroom, eenzijdige luchttrichting, luchthoeveelheid 0,18 m/sec, verschillende luchttemperaturen

Luchttemperatuur °C	Relatieve droog + koelduur van tarwe II (bij 1 × drogen bij 80°C - 20% vocht = 100 gerekend)		
	bij 1 × drogen 20%	bij 1 × drogen 24%	bij 2 × drogen 24%
160	72	88	128
140	76	93	135
120	84	100	145
100	88	116	155
80	100	130	166
60	125	170	187

TABEL 11

Relatieve capaciteit bij drogen van tarwe, dwarsstroom, eenzijdige luchttrichting, luchthoeveelheid 0,18 m/sec, verschillende luchttemperaturen

Luchttemperatuur °C	Relatieve capaciteit, drogen tarwe II (bij 1 × drogen - 20% - 80°C = 100 gerekend)		
	bij 1 × drogen 20%	bij 1 × drogen 24%	bij 2 × drogen 24%
160	138	114	78
140	131	108	74
120	119	100	69
100	114	86	65
80	100	77	60
60	80	59	53

Samenvatting en conclusies

Bepaalde aspecten van het drogen van graan, zoals dit in de praktijk gebeurt, zijn in beschouwing genomen aan de hand van gegevens uit de literatuur en van gegevens van fabrikanten van drogers. Aandacht is besteed aan het gewenste eindvochtgehalte, de eigenschappen van het materiaal in kwestie met betrekking tot de droging (structuur, bereidheid om vocht af te staan, temperatuurgevoeligheid) en aan de principes van het drogen zelf.

Gebleken is, dat bij vele in gebruik zijnde con-

tinu werkende drogers een gemeenschappelijk kenmerk is te onderkennen, t.w. dat er vaak gedroogd wordt met verwarmde lucht die dwars door een laag stroomt, waarbij men te maken heeft met de omstandigheid, dat nagenoeg geen menging van het materiaal plaatsvindt en de luchttrichting nagenoeg eenzijdig is.

Hetzelfde geldt ten aanzien van discontinue droogwijzen. Men past daarbij evenwel langzame drogingen met grotere laagdikten en lagere luchttemperaturen toe.

De gegevens uit de literatuur betreffende de maximaal toe te laten korreltemperatuur en het verloop van de korreltemperatuur bij het drogen geven niet voldoende uitsluitsel met betrekking tot de hierboven genoemde, vaak voorkomende droogomstandigheden.

Een nader onderzoek op laboratoriumschaal is verricht onder omstandigheden, zoals deze in veel continu werkende praktijkdrogers kunnen worden benaderd (laagdikte ca. 14 cm, eenzijdige luchttrichting, in dwarsstroom drogen met meer of minder verwarmde lucht, luchthoeveelheid van de orde van 0,18—0,2 m/sec). Hierbij is uitgegaan van bevochtigde zaaitarwe en zaaigerst en bevochtigde baktarwe. De voornaamste resultaten vindt men in de tabellen 7, 9, 10 en 11 en in de afbeeldingen 39, 40, 41, 42, 43 en 44.

Er blijkt een grote verscheidenheid van korreltemperaturen in de laag op te treden tijdens de droging. Bij eenzelfde luchttemperatuur heeft het beginvochtgehalte wel invloed op de verhittingsduur maar niet op de mate waarin de korreltemperaturen uiteenlopen (afb. 46). Bij eenzelfde beginvochtgehalte liggen de korreltemperaturen in de laag meer uiteen naarmate de luchttemperatuur hoger is (afbeeldingen 47 en 48).

Het heeft geen zin om te spreken van „de korreltemperatuur” in een laag en ook niet over het verloop van „de korreltemperatuur”.

Het onderzoek heeft niet geleid tot het zuiver vaststellen van de kritische korreltemperaturen bij verschillende vochtgehalten. Gebleken is, dat het hanteren van een dergelijke waarde bij het drogen op een wijze zoals hier is onderzocht ook slechts een betrekkelijke waarde heeft.

Men heeft bij de onderzochte wijze van drogen meer houvast aan de luchttemperatuur. Gebleken is, dat luchttemperaturen hoger dan 65°C tot kiembeschadiging leiden in een gedeelte van de laag en dat luchttemperaturen hoger dan 80°C de bakeigenschappen nadelig beïnvloeden. In de afbeeldingen 46, 47, 48 en 49 geven de dik getrokken lijnen plaats en tijd aan, waarbij korreltemperaturen voorkwamen, die hoger waren dan de bedoelde kritische waarden van de luchttemperaturen. Ze dienen alleen ter oriëntering omtrent plaats, duur en temperatuurniveau, die zeker tot een nadelige invloed op de bakeigenschappen van de gehele laag hebben geleid.

In afb. 49 is het verloop van de korreltemperatuur te zien over de laag op het moment, dat het vochtgehalte tot ca. 18°C is gedaald. Men ziet,

dat de gradiënt steiler wordt naarmate de luchttemperatuur hoger is.

Het controleren van de korreltemperatuur in het bedrijf, zoals dit bij drogers door een in de laag gestoken voeler vaak gebeurt, komt in het licht van de spreiding van de korreltemperatuur in een enigszins twijfelachtig licht te staan.

Zou men de gemiddelde korreltemperatuur meten, dan geeft dit geen uitsluitsel omtrent de daarbij voorkomende afwijkingen. Men heeft bij het drogen in dwarsstroom in een deel van de laag altijd korreltemperaturen die vrijwel gelijk zijn aan de luchttemperatuur. Dit zal ook het geval zijn bij periodiek omkeren van de luchttriching.

Voor cascade- en torendrogers is het voor de praktijk het beste de luchttemperatuur nauwkeurig te meten en bepaalde grenzen aan de luchttemperatuur te stellen. De gevonden uiterste grenzen van 65°C en 80°C hebben betrekking op de onderzochte granen. In de praktijk zal een nadere controle op de in te stellen grens voor de luchttemperatuur voor elke droger gewenst zijn.

Tenslotte is gebleken, dat het drogen bij hogere temperaturen weliswaar tot grotere capaciteiten leidt, doch dat de resultaten relatief tegenvallen omdat het noodzakelijke koelen bij toepassing van hogere temperaturen betrekkelijk veel van het voordeel teniet doet.

Literatuur

1. A. G. Bekassow en N. I. Denissow - *Handbuch der Körnertrocknung*. VEB Verlag Technik, Berlijn (1955).
2. H. Bungartz - *Berichte über Landtechnik* 54 (1958). Kuratorium f. Technik in der Landwirtschaft, Frankfurt/M.
3. H. Gradin en B. Nyström - *Meddelande nr 262* (1955). Swedish Inst. of Agr. Eng.
4. H. Hege - *Landtechnische Forschung* (1956) (3) 79.
5. J. F. Hoffmann en K. Mohs - *Das Getreidekorn I*. Paul Parey, Berlijn (1931).
6. J. B. Holt en G. O. Harries - *Research Note Nat. Inst. Agr. Eng. Silsoe*.
7. H. J. Hoffmann - *Die Mühle* 92 (34) 453.
8. J. Kreyger - *Rapport TA nr 239* (1948).
9. J. Kreyger - *Publikatie A 20*. I.B.V.L., Wageningen (1948).
10. J. Kreyger - *Publikatie Droogtechn. Lab. nr 39* (1953).
11. K. Kröll - *Trockner und Trocknungsverfahren*. Springer Verlag, Berlijn (1959).
12. Joh. E. Lindberg en I. Sörensson - *Kungl. Skogs- och Lantbruks-akademiens Tidskrift. Suppl. 1*, Stockholm (1959).
13. K. N. Mathur en P. E. Gishler - *A technique for contacting gases with coarse solid particles*. Nat. Res. Council of Canada (1954).
14. K. N. Mathur en P. E. Gishler - *A study on application of the spouted bed technique to wheat drying*.
15. E. K. Meppelink - *Rapport nr 59-52*. I.G.M.B.-T.N.O.
16. J. D. Mounfield, P. Halton en A. G. Simpson - *J. Soc. Chem. Ind. Transactions* 63 (1944) 97.
17. T. A. Oxley - *The Scientific Principles of Grain Storage*. The Northern Publ. Co. Ltd, Liverpool (1948).
18. M. Röhrlich en G. Brückner - *Das Getreide I*. Verlag A. W. Hayn's Erben, Berlijn (1956).
19. J. J. I. Sprenger - *Kunstmatig drogen in de landbouw*. Dir. v. d. Landbouw, Hoofdafd. Doc. en Publ. (1958).
20. J. J. I. Sprenger - *Publikatie Droogtechn. Lab. nr 10* (1951).
21. J. J. I. Sprenger - *Med. nr 55 Landbouwvoorl. dienst* (1948).
22. W. H. C. Simmonds, G. T. Ward en Ewen McEwen - *The Transactions of the Inst. of Chem. Engineers* 31 (1953) (3) 265.
23. R. von Sybel - *Landtechnische Forschung* (1956) (4).
24. A. von Ugrimoff - *Die Mühle* 70 (1933) 24.

BANDEN ACHTSTE JAARGANG

De geheel linnen banden voor de jaargang 1959-1960 zijn in bewerking. De prijs bedraagt f 3,25 per stuk.

Levering uitsluitend na vooruitbetaling per giro (nr 44715) of per postwissel aan

MOORMANS PERIODIEKE PERS N.V.
Zwarteweg 1 - Den Haag

