



CENTRAAL INSTITUUT VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK

Publicatie van het Droogtechnisch Laboratorium, no.51

Practische richtlijnen voor het kunstmatig drogen van  
granen in de schuur

door  
J.Kreyger

2161751

Practische richtlijnen voor het kunstmatig drogen van  
granen in de schuur

door

J.Kreyger

Korte inhoud

Het kunstmatig drogen van granen in de schuur ondervindt in verband met onze klimaatsomstandigheden veel belangstelling en men gaat in de praktijk hier en daar tot deze droogwijze over of heeft dit reeds gedaan. Daarom is het van belang om belanghebbenden in kennis te stellen met hetgeen bekend is omtrent deze droogwijze. Weliswaar is er nog veel onderzoek nodig, maar er is toch al wel zoveel bekend, dat men daarmee zijn voordeel kan doen. Deze richtlijnen worden gegeven in aansluiting op het in 1953 verschenen NaCoBrouw-boekje: "Ventileren en langzaam drogen van graan".

Ten einde de praktische bruikbaarheid te vergroten en de betrekkelijk ingewikkelde droogproblemen zo eenvoudig mogelijk te behandelen, zijn enige vereenvoudigende veronderstellingen ingevoerd. Tabellen zijn opgesteld en voorbeelden worden gegeven op grond waarvan men, ingeval men over een bepaalde installatie - b.v. een aardappelbewaarplaats - beschikt, na kan gaan, welke grootte van luchtverhitter nodig is, hoe dik men de laag mag nemen, hoe lang de droogduur zal zijn en tot welke temperatuur men de lucht moet verwarmen.

Ook kan men de grootte van een geheel nieuwe installatie becijferen, de juiste ventilator kiezen enz. als men uitgaat van het drogen van een bepaalde partij.

Gewezen wordt op de gevaren, die ongetwijfeld in de methode schuilen en op de maatregelen, die men op grond van de huidige kennis daartegen behoort te nemen.

## Inleiding

In Nederland heeft men gedurende de oogstperiode van vele land- en tuinbouwgewassen dikwijls met moeilijkheden te kampen als gevolg van het feit dat de weersomstandigheden tijdens de oogst niet meewerken. Het is dan ook niet verwonderlijk, dat men zich interesseert voor de vraag of een kunstmatige droging van verschillende, in de oogstperiode kwetsbare, gewassen op het bedrijf mogelijk en economisch verantwoord is. Men zou dan ontkomen aan het risico, dat men nu in vele gevallen loopt, namelijk dat het gewas tussen maaien en binnenhalen beschadigd wordt of in kwaliteit achteruitgaat. De belangstelling gaat speciaal uit naar het zogenaamde "drogen in de schuur".

Men verkeert ten aanzien van deze droogmethode nog in het stadium van proefnemingen. De omstandigheden wijken hier te lande in vele opzichten af van die in de Verenigde Staten van Amerika, waar men er het eerst mede is begonnen en over veel ervaring beschikt.

Vragen, zowel op technologisch als op economisch gebied, kunnen eerst afdoende beantwoord worden na wetenschappelijk verantwoorde proefnemingen met verschillende gewassen over een reeks van jaren.

De Landbouworganisatie T.N.O. heeft een tweetal commissies in het leven geroepen, die zich met het onderzoek op dit terrein bezig houden (schuurhooi en akkerbouwproducten).

Het is van belang, dat de resultaten, die verkregen worden, geregeld worden gepubliceerd. De praktijk namelijk wacht niet tot het tijdstip, waarop een gefundeerd advies voor alle gevallen mogelijk is. Om deze reden leek het wenselijk om het een en ander mede te delen betreffende het drogen van granen in de schuur.

Daarbij zal niet worden ingegaan op de langzame silo-droging, waarbij het graan na de droging in de silo blijft opgeslagen. In Nederland beschikt men namelijk in het algemeen niet over silo's op het bedrijf, zoals in Engeland dikwijls wel het geval is.

Daar te lande propageert men sterk de zogenaamde "platform-drier" of zakkendroger. De droging moet dan geschieden in liggende speciaal geweven zakken van los weefsel (zogenaamde "Hessian bags"), die slechts voor drie-kwart mogen worden gevuld. Het droogproces verloopt zelfs over deze laagdikte nog onregelmatig, als gevolg waarvan de inhoud moet worden uitgestort.

Er moet bij deze werkwijze nogal wat worden verloond aan het afzakken en na het drogen wederom leegstorten, hetgeen deze methode weinig aantrekkelijk maakt voor Nederlandse omstandigheden.

In Nederland is de op een bedrijf normaal per seizoen te drogen hoeveelheid graan 30 - 50 ton groot; dit is te weinig om een speciale graandroger op de boerderij rendabel te doen zijn.

In deze publicatie zal daarom speciale aandacht worden besteed aan het drogen van losgestort graan in de schuur, bijvoorbeeld in een aardappelbewaarpplaats, waarvan er in Nederland vele aanwezig zijn.

Dit zal geschieden in aansluiting op het in de literatuurlijst sub 1 genoemde NaCoBrouw-boekje. Hierin werd het droogproces van granen van verschillende zijden belicht en werd een samenvatting gegeven van een aantal tot 1953 hier te lande verrichte proeven. Naast een overzicht van de literatuur (binnen- zowel als buitenlandse) tot 1953 werden richtlijnen gegeven voor het drogen van graan in de schuur.

In het navolgende zullen deze wat nader worden gespecificeerd. Ze betreffen de technische uitvoering en de kwaliteit van het product. Deze aspecten zijn voorlopig belangrijk en hebben te maken met de dimensionering van een installatie.

Voor het beoordelen van de economie van de droogwijze zal gewacht moeten worden totdat de methode op ruime schaal in de praktijk wordt toegepast.

I. De factoren, die uit een technologisch oogpunt bezien, van belang zijn bij het drogen van graan in de schuur

Deze zijn de volgende:

1. De laagdikte (in m).
2. Het volumegewicht van het te drogen graan (in  $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
3. Het aanvangsvochtgehalte (in %).
4. De doorgeblazen hoeveelheid lucht (in  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{uur}$ ).
5. De toestand van de aangezogen buitenlucht (temperatuur in  $^{\circ}\text{C}$  en relatieve vochtigheid in %).
6. De toegepaste temperatuursverhoging van de lucht (in  $^{\circ}\text{C}$ ).
7. Het gemiddeld gewenste eindvochtgehalte (in %).
8. De mate, waarin de drooglucht water opneemt (uit te drukken in  $\text{g}/\text{kg}$  dan wel in het aantal  $\text{m}^3$  lucht, nodig voor het opnemen van 1 kg water).
9. De meer of minder gelijkmatige droging van de laag.
10. Bij zaaigoed en brouwgerst het behoud van de kiemkracht, bij broodgraan het behoud van het bakvermogen.
11. De luchtweerstand van het graan, van belang met het oog op de keuze van de ventilator (in mm W.K. (waterkolom) per m laagdikte).

II. De hoeveelheid te verdampen water

Deze hoeveelheid hangt samen met de factoren, genoemd sub 1, 2, 3 en 7.

Stellen we het gewenste, gemiddelde vochtgehalte van granen na de droging veiligheidshalve op  $\pm 15\%$ , dan is in tabel 1 te zien hoeveel water er verdampt moet worden per 100 kg nat graan en in tabel 2 hoeveel er verdampt moet worden om 100 kg droog graan te verkrijgen.

TABEL 1. UIT 100 KG NAT MATERIAAL TE VERDAMPEN WATER BIJ DROGING TOT 15% VOCHTGEHALTE.

VOCHTGEHALTE NAT MATERIAAL %	PER 100 KG NAT TE VERDAMPEN IN KG	VOCHTGEHALTE NAT MATERIAAL %	PER 100 KG NAT TE VERDAMPEN IN KG
30	18	22	8
29	16	21	7
28	15	20	6
27	14	19	5
26	13	18	3
25	11	17	2
24	10	16	1
23	9	15	0



TABEL 2. HOEVEELHEID WATER IN KG, WELKE VERDAMPT MOET WORDEN OM 100 KG GEDROOGD MATERIAAL TE VERKRIJGEN (15 % VOCHTGEHALTE).

VOCHTGEHALTE NAT MATERIAAL %	PER 100 KG GEDROOGD PRODUCT TE VERDAMPEN IN KG	VOCHTGEHALTE NAT MATERIAAL %	PER 100 KG GEDROOGD PRODUCT TE VERDAMPEN IN KG
30	22	22	9
29	19	21	8
28	18	20	7
27	16	19	5
26	15	18	3
25	13	17	2
24	11	16	1
23	10	15	0

De hoeveelheid te verdampen water kan worden uitgedrukt per m<sup>2</sup> schuuroppervlak (voor zover beladen met de graanlaag). De luchthoeveelheid wordt namelijk eveneens uitgedrukt per m<sup>2</sup> schuuroppervlak. Een voorbeeld kan dit verduidelijken.

Gesteld, dat graan gedroogd moet worden met een watergehalte van 22 % en een volumegewicht van 750 kg/m<sup>3</sup>. Dit graan wordt bijvoorbeeld gedroogd in een laag van 1 m dik. Per m<sup>2</sup> ligt er dan 750 kg graan. Volgens tabel 1 moet er per 100 kg (bij 22 % vocht) 8 kg worden verdampt; per m<sup>2</sup> moet er dus  $\frac{750 \cdot 8}{100} = 60$  kg worden verdampt.

### III. De benodigde hoeveelheid lucht

Deze hoeveelheid hangt samen met de reeds eerder sub 1, 2, 3, 5, 6 en 7 genoemde factoren. Beschouwen we eerst de punten 5 en 6.

We nemen ter vaststelling van gemiddeld te verwachten waarden eenvoudigheidshalve aan, dat de aangezogen buitenlucht in het droogseizoen een druk heeft van 760 mm kwik en een constante waterdampspanning, groot 11 mm kwik. Bij deze spanning bevat de lucht dan 9,3 gram water per kg droge lucht.

Deze waarde stelt ten naaste bij het gemiddelde voor over een reeks van jaren in de maanden, waarin de oogst valt. Dit gemiddelde blijft gedurende het etmaal vrij constant. Echter kunnen op een gegeven tijdstip niet onbetekende afwijkingen van dit meteorologisch gemiddelde voorkomen, als gevolg waarvan de werkelijke droogduur van de berekende zal afwijken. Men dient dus steeds met enige speling in de droogduur rekening te houden.

Uit semi-technische droogproeven is de mate van verzadiging van de afgewerkte lucht gebleken bij het drogen van graanlagen van 1 m dik bij verschillende aanvangsvochtgehalten (lit. 9).

Uit deze gegevens zijn, onder bovengenoemde aanname, de waarden van tabel 3 te berekenen.





TABEL 3. HOEVEELHEID LUCHT IN M<sup>3</sup>, NODIG OM 1 KG WATER TE VERDAMPEN, BIJ DROGING VAN GRAAN MET VERSCHILLENDE AANVANGSVOCHTGEHALTEN EN BIJ VERSCHILLENDE LUCHTTEMPERATUREN, (GELDEND BIJ EEN GRAANLAAG VAN 1 M EN DIKKER, BIJ EEN DIKTE VAN 0,5 M DE WAARDEN MET 40 % VERHOGEN.)

AANVANGS- WATERGEHALTE GRAAN (%)	LUCHTTEMPERATUUR (°C)			
	35	30	25	20
25	160	210	300	530
20	170	230	360	1000
19	180	240	400	1400
18	190	260	450	2000
17	200	290	530	5000
16	220	310	600	-

Met de waarden van tabel 3 kan men in een bepaald geval becijferen, hoeveel m<sup>3</sup> lucht er nodig is. In het reeds eerder genoemde voorbeeld, waarbij de punten 1, 2, 3 en 7 behandeld werden, moest per m<sup>2</sup> oppervlak 60 kg water worden verdampt.

Nemen we nu aan, dat de lucht verwarmd wordt tot 25°C dan zal er, aangezien het aanvangsvochtgehalte in het voorbeeld 22 % was, volgens tabel 3 per kg te verdampen water + 335 m<sup>3</sup> lucht nodig zijn. Per m<sup>2</sup> schuuroppervlak moet 60 kg water worden verdampt, zodat dus per m<sup>2</sup> oppervlak 60 . 335 = 20100 m<sup>3</sup> lucht vereist wordt.

Stelt men de luchthoeveelheid nu op 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur, dan is de gemiddeld te verwachten droogduur  $\frac{20100}{300} = 67$  uur of iets minder dan 3 etmalen.

Men kan zich afvragen, waarom men de luchttemperatuur niet altijd hoog zal nemen om de droogduur te bekorten.

Deze kwestie hangt o.a. samen met de regelmatigheid van de droging. Het zal blijken, dat in het opvoeren van de temperatuur gevaren schuilen.

#### IV. De meer of minder gelijkmatige droging van de graanlaag

We komen hierbij op een zeer belangrijk punt, genoemd sub 9. Het drogen van graan in de schuur vindt, in vergelijking met het drogen in graandrogers, plaats in vrij dikke lagen. Het onderste graan in de laag komt steeds in aanraking met verse drooglucht en droogt meer uit naarmate de droogkracht van deze lucht groter is, met andere woorden, naar gelang de temperatuur hoger en de relatieve vochtigheid lager is. Als de droging lang genoeg duurt, zal het onderste graan een "evenwichts"-watergehalte aannemen, overeenkomend met de toestand van de drooglucht. Dit kon uit semi-technische proefnemingen (lit. 9) worden vastgesteld. Ook is gebleken, dat deze "evenwichts"-watergehalten vrijwel corresponderen met die, volgend uit de dampdrukisothermen van granen bij de desbetreffende temperatuur. De dampdrukisothermen van de verschillende graansoorten lopen niet zo heel veel uiteen. De temperaturen van de lucht bij het schuurdrogen evenmin. Daardoor kunnen we voor ons doel voor de verschillende relatieve luchtvochtigheden ten naaste bij de bijbehorende vochtigheden van het graan aangeven.

Nemen we wederom aan, dat de luchtdruk steeds 760 mm kwik blijft en het absolute vochtgehalte 9,3 gram/kg droge lucht.

Dit betekent, dat als de lucht tot verschillende temperaturen wordt verhit, deze relatieve vochtigheden zal aannemen volgens tabel 4, in welke tabel tevens de bijbehorende "evenwichts"-vochtgehalten van het graan zijn vermeld.

TABEL 4. TEMPERATUUR DROOGLUCHT, TE VERWACHTEN RELATIEVE VOCHTIGHEID (R.V.) EN "EVENWICHTS"-VOCHTGEHALTE GRAAN.

TEMPERATUUR DROOGLUCHT °C	R.V. %	"EVENWICHTS"- VOCHTGEHALTE GRAAN %	TEMPERATUUR DROOGLUCHT °C	R.V. %	"EVENWICHTS"- VOCHTGEHALTE GRAAN %
13	100	+ 26	27	41	+ 11
14	92	π 22	28	39	π 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 Å 2 % NAAR BOVEN OF NAAR BENEDEN AFWIJKEN.

Uit tabel 4 kan men aflezen, dat als men bijvoorbeeld een laag tarwe in de schuur droogt met lucht van 25°C, men de kans heeft, onder in de laag een droging te bereiken tot + 12 % vocht. Zou men lucht van 35°C toepassen, dan wordt onder in de laag een indroging verkregen tot + 9 % vocht.

Ter illustratie geven wij in tabel 5 enkele resultaten van semi-technische proeven (lit. 9), die op de kwestie van de vochtverdeling in de laag na de droging betrekking hebben.

TABEL 5. VOCHTVERDELING IN DE GRAANLAAG (+ 1 M DIK) NA DROGING, ZOALS GECONSTATEERD BIJ SEMI-TECHNISCHE PROEVEN OP HET GEBIED VAN GRAANDROGEN IN DE SCHUUR.

PROEFNUMMER	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GRAANSOORT	ROG-GE	ROG-GE	ROG-GE	ROG-GE	ROG-GE	GERST	GERST	HAYER	TARWE
LUCHTHOEVEELHEID (M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> /UUR)	125	125	118	200	500	260	275	200	118
LUCHTTEMPERATUUR (°C)	39	33	31	25	23	39	25	25	31
DROOGDUUR (ETM.)	2,5	3	9	8	1,75	1	2	2	9,5
AANVANGSVOCHTGEHALTE (%)	17,0	15,8	27,2	26,5	19,4	17,2	16,9	13,6	26,4
VOCHTGEHALTE IN DE LAAG NA DE DROGING									
BOVENSTE 1/5 DEEL (%)	17,5	--	21,0	17,7	15,9	17,2	15,6	13,2	22,0
VOLGENDE " " "	17,0	15,5	15,1	14,0	14,7	17,1	14,6	12,0	15,0
MIDDENSTE " " "	14,5	15,0	9,7	12,2	13,5	14,6	13,8	11,9	9,6
VOLGENDE " " "	10,0	11,6	9,3	11,8	12,8	11,3	12,9	11,5	8,8
ONDERSTE " " "	9,0	9,2	9,0	11,7	12,3	9,8	12,4	11,0	8,5
GEMIDDELD VOCHTGEHALTE IN DE LAAG NA DROGING (%)	13,6	12,8	12,8	13,5	13,8	14,0	13,9	11,9	12,8
GEMIDDELD ONDER IN DE LAAG TE VERWACHTEN VOCHTGEHALTE VOLGENS TABEL 4	8,5	9,5	10	12	12	8,5	12	12	10

Bij kleine luchthoeveelheden en hogere temperaturen krijgt men een zeer onregelmatige droging in de laag. (Dit heeft consequenties ten aanzien van silo-droging met verwarmde lucht!)

Men kan concluderen, dat men een vergroting van de capaciteit niet in de eerste plaats moet zoeken in een verhoging van de luchttemperatuur, omdat men de laag dan ten dele veel te ver indroogt. Wil men de capaciteit verhogen, dan is het toepassen van een grotere luchthoeveelheid aangewezen.

Het af en toe omwerken van de laag tijdens de droging zou een verbetering betekenen. Deze maatregel is evenwel niet eenvoudig toe te passen. Meer succes is te verwachten van het opbouwen van de laag uit 2 of 3 dunne lagen, die achtereenvolgens opgebracht worden als de voorgaande zo goed als droog is.

#### V. De kiemkracht van het graan na droging in de schuur

Deze kwestie werd genoemd sub 10.

Uit de reeds eerder genoemde semi-technische proeven (lit.9) is gebleken, dat een achteruitgang van de kiemkracht kan optreden in het bovenste deel van de laag als de droogduur lang is, het-



geen vooral voorkomt bij hoge aanvangsvochtgehalten.

Ter illustratie geven wij tabel 6, waarin de resultaten zijn opgenomen van kiemkrachtbepalingen, nadat de droging vrij ver (verder dan in de praktijk nodig is) was voortgezet.

TABEL 6. KIEMKRACHT IN DE VERSCHILLENDE DELEN VAN DE LAAG NA HET DROGEN, ZOALS GECONSTATEERD BIJ SEMI-TECHNISCHE DROOGPROEVEN (LAAGDIKTE  $\pm 1$  M).

PROEFNUMMER	1	2	4	5	6	9
GRAANSOORT	ROGGE	ROGGE	ROGGE	ROGGE	GERST	TARWE
LUCHTHOEVEELHEID M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> /UUR	125	125	200	500	260	118
LUCHTTEMPERATUUR °C	39	33	25	23	39	31
DROOGDUUR ETM.	4,8	4,2	8	2,8	4	12
AANVANGSWATERGEHALTE %	17,0	15,8	26,5	19,4	17,2	26,4
EINDWATERGEHALTE %	10,2	11,7	13,6	12,2	8,5	9,5
KIEMKRACHT IN % NA HET DROGEN						
OP 90 CM HOOGTE	96	-	58	91	99	17
" 70 " "	96	97	59	94	99	12
" 50 " "	93	95	62	91	99	18
" 30 " "	96	97	79	90	99	26
" 10 " "	93	96	82	63-35 <sup>x</sup> )	98	38

x) 35 % ABNORMALE KIEMEN.

Bij het drogen van vochtig zaaigoed of vochtige brouwgerst zal men liefst de laag niet dikker moeten nemen dan 0,5 m, de luchttemperatuur niet hoger houden dan 25°C en de luchthoeveelheid groot nemen (bijvoorbeeld 300 - 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur).

Het onderzoek inzake het behoud van de kiemkracht bij graan-droging in de schuur zal moeten worden voortgezet. De genoemde resultaten van oriënterende proeven spreken evenwel een waar-schuwend taal.

In dit verband kan nog worden opgemerkt, dat volgens Engelse literatuur bij silo-droging 20 % als aanvangsvochtgehalte de maximale waarde is.

Wij zouden deze grens voor het drogen in de schuur voorlopig op 22 % willen stellen, tenzij de luchthoeveelheid uitzonderlijk hoog is.

## VI. De luchtweerstand van het graan

We komen hiermede op de laatstgenoemde factor (sub 11). Men dient de te verwachten luchtweerstand te weten met het oog op de juiste keuze van de benodigde ventilator. De weerstand hangt o.a. samen met de luchthoeveelheid. Uit proeven (lit. 9) is af te leiden, hoe de luchtweerstand zich ten naaste bij zal

instellen bij het drogen van graanlagen. Na taxatie van de weerstand van de leidingen, de vloer enz. kan men tabel 7 opstellen.

TABEL 7. TEN NAASTE BIJ TE VERWACHTEN LUCHTWEERSTANDEN BIJ HET DROGEN VAN GRAAN IN DE SCHUUR.

GRAANSOORT	LUCHTHOE- VEELHEID M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> UUR	LUCHTWEERSTAND MM W.K.		
		PER 1 M DIKKE LAAG	VOOR LEIDINGEN, VLOER ETC., (GETAXEERD)	TOTAAL VOOR 1 M GRAAN
TARWE-ROGGE	100	+ 6	+ 3	+ 9
" "	200	π 15	π 8	π 23
" "	300	" 30	" 15	" 45
" "	400	" 50	" 27	" 77
" "	500	" 73	" 33	" 106
HAVER-GERST	100	" 4	" 3	" 7
" "	200	" 10	" 8	" 18
" "	300	" 20	" 15	" 35
" "	400	" 35	" 27	" 62
" "	500	" 50	" 33	" 83

BIJ EEN TARWELAAG VAN B.V. 0,5 M DIK EN BIJ 300 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/UUR WORDT DE WEERSTAND 0,5 (30) + 15 = ± 30 MM W.K.

BIJ EEN LAAG HAVER VAN B.V. 1,5 M DIK EN BIJ 200 M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>/UUR WORDT DE WEERSTAND 1,5 (10) + 8 = ± 23 MM W.K.

Wanneer men reeds over een ventilator beschikt, kan men met behulp van bovengenoemde tabel de juiste laagdikte bepalen. Enkele voorbeelden zullen een en ander verduidelijken.

a. De bepaling van de laagdikte bij een bestaande ventilator.

Men beschikt over een cel van een aardappelbewaarpplaats met een oppervlak groot 50 m<sup>2</sup>, bediend door een schroefventilator, waarvan de gegevens volgens de fabrikant als volgt luiden:

BIJ 1450 TOEREN	Pst	3	6	9	12	15	18	21
	M <sup>3</sup> /MIN. M <sup>3</sup> /UUR		206 12360	200 12000	192 11520	186 11160	178 10680	170 10200

BIJ 1450 TOEREN	Pst	24	27	30	35	40	45
	M <sup>3</sup> /MIN. M <sup>3</sup> /UUR		146 8760	128 7680	108 6480	85 5100	65 3900

Hieruit is de volgende opstelling te berekenen:

Pst	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	35	40	45
M <sup>3</sup> /M <sup>2</sup> /UUR (BIJ 50 M <sup>2</sup> )	247	240	230	223	213	204	192	175	154	130	102	78	49

Men ziet, dat bij deze ventilator de totale luchtweerstand niet veel meer mag bedragen dan 20 mm W.K., anders wordt de luchthoeveelheid te klein.

Kiezen we een weerstand van 18 mm en een luchthoeveelheid van + 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h. Na aftrek van de weerstand voor de leidingen enz. (zie tabel 7) blijft er 18 - 8 = 10 mm W.K. over voor de laag. Deze laag kan dan bij tarwe dus slechts  $\pm \frac{10}{15} \times 1 \text{ m} = 65 \text{ cm}$  dik zijn. Bij gerst zou een laag van 1 m mogelijk zijn (zie tabel 7).

b. De keuze van een ventilator in een bepaald geval.

Men beschikt wederom over een cel met een oppervlak van 50 m<sup>2</sup>. Men wenst hierin brouwgerst te drogen. Ten einde de kiemkracht op peil te houden, werkt men met een temperatuur van maximaal 25°C, met een hoge lichtsnelheid, b.v. 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur en een dunne laag, b.v. 0,5 m.

De luchtweerstand wordt bij 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur volgens tabel 7 bij een laagdikte van 0,5 m  $\frac{1}{2} \cdot 35 + 27 = 45 \text{ mm W.K.}$

De benodigde ventilator moet dus normaal  $50 \cdot 350 = 17500 \text{ m}^3$  per uur kunnen verzetten bij 45 mm W.K. Deze eisen dienen te worden gesteld bij de aanschaffing van de ventilator.

VII. De warmtebehoefte

Deze hangt af van de luchthoeveelheid en van de temperatuurverhoging. Rekening houdende met een nuttig effect van 80 % kan men tabel 8 opstellen.

TABEL 8. OLIEVERBRUIK BIJ VERSCHILLENDE TEMPERATUURVERHO-  
GINGEN EN LUCHTHOEVEELHEDEN.

TEMPERATUUR- VERHOOGING °C	LUCHTHOE- VEELHEID M <sup>3</sup> /UUR	OLIEVER- BRUIK LITER/UUR	TEMPERATUUR- VERHOOGING °C	LUCHTHOE- VEELHEID M <sup>3</sup> /UUR	OLIEVER- BRUIK LITER/UUR
5	} 6000	1,5	5	} 24000	5,5
10		2,8	10		11,0
15		4,1	15		16,5
5	} 12000	2,8	5	} 30000	6,8
10		5,5	10		13,5
15		8,3	15		20,2
5	} 18000	4,1			
10		8,2			
15		12,3			

## VIII. Practijkvoorbeelden

Tot slot worden hieronder twee praktijkvoorbeelden gegeven.

### A. Drogen in een bestaande aardappelbewaarpplaats.

#### Gegevens

Bij een landbouwcoöperatie moet per seizoen 500 ton tarwe worden gedroogd. Men wil deze hoeveelheid in 24 dagen drogen. Men houdt rekening met een maximaal vochtgehalte van 22 %. Men heeft ter beschikking een aardappelbewaarpplaats met 8 ventilatoren; elke ventilator bedient 60 m<sup>2</sup>. Per ventilator kan 12000 m<sup>3</sup> lucht per uur worden verzet bij 15 mm W.K.

Men wenst zo gelijkmatig mogelijk te drogen en de kiemkracht zo goed mogelijk op peil te houden. De luchttemperatuur wordt aangehouden op maximaal 25°C, zodat het graan plaatselijk niet verder indroogt dan tot ± 12 % (tabel 4).

#### Uitwerking

##### 1. Laagdikte

De ventilatoren kunnen slechts een geringe druk overwinnen. De laag kan dus maar zeer dun worden genomen. Bij 15 mm geeft de ventilator  $\frac{12000}{60} = 200$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur. Bij 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur moet men 60 volgens tabel 7 + 8 mm W.K. rekenen voor de extra weerstanden. Voor de laag zelf blijft dus 7 mm over. Bij een laag van 1 m dikte is de weerstand 15 mm W.K. (bij 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur). De laag kan dus slechts  $\frac{7}{15} \cdot 1 = \pm 0,5$  m dik worden genomen.

Hoewel dit voor een regelmatige droging gunstig is, is de luchthoeveelheid van 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur hiervoor eigenlijk te klein.

##### 2. De droogduur

Stellen we het volumegewicht op 700 kg/m<sup>3</sup>, dan ligt er per m<sup>2</sup> bij een laagdikte van 0,5 m:  $0,5 \cdot 700 = 350$  kg tarwe.

Volgens tabel 1 moet er bij 22 % vocht 8 kg per 100 kg verdampt worden; per m<sup>2</sup> dus  $\frac{350}{100} \cdot 8 = 28$  kg.

Volgens tabel 3 is er bij 22 % aanvangsvochtgehalte en bij een luchttemperatuur van 25°C ongeveer 336 m<sup>3</sup> lucht nodig om 1 kg water te verdampen, als de laag 1 m dik is. Bij 0,5 m als dikte verhogen we de waarde met 40 %; we krijgen dan ± 470 m<sup>3</sup>/kg.

Per m<sup>2</sup> oppervlak is er voor 28 kg waterverdamping dus  $28 \cdot 470 = \pm 13000$  m<sup>3</sup> lucht nodig. De ventilator levert 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur. De droogduur is dus  $\frac{13000}{200} = 65$  uur.

De ventilatoren zijn eigenlijk minder geschikt; de droogduur wordt iets te lang.



### 3. Benodigd aantal ventilatoren

Een hoeveelheid van  $60 \cdot 0,5 \cdot 700 = 21000$  kg droogt in 65 uur. Inclusief in- en uithalen rond 21000 kg in  $3\frac{1}{4}$  dagen of 6500 kg nat per dag leverende 6000 kg gedroogd product per dag of 144 ton in 24 dagen.

Er zijn dus ongeveer 4 ventilatoren, elk met een oppervlak van  $60 \text{ m}^2$ , nodig voor het drogen van 500 ton in 24 dagen (3 ventilatoren is aan de krappe kant).

### 4. Olieverbruik en aansluiting verhitser

Per ventilator wordt geleverd  $12000 \text{ m}^3$  lucht per uur. De temperatuurverhoging is op  $+ 6\frac{1}{2}^\circ\text{C}$  te stellen.

Volgens tabel 8 is hiervoor nodig 3,7 liter olie per uur.

Het komt dus zo uit, dat bijvoorbeeld 1 Prior brander twee ventilatoren tegelijk moet bedienen. Deze Prior (van 7 liter per uur) kan dan op zijn maximale capaciteit werken.

Er dient een broekstuk te worden aangesloten zodanig, dat de ventilatoren elk de helft van de warme gassen van de Prior krijgen. Men dient een verstelbare opening in het kanaal achter de Prior aan te brengen, zodat tevens buitenlucht als menglucht door de ventilatoren wordt aangezogen. Doet men dit niet, dan moet alle lucht door de Prior stromen en ontstaat er een te grote onderdruk. Dit is schadelijk, zowel voor de goede werking van de brander als voor de optimale luchtleverantie door de ventilatoren.

Voor de 4 ventilatoren kan men dus volstaan met 2 stuks Prior verhitters, elk van 7 - 8 liter olieconsumptie per uur.

### 5. Algemene opmerking

Aangezien men in dit voorbeeld ventilatoren over heeft, zal men goed doen, binnenkomend graan, voordat het aan de beurt is om gedroogd te worden, met onverwarmde lucht te ventileren. Voordat het met verwarmde lucht gedroogd wordt, zou het dan van de ene cel in de andere moeten worden "omgezet". Dit bevordert de regelmaat van de droging.

## B. De opzet van een geheel nieuwe installatie voor één bedrijf.

### Gegevens

Op één bedrijf moet 40 ton graan met 20 % vocht in 14 dagen worden gedroogd. Volumegewicht nat  $750 \text{ kg/m}^3$ . Men wenst zo weinig mogelijk risico te lopen op enigerlei beschadiging en wenst dus voorzichtig te drogen.

### Uitwerking

#### 1. Keuze droogomstandigheden

De temperatuur van de buitenlucht wordt aangenomen op  $18^\circ\text{C}$ . De temperatuurverhoging van de buitenlucht wordt gesteld op  $7^\circ\text{C}$ , de laagdikte op  $0,5 \text{ m}$ , de luchthoeveelheid wordt ruim genomen, nl. op  $350 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ .

2. Berekening van de droogduur

Per m<sup>2</sup> droogvloer ligt  $1 \cdot 0,5 \cdot 750 = 375$  kg nat graan, waaruit volgens tabel 1 bij 20 % vocht  $\frac{375}{100} \cdot 6 = 22,5$  kg water moet worden verdampt gedurende één droging.

De luchthoeveelheid, die nodig is voor het verdampen van deze 22,5 kg water, kan gevonden worden met behulp van tabel 3. Nemen we aan, dat de buitenluchttemperatuur gemiddeld 18°C is, dan is de temperatuur van de drooglucht  $18 + 7 = 25$ °C. Bij 25°C en 20 % vocht is volgens tabel 3 360 m<sup>3</sup> lucht nodig per kg waterverdamping (bij 1 m laagdikte). Tellen we hierbij, in verband met de laagdikte van slechts 0,5 m, 40 % bij, dan wordt de waarde rond 500 m<sup>3</sup>/kg. Totaal per droging is dus nodig  $22,5 \cdot 500 = 11300$  m<sup>3</sup> lucht per m<sup>2</sup> vloeroppervlak. We hadden de luchthoeveelheid op 350 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur gesteld; de netto droogduur wordt dus  $\frac{11300}{350} = 32$  uur.

Inclusief vullen en leegmaken rekenen we 2 etmalen.

3. Berekening van de grootte van de droogvloer

De oogst moet in 14 dagen gedroogd zijn. Er kunnen dus  $\frac{14}{2} = 7$  drogingen worden verricht. Per droging betekent dit  $\frac{40}{7} =$  rond 6 ton nat graan.

Per m<sup>2</sup> ligt 375 kg nat graan; het benodigde aantal m<sup>2</sup> vloeroppervlak is dus  $\frac{6000}{375} = 16$  m<sup>2</sup>.

4. De benodigde ventilator

De ventilator moet per uur  $16 \cdot 350 = 5600$  m<sup>3</sup> kunnen verzetten.

Volgens tabel 7 is de weerstand van 0,5 m tarwe bij  $350$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur  $\frac{1}{2}(30+50) = 20$  mm W.K.

De extra weerstand voor leidingen, vloer etc. is bij  $350$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/uur ongeveer  $\frac{15 + 27}{2} = 21$  mm W.K.

De ventilator moet de 5600 m<sup>3</sup>/uur dus leveren bij een tegendruk van  $20 + 21 = 41$  mm W.K. Met deze gegevens kan de ventilator besteld worden.

5. De benodigde verhitter

Uit tabel 8 is het olieconsumptie te bepalen. Een luchthoeveelheid, groot 5600 m<sup>3</sup>/uur moet 7°C verwarmd worden. Het olieconsumptie is dus ongeveer 2,1 liter per uur.

Wageningen, Juni 1954.

Literatuur over het kunstmatig drogen van akkerbouwproducten  
op het bedrijf

1. A.Th.Kortenhorst, Ventileren en langzaam drogen van  
Dr C.Kramer, graan.  
Ir B.G.Oude Ophuis, Mededeling van het Nationaal  
Ir M.Sanders, Comite voor Brouwgerst 1953-20.  
Prof.ir J.J.I.Sprenger en (met 13 verwijzingen naar binnen-  
Ir W.Wilten. en buitenlandse literatuur)  
(Verkrijgbaar bij de Secretaris van het NaCoBrouw, Dr H.van Veld-  
huizen, p/a N.V. Brouwerij d'Oranjeboom, Rotterdam-Z.)
2. Het kunstmatig drogen van landbouwproducten.  
Uitgave van de Vereniging voor Bedrijfsvoorlichting  
"Wieringermeer".  
Samengesteld door het Rijkslandbouwconsulentschap voor  
Noordelijk N-Holland te Schagen.
3. Droging van landbouwproducten met de Prior oogstdroger.  
Brochure van de vervaardigers en verkopers van de Prior  
luchtverhitters.
4. Landbouwkundige onderzoekingen 1951-1953.  
Uitgave van de Vereniging voor Bedrijfsvoorlichting in de  
Noordoostpolder.
5. Verslag van het Landbouwkundig Onderzoek in Noordelijk  
Groningen over het jaar 1953.
6. Landbouwverslag Noord-Holland 1952/53.
7. J.Kreyger. Het drogen en bewaren van zaaizaden.  
(Droogtechnisch Laborato- "Zaadbelangen", 8e jaarg., no.1 en  
rium C.I.L.O., Wagenin- 2 (15 en 30 Jan.'54).  
gen.) (Bibl. C.I.L.O., Wageningen)
8. Prof.dr ir H.A.Leniger en Onderzoek over het ventileren van  
A.J.van der Poel. vochtige zaden met weinig of niet ver-  
(Laboratorium voor Tech- warmde lucht.  
nologie der Landbouwho-  
geschool, Wageningen.) Publicatie van het Droogtechnisch  
Laboratorium, no.49.  
(Bibl. C.I.L.O., Wageningen)
9. J.Kreyger. Semi-technische proeven op het gebied  
van het drogen in de schuur (eerste  
serie: met granen).  
Publicatie van het Droogtechnisch  
Laboratorium, no.50.  
(Bibl. C.I.L.O., Wageningen)