
BEWARING

Inleiding

Bij de oogst verkeert de zetmeelaardappel, mits onbeschadigd, doorgaans in een optimale toestand. Tijdens de bewaring zal er zowel verlies van gewicht als van kwaliteit optreden. Bij een goede bewaring kunnen deze verliezen echter sterk worden beperkt.

De aardappelknol is een levend organisme, dat voor 75 - 80% uit water bestaat. Tijdens de bewaring verliezen knollen gewicht als gevolg van vochtverlies (verdamping), verlies van droge stof (ademhaling) en door aantasting van ziekten.

Verdamping

Aardappelen verliezen vocht door verdamping, afhankelijk van:

- de dampdoorlatendheid van de schil;
- de producttemperatuur in combinatie met de relatieve vochtigheid en de temperatuur van de omgevingslucht;
- de aanwezigheid van kiemen.

De vochtdoorlaatbaarheid van de schil van een onrijpe knol is veel groter dan die van een goed afgerijpte knol. Nog groter is het vochtverlies dat optreedt via wonden en kiemen. De hoeveelheid vocht, die per eenheid van oppervlakte verloren gaat via schil, kiemen en wonden, verhoudt zich als 1:100:300.

Figuur 13. Ademhalingssnelheid en warmteproductie van aardappelknollen in relatie tot de temperatuur (naar Burton, 1989).

Naarmate de relatieve vochtigheid van de omgevingslucht lager is, neemt het vochtverlies van de knollen toe. De relatieve vochtigheid geeft de hoeveelheid waterdamp in de lucht aan als percentage van de maximale hoeveelheid waterdamp, die de lucht bij die temperatuur kan bevatten. Daarom wordt voor de koeling van aardappelen bij voorkeur lucht gebruikt met een relatieve vochtigheid die zo dicht mogelijk bij de 100% ligt. Voor zetmeelaardappelen vormt enig vochtverlies van de knollen echter geen probleem.

De gewichtsverliezen van onbeschadigde knollen tijdens de bewaring in een met buitenlucht gekoelde bewaarplaats, bedragen globaal gedurende de eerste maand circa 1 - 3%, afhankelijk van de schildichtheid, en daarna 0,5 - 0,6% per maand. Ook rasverschillen spelen hierbij een rol.

Ademhaling

Voor het op gang houden van zijn levensprocessen heeft de knol energie nodig, die vrijkomt door de verademing van suikers. Hiervoor is zuurstof nodig, terwijl er CO₂, water en warmte vrijkomen. De ademhalingsactiviteit van aardappelen is het laagst bij een temperatuur van 5 - 7°C en loopt zowel bij hogere als bij lagere temperatuur op (figuur 13). Zo is de ademhalingsintensiteit bij 0°C en 20°C ruim het dubbele van die bij 6°C. Onrijpe en beschadigde knollen hebben een veel grotere ademhalingsintensiteit dan rijpe, onbeschadigde aardappelen. Als onrijpe knollen (pootgoed) worden geoogst bij temperaturen van circa 25°C en hoger dan kunnen in de bewaarplaats bij onvoldoende luchtverversing zwarte harten ontstaan als gevolg van zuurstofgebrek.

Schimmel- en bacterieziekten

Als met schimmel- of bacterieziekten besmette knollen in een partij voorkomen, kan dit tot flinke verliezen leiden als gevolg van rot. Dit

geldt bijvoorbeeld voor partijen met 'jong ziek' (Phytophthora), die tijdens de bewaring kunnen gaan rotten als niet snel genoeg wordt gedroogd. Natrot als gevolg van een besmetting met bacterieziekten kan zich tijdens de bewaring sterk uitbreiden. Een besmetting met Fusarium kan leiden tot droogrot. Het ontstaan en de uitbreiding van schimmel- en bacterieziekten kan worden beperkt door:

- het voorkómen van knolbeschadiging bij de oogst; veel bewaarziekten dringen de knol via wonden binnen;
- een snelle droging na binnenbrengen in de bewaarplaats of kuil en drooghouden van de partij gedurende de bewaarperiode;
- een goede en snelle wondheling;
- een zo laag mogelijke bewaartemperatuur.

Drogen van aardappelen

Een gezonde partij zetmeelaardappelen die onder droge omstandigheden is geoogst, heeft niet speciaal te worden gedroogd. Dit is wel het geval als aardappelen met veel natte grond worden ingeschuurd of als 'jong ziek' of natrot in de partij voorkomen. Partijen zetmeelaardappelen met 'jong ziek' of (nat) rot moeten bij voorkeur niet worden opgeslagen, maar kunnen beter direct worden afgezet.

Wanneer is buitenlucht drogend?

1. De temperatuur van de lucht is lager dan die van de aardappelen.

Lucht met een lagere temperatuur dan het product droogt altijd, ook als deze lucht met waterdamp is verzadigd en dus een relatieve vochtigheid heeft van 100%. Als lucht met een relatieve luchtvochtigheid van 100% en een temperatuur van 10°C door aardappelen met een temperatuur van 12°C wordt gevoerd, wordt de lucht opge-

Tabel 2. Maximaal te verwachten temperatuurverschillen in de tijdschillen rond de draagarm van relatieve vochtigheid (nauwkeurigheidboek door de Afdeling van Dusseldorp 1989).

hardtopple- temperatuur in °C	relatieve luchtvochtigheid in procenten																	
	4	5	6	7	8,3	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3	93	87	81	76	71,4	66	62	58	54	50	47	44	39	36,6	344,032	304,4	28	
4	+	93	87	81	76,6	71	67	62	58	54	50	47	42	4,239	364,634	325,0	30	
5	+	+	93	87	81,8	76	71	66	62	58	54	50	44	4,42	394,936	345,4	32	
6	+	+	+	93	87,9	81	76	71	66	62	58	54	47	4,815	425,240	375,8	35	
7	+	+	+	+	93,0	87	81,6	76	71	66	62	59	51	5,148	457,542	406,2	37	
8	+	+	+	+	2,1	93	87,8	81	76	72	67	62	54	5,51	486,145	426,8	40	
9	+	+	+	+	2,2	+	93	87	81	76	72	67	59	5,55	516,548	467,2	43	
10	+	+	+	+	2,4	+	3,3	93	87	82	76	72	63	6,259	557,052	497,6	46	
11	+	+	+	+	2,5	+	3,5	+	4,3	87	82	77	67	6,863	597,555	528,2	49	
12	+	+	+	+	2,6	+	3,6	+	4,4	93	87	82	72	7,268	638,059	568,8	53	
13	+	+	+	+	2,8	+	3,8	+	4,8	+	5,8	87	77	7,872	688,464	609,4	56	
14	+	+	+	+	3,0	+	4,0	+	5,0	+	6,1	93	82	8,277	729,268	640,0	60	
15	+	+	+	+	3,2	+	4,4	+	5,4	+	6,5	+	7,93	88,8,82	779,872	681,0	64	
16	+	+	+	+	3,4	+	4,6	+	5,8	+	7,0	+	8,0	93,9,288	830,477	721,5	68	
17	+	+	+	+	3,7	+	4,8	+	6,0	+	7,4	+	8,6	+	9,03	881,083	772,1	73
18	+	+	+	+	3,8	+	5,2	+	6,5	+	7,9	+	9,2	+10,5	931,888	833,0	78	
19	+	+	+	+	4,2	+	5,5	+	7,0	+	8,4	+	9,8	+11,2	+2,593	883,8	83	
20	+	+	+	+	4,4	+	5,9	+	7,4	+	9,0	+	10,5	+12,0	+13,4	944,6	88	
21	betekent dat er geventileerd mag worden, ongeacht de relatieve vochtigheid van de buitenlucht																	
22					4,6		6,1		8,0		9,6		11,2		14,2		15,6	
23					5,0		6,6		8,4		10,2		11,8		13,6		16,8	
24					5,2		7,0		9,0		10,8		12,5		14,4		17,8	
25					5,8		7,5		9,6		11,6		13,4		15,2		18,9	
					6,0		8,0		10,1		12,2		14,2		16,2		20,0	

gewarmd. De lucht die bovenuit de hoop komt, heeft dan een temperatuur van 12°C. Daar warmere lucht meer vocht kan opnemen dan koude lucht (tabel 24) zal droging optreden, zoals uit onderstaand voorbeeld blijkt.

Voorbeeld: Bij 10°C kan lucht maximaal 7,6 gram per m³ waterdamp opnemen en bij 12°C maximaal 8,8 gram per m³. Als de lucht tijdens haar gang door de partij wordt opgewarmd van 10 tot 12°C, zal per m³ ingeblazen lucht zelfs bij een relatieve luchtvochtigheid van de lucht van 100% toch nog 8,8 - 7,6 = 1,2 gram vocht wor-

den afgevoerd.

Naarmate de relatieve vochtigheid van de ingeblazen lucht lager is, zal het drogend vermogen van de lucht groter zijn.

2. De temperatuur van de lucht is hoger dan die van de aardappelen.

Als de temperatuur van de ingeblazen lucht hoger is dan die van de aardappelen is soms wel en soms geen droging mogelijk. Dit hangt af van de dauwpunttemperatuur van de ingeblazen lucht. (De dauwpunttemperatuur is de temperatuur waar-

bij waterdamp in de lucht begint te condenseren als diezelfde lucht wordt afgekoeld.) Bij welke temperatuur het dauwpunt wordt bereikt, hangt af van de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de lucht. Als de dauwpunttemperatuur van de lucht hoger is dan de temperatuur van de aardappelen, zal bij ventileren waterdamp op de aardappelen neerslaan en wordt het product dus natter. Drogend ventileren is dan ook alleen mogelijk als de dauwpunttemperatuur van de lucht lager is dan de temperatuur van de aardappelen. Voor een drogend effect van betekenis moet de dauwpunttemperatuur tenminste 2°C lager zijn dan de producttemperatuur. Beschikt men niet over de dauwtemperatuur, maar over de relatieve vochtigheid van de lucht,

dan kan met behulp van tabel 25 worden vastgesteld of droging bij een bepaalde combinatie van lucht- en producttemperatuur mogelijk is.

Voorbeeld: De luchttemperatuur is 18°C, en de producttemperatuur 15°C. Uit tabel 25 kan worden afgelezen, dat de lucht een drogend effect zal hebben bij een relatieve luchtvochtigheid van 82% of lager.

Koude nachten benutten om te drogen?

Uit tabel 25 kan worden afgeleid, dat het drogend effect van lucht die kouder is dan het product, groter is naarmate het verschil tussen lucht- en producttemperatuur groter is. Het drogend ventileren met lucht die veel kouder is dan het product heeft echter het nadeel dat ook de producttemperatuur flink gaat dalen. Dit is zowel een gevolg van de lagere luchttemperatuur als van de verdamping van vocht. Daardoor zal het bijvoorbeeld overdag moeilijker worden om te drogen met lucht die warmer is dan het product.

Voorbeeld: Als de producttemperatuur bij-

voorbeeld in september al gezakt is tot 10°C, moet de relatieve luchtvochtigheid van de lucht met een temperatuur van 18°C al lager zijn dan 59% om drogend te kunnen ventileren (tabel 25). Zulke lage waarden voor de relatieve luchtvochtigheid treden in de herfst zelden op. Zou daarentegen de producttemperatuur 15°C zijn dan kan met lucht van 18°C al drogend worden geventileerd bij een relatieve luchtvochtigheid van maximaal 82%.

Dit voorbeeld maakt duidelijk, dat het belangrijk is om de producttemperatuur relatief hoog, op circa 15°C, te houden om efficiënter te kunnen blijven drogen.

Lucht opwarmen?

Indien vanwege de aanwezigheid van rot of 'jong ziek' in een partij, snel drogen noodzakelijk is, moet worden geprobeerd om - zo mogelijk - dag en nacht drogend te ventileren. Zoals hierboven is duidelijk gemaakt, kan dit streven gedwarsboemd worden door een te ver dalende producttemperatuur. Dit kan, znodig, worden voorkomen door de koude nachtlucht enkele graden op te warmen. Hierdoor wordt tevens het drogend effect van de lucht nog versterkt. Laat in de herfst, bijvoorbeeld eind oktober, is drogen veel lastiger, omdat de temperatuur dan lager is (de lucht kan daardoor minder waterdamp bevatten) en de dauwpunttemperaturen doorgaans relatief hoog zijn. Daardoor zijn er per etmaal dikwijls maar enkele uren beschikbaar, die drogend ventileren toelaten. Ook dan kan het 's nachts opwarmen uitkomst bieden, mits de dauwpunttemperatuur van de buitenlucht lager is dan die van de aardappelen.

Berekening kachelcapaciteit

Het opwarmen van lucht met 1°C vraagt per m³ een vermogen van 0,35 Wh. Stel dat we de ventilatielucht maximaal 3°C willen opwarmen, bij een ventilatiecapaciteit van bijvoorbeeld 70.000 m³ per uur. De benodigde ka-

chelcapaciteit is dan netto $3 \times 70.000 \times 0,35 = 73,5$ kW of 63.000 kcal per uur.

Wanneer droog?

Tenzij over goede vochtmeetapparatuur kan worden beschikt, is het vrij lastig om vast te stellen of een partij droog is. Een praktische methode is het 'graven' van een gat bovenin de hoop. Als de knollen en de aanhangende grond op 30 - 40 cm onder de oppervlakte winddroog aanvoelen, kan bij een gezonde partij met drogen worden gestopt. Ook als de temperatuur van de uitredende lucht gelijk is aan die van de inblaaslucht is de partij droog. In een partij waarin 'jong ziek', natrot of 'waterzakken' voorkomen, is langer drogen, tot de afwijkende knollen zijn ingedroogd, noodzakelijk of zal het drogen van tijd tot tijd moeten worden hervat. Goede (dagelijkse) controle van dergelijke partijen is essentieel. Enkele wenken voor het drogen van aardappelen:

- bij risicopartijen moet met drogen worden begonnen zodra de eerste aardappelen in de bewaarplaats liggen;
- de storthoogte van moeilijk te drogen partijen dient te worden beperkt; dit kan echter alleen als een volledige roostervloer aanwezig is of als de afstand tussen de ventilatiekanalen kan worden aangepast (de afstand van de ventilatiekanalen moet 0,8 x de storthoogte zijn);
- met het oog op een goede luchtverdeling moet de storthoogte overal in de bewaarplaats gelijk zijn;
- de aangezogen lucht mag zich niet kunnen vermengen met afgewerkte lucht;
- met het oog op (brand)veiligheid moeten kachels bij voorkeur buiten worden geplaatst;
- de dauwpunttemperatuur en de relatieve vochtigheid van de buitenlucht maken deel uit van het regionale weerbericht;
- de lucht niet meer dan 3°C opwarmen;
- de temperatuur van de inblaaslucht mag

niet hoger zijn dan 20°C.

Wondheling

Tijdens de oogst en het binnenbrengen van aardappelen in de bewaarplaats treden altijd in meer of mindere mate beschadigingen op in de vorm van ontvellingen en vleeswonden. Een snelle heling van deze wonden verspert de weg voor ziekten als Fusarium en beperkt gewichtsverliezen. Bij de wondheling wordt een kurklaagje gevormd, waardoor de wond wordt afgedekt. Deze verkurking verloopt sneller naarmate de temperatuur in het traject 3 - 20°C hoger is. Een hoge relatieve vochtigheid (80 - 95%) versnelt het proces. Als knollen nat zijn, treedt echter geen wondheling op. In dat geval en bij aanwezigheid van 'jong ziek', natrot of 'waterzakken' zal de partij eerst moeten worden gedroogd alvorens met de wondheling kan worden begonnen.

Een volledige wondheling vraagt bij een optimale luchtvochtigheid drie tot zes weken bij een temperatuur van 5°C, één tot twee weken bij 10°C en drie tot zes dagen bij 20°C. Een hoge luchtvochtigheid kan worden bereikt door heel weinig te ventileren, bijvoorbeeld enkele keren per dag een paar minuten om de lucht te verversen en daarmee te voorkomen dat het CO₂-gehalte in de bewaaratmosfeer te veel oploopt. Als ventilatienorm hiervoor geldt 10 m³ lucht per ton aardappelen per 24 uur. Tijdens de wondhelingsperiode moet worden voorkomen, dat de temperatuur van aardappelen tot boven de 20°C stijgt.

Koelen en bewaren

Na de wondhelingsperiode moet de temperatuur van de aardappelen worden teruggebracht tot de gewenste bewaar temperatuur. Vroeg in de herfst zullen de nachttemperaturen onvoldoende laag zijn om dit snel te bereiken. In principe is met buitenluchtkoeling

een temperatuur bereikbaar, die ongeveer overeenkomt met de gemiddelde minimumtemperatuur voor het betreffende tijdvak. Voor medio september, oktober en november bedraagt deze respectievelijk 10,5, 7 en 5°C (figuur 14). Door vroeg in de herfst enkele zeer koude nachten te benutten, kan soms al wat eerder een laag temperatuurniveau worden bereikt. Dit is niet altijd gewenst, want volgt er daarna weer een aantal warme nachten, dan kan de knoltemperatuur weer flink stijgen. Dergelijke temperatuurschommelingen kunnen soms, met name bij rassen met een lange kiemrust, leiden tot een iets kortere kiemrustduur, hetgeen ongunstig is. Om de gewichtsverliezen tijdens de bewaring te beperken, moet het aantal ventilatie-uren zo laag mogelijk worden gehouden. Het gewichtsverlies is namelijk vrijwel recht evenredig met de duur van de ventilatie. De koeling van het product zal sneller verlopen naarmate de ventilatiecapaciteit en het temperatuursverschil tussen product en buitenlucht groter zijn. Tijdens de afkoelperiode verdient een flink temperatuursverschil, bijvoorbeeld circa 5°C, tussen buitenlucht en product daarom de voorkeur.

Bewaring van zetmeel-aardappelen

Tegenwoordig wordt meer dan 1,5 miljoen ton zetmeelaardappelen kortere of langere tijd bewaard. Van de namalers wordt ongeveer tweederde in schuren bewaard en de rest in kuilen en sleufsilos.

Bij de bewaring van zetmeelaardappelen is naast de beperking van bewaarverliezen in de vorm van rot en als gevolg van ademhaling ook van belang dat zo weinig mogelijk zetmeel wordt omgezet in suikers. Immers ook hierdoor wordt de zetmeelopbrengst verlaagd. Suikervorming kan ondermeer worden beperkt door de bewaartemperatuur relatief hoog te houden: 5 - 6°C.

Voorwaarden voor een goed bewaarresultaat zijn:

- een goed afgerijpt gewas en een afgeharde schil;
- een gezonde partij, zonder natrot van betekenis;
- onbeschadigde knollen; knolbeschadiging vergroot de kans op knolrot;
- een regelmatige controle van de partij en van de knoltemperatuur.

Gewenste bewaartemperatuur

De gewenste bewaartemperatuur van zetmeelaardappelen is 5 - 6°C. De hoogte van de bewaartemperatuur is een compromis tussen beperking van suikervorming (vergt een relatief hoge temperatuur) en een beperking van de kiemgroei (vergt een relatief lage temperatuur). Rassen met een lange kiemrust kunnen

daarom het beste bij 6°C worden bewaard en rassen die vlot kiemen bij 5°C.

Een geleidelijke daling van de temperatuur van de aardappelen, waarbij de beoogde temperatuur in de loop van november wordt bereikt, verdient daarbij de voorkeur. Een lagere bewaartemperatuur vertraagt weliswaar de kieming van de aardappelen, maar hier staat tegenover dat de omzetting van zetmeel in suikers toeneemt, waardoor de zetmeelopbrengst bij verwerking daalt.

Hoe ventileren als het gewenste temperatuurniveau is bereikt?

Als de gewenste knoltemperatuur is bereikt, is het van belang om dit niveau met niet al te grote schommelingen (maximaal 1 à 1,5°C) te

Figuur 14. Gemiddelde maandelijkse temperatuur (gemiddelde en minimum) op vijf stations van het KNMI 1931-1960 (naar Van der Schild, 1986).

handhaven. Als tijdens deze periode wordt gekoeld, geeft een temperatuurverschil tussen ventilatielucht en aardappelen van 1,5 - 2°C de beste resultaten. Om suikerophoping in de knollen te vermijden, mogen zetmeelaardappelen niet worden geventileerd met lucht die kouder is dan 4,5 à 5°C. Als onverhoopt toch gedurende enige tijd met te koude lucht is geventileerd, is het belangrijk dat direct daarna intern wordt geventileerd, om daarmee de temperatuurverschillen in de hoop te nivelleren en de aardappelen onderin de hoop weer op de gewenste temperatuur te brengen. Intern ventileren is ook noodzakelijk als het temperatuurverschil in de hoop meer dan 1,5°C bedraagt.

Tijdens vorstperiodes, wanneer de buitentemperatuur te laag is om uitsluitend met buitenlucht te ventileren, zal met menglucht moeten worden gewerkt. In bewaarplaatsen, waar geen mengluchtinstallatie aanwezig is, kan men menglucht creëren door tijdens intern ventileren de luchtinlaatluiken iets te openen. Een minimum-thermostaat in het luchtkanaal zal daarbij moeten voorkomen dat met te koude lucht wordt geventileerd.

Eisen en specificaties voor bewaarinrichtingen van zetmeelaardappelen

Tegenwoordig wordt meer dan 1,5 miljoen ton zetmeelaardappelen kortere of langere tijd bewaard. In de herfst gebeurt dit vooral in kuilen. Van de namalers wordt tweederde deel in schuren bewaard en de rest in kuilen en sleufsilos.

Achtereenvolgens zal een drietal bewaarssystemen worden beschreven, die worden toegepast in het gebied waar zetmeelaardappelen worden geteeld.

1. Bewaring in kuilen.
2. Bewaring in sleufsilos.
3. Schuurbewaring.

Bewaring in kuilen

De goedkoopste manier om zetmeelaardappelen te bewaren, is die in kuilen (afbeelding 41). Hierbij wordt voor de afvoer van warmte en CO₂ en de aanvoer van zuurstof gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie. Een kuilmodel dat in de praktijk bewezen heeft goed te voldoen, ziet er als volgt uit: Een basis van 5 meter en in het midden een hoogte van 1.80 meter. Per strekkende meter kan dan 3 ton aardappelen worden opgeslagen. Een aardappelkuil moet op een draagkrachtige grond op een zodanige plaats worden gelegd dat er geen water naar toe kan stromen.

Om voldoende te kunnen ventileren, wordt de kuil bij voorkeur in de oost-west-richting gelegd. Met het oog op een goede beluchting van de gehele kuil verdient het aanbeveling om deze niet langer te maken dan circa 45 meter. Op basis van het systeem van natuurlijke ventilatie worden twee typen kuilen onderscheiden:

- Type 1, met een driehoekig luchtkanaal (basis 64 cm en hoogte 37 cm), dat in de lengterichting op de bodem van de kuil wordt gelegd en een halfmond toprooster bovenop de kuil (afbeelding 40).
- Type 2, met uitsluitend een halfmond toprooster bovenop de kuil.

De afmetingen van het driehoekige bodemrooster zijn dan een basis van 64 cm en een hoogte van 37 cm.

De doorsnede van het toprooster dient 0,1 m² te zijn per ton aardappelen die per strekkende meter aanwezig is. Dus bij 3 ton aardappelen per strekkende meter moet de doorsnede van het toprooster 0.3 m² zijn.

Afbeelding 40. Schema van een aardappelkuil.

Uit het oogpunt van be- en ontluchting verdient type 1 de voorkeur. Hierbij kan de voet van de kuil na afdekken direct definitief worden afgesloten. Nadelen van dit systeem zijn de extra investering voor een bodemroosterkanaal en de kans op beschadiging van het kanaal bij het verladen. Verder vraagt het tijdig afsluiten van de uiteinden van het kanaal in perioden met lage temperaturen meer aandacht van de teler. Voordelen van type 2 zijn het geringe vorst risico tijdens de bewaarperiode en de lagere investering. Het enige nadeel van dit kuiltype is dat na aanleg het plastic aan de voet van de kuil gedurende 7 - 10 dagen teruggeslagen moet blijven om de aardappelen in de kuil voldoende te laten drogen.

Bedekking kuil

Als de kuil zijn definitieve vorm heeft gekregen, wordt hij afgedekt met stro. Voor bewaring tot december is circa 6 kg stro per m² voldoende; bewaring tot en met februari vraagt een strodek van 10 kg per m². Voor het opvangen van condens wordt op de top van de

kuil een extra strolaag van 20 cm aangebracht. Daar de voet van de kuil eerder bevriest, wordt ook hier een dikkere strolaag (totaal 40 cm) aangebracht wanneer langdurig moet worden bewaard.

Plastic: Over het stro wordt een plastic-kleed (PE 0.15 mm) gelegd, dat strak wordt aangehouden. Rond de beide uiteinden van het toprooster moet in het plastic een opening worden aangebracht. Om beschadiging van het plastic door het toprooster te voorkomen, worden wel jutezakken over het rooster gelegd. Onder de uiteinden van het toprooster wordt een extra stuk plastic van 1 à 1,5 meter lengte gelegd om condens en bevriezing te voorkomen. Tijdens vorstperioden wordt nog een tweede laag plastic aangebracht, met bij voorkeur een laagje stro tussen de beide plasticlagen. Het plastic wordt vastgelegd met behulp van treviraband, verzwaard met zakjes zand, dat om de 1 à 1,5 meter over de kuil

Afbeelding 42. Bewaring van aardappelen in een sleufsilos (foto Avebe).

Afbeelding 41. Bewaring van zetmeelaardappelen in een kuil (foto AVEBE).

wordt gelegd. Het plastic wordt aan de zijkan-
ten van de kuil vastgelegd door er een laag
grond op aan te brengen (afbeelding 41).

Drogen aardappelen: De snelste droging
wordt, zolang het niet regent, verkregen in
een niet afgedekte kuil. De weersomstandig-
heden laten het echter dikwijls niet toe om de
kuil meerdere dagen onafgedekt te laten. Als
de aardappelen voor het afdekken van de kuil
nog onvoldoende droog zijn, dient de onder-
ste 50 cm van de kuil open te blijven liggen.
Zodra de aardappelen droog zijn, kan de voet
van de kuil worden afgesloten.

Voorkómen bevriezing: Om een te lage tempe-
ratuur van de aardappelen te voorkómen en
vorstschade te vermijden, wordt bij buiten

temperaturen lager dan 5 à 6°C - afhankelijk
van het type kuil - het bodemluchtkanaal af-
gesloten of de voet van de kuil dicht gelegd.
Het toprooster wordt met stro of jutezakken
dichtgemaakt zodra matige tot strenge vorst
wordt verwacht.

Een regelmatige controle van de temperatuur
en de kwaliteit van de aardappelen alsmede
van de afdekking van de kuil is een voor-
waarde voor een goed resultaat.

Bewaring in sleufsilos

Bewaring van aardappelen in sleufsilos (af-
beelding 42) is weliswaar duurder dan bewa-
ring in kuilen, maar aanmerkelijk goedkoper

dan bewaring in schuren. Wel vraagt een sleufsilos meer arbeid. Wat het bewaarresultaat betreft houdt de sleufsilos, mits niet te lang, het midden tussen kuil en schuur. Daar geforceerde ventilatie wordt toegepast, kan ten opzichte van kuilen het drogen worden versneld en kan de bewaartemperatuur beter in de hand worden gehouden. Dit komt de kwaliteit van de aardappelen ten goede. Om de investering laag te houden, wordt in sleufsilos meestal gekozen voor horizontale ventilatie door middel van zuigen. Mits correct toegepast bij een gezonde partij behoeft het resultaat niet veel onder te doen voor dat van blazend ventileren.

1. Ventileren door middel van blazen.

Voor blazend ventileren is een luchtverdeel-

stelsysteem onder of op de bodem van de sleufsilos nodig. Om snel te kunnen drogen en koelen, is een ventilatiecapaciteit nodig van 100 m³ lucht per m³ aardappelen bij een tegendruk van 150 Pa. Als storthoogte wordt 3,5 - 4 meter aangehouden. Voor de afvoer van de ventilatielucht zijn op de hoop ontluichtingskokers nodig. De hoop wordt bedekt met een laag stro van 20 cm en vervolgens afgedekt met plastic (PE, minimaal 0,15 mm dik). Het goed vastleggen van het plastic vraagt bij dit systeem extra aandacht. Een kunststofnet met mazen van ongeveer 7x7 cm onder het stro vergemakkelijkt het weghalen van het stro als de hoop moet worden geruimd.

2. Ventileren door middel van zuigen.

Deze methode van ventileren is relatief goedkoop, omdat geen luchtverdeelsysteem onderin de hoop nodig is. Een nadeel van deze methode is de relatief lage en onregelmatige luchtverplaatsing door de hoop, met als gevolg een weinig uniforme temperatuurverdeling en een slechts langzame droging van de aardappelen.

Door de snel toenemende tegendruk van de aardappelen die de lucht bij zuigen onder-

vindt bij langer wordende hopen, neemt de luchtverplaatsing door de hoop snel af (tabel 26). Om een redelijke luchtverplaatsing (65-80 m³ per m³ aardappelen per uur) te houden, moet de lengte van de hoop bij zuigen worden beperkt tot maximaal 10 à 12 meter. De breedte van de sleufsilos is in principe onbeperkt, terwijl de storthoogte van de aardappelen de vier meter niet te boven mag gaan. Als stropakken als zijwanden worden gebruikt, bedraagt de maximale storthoogte twee meter. Door achter de ventilatoren een onderdruk-kamer te plaatsen, wordt de uniformiteit van de luchtverdeling verhoogd. De drukkamer kan worden gemaakt van sleufsilos-elementen en een 'wand' bestaande uit beton- en kippengaas. Aarden wallen afgedekt met plastic kunnen fungeren als zijwanden van de sleufsilos. De wand tegenover de ventilatoren zal gedeeltelijk open moeten blijven opdat tijdens het ventileren voldoende lucht kan worden ingelaten. Het verdient aan-

Tabel 3. Luchtverplaatsing bij horizontale ventilatie bij een storthoogte van 3 m, een hoopbreedte van 13 meter en een ventilatiecapaciteit van 48.000 m³ lucht per uur bij 150 Pa).

hoopbreedte	bewaarcapaciteit	luchtverplaatsing
8	200	> 100
10	250	82
12	300	65
15	370	45
18	440	35
21	520	30

(naar gegevens AVEBE, 1995)

beveling om op de hoop een toprooster aan te brengen. Hierdoor kan tijdens vorstperioden, wanneer niet kan worden geventileerd, warmte uit de hoop worden afgevoerd.

De afdekking van de hoop gebeurt op dezelfde wijze als bij 'blazen' is aangegeven.

Schuurbewaring

Een belangrijk pluspunt van schuurbewaring is dat het weerrisico geringer is, zodat men de bewaaromstandigheden beter in de hand heeft. Daar staat tegenover dat dit bewaarsysteem aanmerkelijk duurder is dan dat in kuilen en sleufsilos.

De constructie en inrichting van een luchtgekoelde bewaarplaats moet zodanig zijn, dat zetmeelaardappelen bij een temperatuur van 5-6°C met behoud van voldoende kwaliteit zes tot zeven maanden kunnen worden bewaard. Om onder ongunstige omstandigheden snel te kunnen drogen, is een minimale ventilatiecapaciteit nodig van 100 m³ lucht per m³ product per uur.

Om het optreden van drukplekken te beperken, mag de storthoogte niet groter zijn dan vier meter. Het volumegewicht van zetmeelaardappelen is circa 700 kg per m³. Bij een storthoogte van vier meter kan dus per m² vloeroppervlak circa 2800 kg aardappelen worden bewaard.

In de bewaarplaats moet, afhankelijk van de inbrengapparatuur, 1,0-1,5 meter vrije ruimte boven de aardappelen aanwezig zijn.

Wanden, vloer, plafond en dek

Wanden en vloer van de bewaarplaats moeten voldoende bestand zijn tegen de druk die erop wordt uitgeoefend. De zijwaartse druk (wanddruk) bij bulkopslag hangt af van de storthoogte en is per strekkende meter wand als volgt:

storthoogte (meters)	zijwaardse druk (in kg per m ¹)
2	300
2,5	470
3	675
3,5	920
4	1200

De vloer moet in principe niet alleen de druk van de aardappelen maar bovendien die van beladen kip- en vrachtwagens kunnen weerstaan. De vloerdruk van zetmeelaardappelen bedraagt circa 700 kg per meter storthoogte. De vloer moet een asbelasting van 10 ton kunnen opnemen, gebaseerd op voertuigen met een wielprent van 30 x 40 cm en een spoorbreedte van 1,50 meter.

Om het warmteverlies cq. de aanvoer van warmte tot een aanvaardbaar niveau te beperken, dienen aardappelbewaarplaatsen goed te worden geïsoleerd. Dikwijls wordt een isolatiewaarde van $K = 0,3 \text{ W per m}^2 \text{ K}$ aangehouden. Voor dak en plafond bij voorkeur nog iets lager, bijvoorbeeld $0,25 \text{ W per m}^2 \text{ K}$. De vloer hoeft niet te worden geïsoleerd.

Ventilatiesysteem

De gewenste ventilatiecapaciteit bedraagt bij zetmeelaardappelen minimaal 100 m³ lucht per m³ product per uur, bij een tegendruk van 150 Pa. Het ventilatiesysteem moet een uniforme luchtverdeling door de hoop mogelijk maken. In Nederland worden de volgende ventilatiesystemen gebruikt:

- volledige roostervloer;
- ondergrondse kanalen;
- bovengrondse kanalen;
- horizontale ventilatie door middel van zuigen.

De volledige roostervloer met dwarsventilatie biedt de meeste mogelijkheden en de beste luchtverdeling en is nauwelijks duurder dan ondergrondse kanalen. De ruimte tussen de ondergrondse kanalen mag niet groter zijn dan circa 1,50 meter. Lengteventilatie met bovengrondse kanalen is relatief goedkoop, maar minder flexibel. Bovendien vormen de bovengrondse kanalen een obstakel bij het leeghalen van de bewaarplaats. Voor bovengrondse kanalen geldt als tussenruimte 0,8 x de storthoogte. De afmetingen van de ventilatiekanalen zijn afhankelijk van de capaciteit

Afbeelding 43. Buitenluchtkoeling met mengluchtsysteem.

1 = klep voor luchttoevoer

2 = drukklep voor luchtafvoer

3 = mengklep

(naar Rastovski, Van Es et al., 1987).

van de ventilator en van de gewenste luchtinlaatsnelheid. De maximale luchtsnelheid bedraagt voor ondergrondse kanalen zes meter per seconde en voor bovengrondse kanalen acht meter per seconde, in beide gevallen aan het begin van het kanaal gemeten.

Dwarsventilatie door middel van zuigen wordt - ondanks lagere investeringskosten - weinig toegepast. Een nadeel van deze methode is de relatief geringe ventilatiecapaciteit. Dit houdt meer risico in bij niet geheel gezonde partijen of bij partijen met veel grond.

Voor de luchtinlaatluiken geldt een maximum luchtsnelheid van vijf meter per seconde en bij de luchtuitlaatluiken van vier meter per seconde. Bij een automatische regeling van de ventilatie moeten in- en uitlaatluiken au-

tomatisch openen en sluiten.

De luchtinlaat- en -uitlaatluiken moeten zo ver mogelijk van elkaar verwijderd zijn, om te vermijden dat 'afgewerkte' lucht weer in de bewaarplaats wordt gebracht. Ventilatoren moeten rechtstreeks buitenlucht kunnen aanzuigen. Meestal wordt tussen de ventilatoren en de ventilatiekanalen een centrale drukgang geplaatst. Ventilatoren die direct voor een kanaal zijn geplaatst, geven een relatief slechte luchtverdeling. Behalve met buitenlucht moet ook intern kunnen worden geventileerd. Bovendien is een mengluchtinstallatie gewenst, zodat bij te koude buitenlucht met een mengsel van buitenlucht en (warmere) lucht uit de bewaarplaats kan worden geventileerd (afbeelding 43).

Condensatiepreventie

Ter beperking van condensatie in de bewaarplaats bij lage buitentemperaturen is een goede isolatie essentieel. Daarnaast kan men boven het product enkele plafondventilatoren met een verwarmingselement plaatsen, met een capaciteit van 10 m³ lucht per ton product per uur. Dergelijke ventilatoren kunnen de lucht bovenin de bewaarplaats in beweging houden. Als het langdurig blijft vriezen, is bovendien een afzuigventilator nodig. Alleen een afzuigventilator, met een minimale capaciteit van 1,5 m³ lucht per ton aardappelen per uur, in combinatie met een aanzuigrooster met verwarmingselement, kan bij langdurige vorstperioden ongewenste condensatie voorkomen.

Automatisering

Besturing van de ventilatoren gebeurt steeds meer automatisch met bewaar-microprocessors. Ook door differentiaalregeling met een minimum-thermostaat is echter nog altijd een goede besturing mogelijk. Een goede temperatuurmeting in en buiten de bewaarplaats is essentieel voor een goede bewaring.

Elektronische temperatuurmeting, met voelers in elk ventilatiekanaal en op verschillende plaatsen en hoogten in de partij, verdient de voorkeur boven het gebruik van steekthermometers. Bij automatische regeling van de ventilatie is elektronische temperatuurmeting noodzakelijk.

Bewaarverliezen

Er zijn slechts in beperkte mate gegevens beschikbaar over bewaarverliezen van zetmeel-aardappelen in de verschillende typen bewaarplaatsen. Onderzoek van AVEBE in de jaren 1988 en 1989 heeft voor een bewaarperiode van 85-90 dagen in kuilen de volgende

verliescijfers opgeleverd:

- goede kwaliteit aardappelen, koel bewaard 2-4% uitbetalingsgewicht;
- goede kwaliteit aardappelen, warm bewaard 5-8% uitbetalingsgewicht;
- onrijp geogste aardappelen 10-30% uitbetalingsgewicht.

Aangenomen wordt dat de verliezen bij bewaring in sleufsilos en schuren iets lager zijn. Tussen rassen bestaan aanzienlijke verschillen in geschiktheid voor bewaring. Goed tot vrij goed bewaarbaar zijn onder andere de rassen Elkana, Karnico, Kardal en Kartel. Daarentegen zijn Astarte en Kanjer minder, respectievelijk niet geschikt voor bewaring.

Optreden van ziekten en gebreken tijdens de bewaring

Het beste bewaarresultaat wordt bereikt met een gezonde partij, waarin geen rotte of beschadigde knollen voorkomen en waarin de hoeveelheid grond - goed verdeeld over de partij - niet meer bedraagt dan 10%. Als bovendien een correcte wondhelingsperiode wordt toegepast, zullen de bewaarverliezen doorgaans gering zijn.

Als in een partij rotte (moeder)knollen voorkomen of 'jong ziek' van Phytophthora, dan is het van belang om de partij snel te drogen en de temperatuur zo laag mogelijk te houden. Partijen waarin rot voorkomt, moeten totdat ze droog zijn, dag en nacht worden geventileerd, zo mogelijk steeds met drogende lucht. In perioden dat geen drogende lucht beschikbaar is, kan men intern ventileren. Daarna is het belangrijk om de partij droog te houden. Dergelijke partijen moeten dagelijks worden gecontroleerd. De aanwezigheid van kleine vliegjes of van stank in de bewaarplaats alsmede snelle temperatuurstijgingen kunnen op

rot wijzen. Het rot zal zich, behalve bij Phoma, sneller uitbreiden naarmate de temperatuur hoger is. In partijen met rot of 'jong ziek' moet de temperatuur tijdens het drogen bij voorkeur niet boven de 15-18°C uitkomen.

Ziekten

1. *Natrot*. Als bij de oogst in een partij knollen met natrot voorkomen, zullen door versmering ook andere (beschadigde) knollen worden besmet. Als niet snel genoeg wordt gedroogd, zal het rot zich uitbreiden en ontstaan er nesten rotte knollen, vooral in stortkegels van grond. Partijen waarin meer dan 1% knollen met natrot voorkomt, zijn niet of heel moeilijk bewaarbaar.
2. *Fusariumdroogrot*. Deze schimmelziekte treedt pas op na het inschuren. Tijdens de oogst kan de schimmel via wonden de knol binnendringen. Voorzichtig oogsten en een goede wondhelingsperiode verkleinen de kans op het grootschalig optreden van Fusarium.
3. *Phytophthora*. Door Phytophthora aangetaste knollen kunnen bij de oogst in een partij aanwezig zijn in de vorm van (nat)rotte knollen of van 'jong ziek'. Het rot treedt bij Phytophthora op als secundaire aantasting door bijvoorbeeld natrotbacteriën of Fusarium. Onder 'jong ziek' worden door Phytophthora aangetaste knollen verstaan, die nog niet tot rotting zijn overgegaan.

Als meer dan circa 1% knollen met natrot voorkomt in een door Phytophthora aangetaste partij, zal de partij niet of moeilijk bewaarbaar zijn. 'Jong ziek' hoeft weinig problemen op te leveren mits snel wordt gedroogd. In het najaar van 1992 zijn partijen 'gered' met tot 10% 'jong ziek'. Voor een dergelijk resultaat moet continu met veel drogende lucht worden geventileerd. Daartoe zal de lucht meestal 's

nachts moeten worden opgewarmd. Dit betekent wel extra gewichtsverliezen voor het gezonde deel van de partij. Direct afzetten kan dan een beter alternatief zijn.

Probleempartijen

1. *Erg natte partijen met veel grond*. Het is in de eerste plaats van belang om de grond zo goed mogelijk te verdelen zodat geen stortkegels ontstaan. Vervolgens zal de partij zo snel mogelijk moeten worden gedroogd. Dit is lastiger naarmate later in het seizoen is gerooid. Opwarming van de lucht zal dan vaak nodig zijn. Als een natte partij in een bewaarplaats wordt gebracht waarin zich al droge aardappelen bevinden en waarbij het ventilatiekanaal zowel onder de droge als de natte aardappelen ligt, zal de lucht grotendeels via de droge partij ontsnappen. Door de droge aardappelen met bijvoorbeeld

plastic af te dekken, kan men de lucht dwingen door de natte partij te gaan.

2. *Partijen met natrot.* Hier is snel drogen bij zo laag mogelijke temperatuur (maximaal 15 - 18°C) geboden om uitbreiding van het rot te voorkomen. Er dient continu te worden geventileerd. Als geen drogende lucht beschikbaar is, dan intern ventileren. Partijen waarin meer dan 1% natrot voorkomt, kunnen meestal niet lang worden bewaard en moeten dagelijks op verdere uitbreiding van rot worden gecontroleerd.
3. *Partijen met 'jong ziek'.* Dergelijke partijen moeten eveneens zo snel mogelijk worden gedroogd. Als heel snel en goed wordt gedroogd, kunnen partijen met 10% 'jong ziek' nog houdbaar zijn.
4. *Natgeregende partijen.* Als een partij in de wagen flink nat is geregend, dan is bewaring temidden van een niet-natgeregende partij riskant. Beter kan men natgeregende aardappelen apart opslaan en snel afzetten. Op de raakvlakken van de knollen kan vanwege afdichting met versmeerde grond, zuurstofgebrek optreden, hetgeen kan leiden tot rot.

De kans op rot is gering als een natgeregende partij pas wordt verwerkt nadat deze weer is opgedroogd.