



hoofdgroep

APPLICATIONS

code

A4

**LEVENS MIDDELEN IN DE KOU
UITVOERING EN KWALITEITSBEHEER
Deel 2**

Dr. Ir. C. van den Berg

INHOUDSOPGAVE *A1 →* blz.

Module wijzer A4: "Koudeketen, Uitvoering en Kwaliteitsbeheer" 5

Hoofdstuk 1 DE KOUDEKETEN *minimal processing* 7

- 1.1 Inleiding 7
- 1.2 Overzicht 7
- 1.3 Productieketens 8
- 1.4* Koelvers- en vriesketen *verschil tussen beide* *8*
- 1.5 Door Koude meer Ketens mogelijk 10
- 1.6* Ondersteunende maatregelen voor conservering door koude; blancheren, gasbewaren, drogen, bestralen ed. en Minimal Processing 11

Hoofdstuk 2. KWALITEIT 13

- 2.1 Inleiding 13
- 2.2 De historie van kwaliteit 13
- 2.3* De kwaliteit van levensmiddelen *begrip v. kwaliteit* 14
- 2.4* De kwaliteit van melk *aspecten en oorzaken* 16
- 2.5* Kwaliteit en Houdbaarheid 18
- 2.6* Houdbaarheid; TTT en PPP 19
- 2.7* Tijd – Temperatuur historie en Restkwaliteit *→ samenhang* 26
- 2.8 Enkele houdbaarheid beïnvloedende factoren 27

Hoofdstuk 3 KWALITEITSBEHEER 29

- 3.1 Inleiding 29
- 3.2 Systematiek en Logistiek in Ketens *goed manufacturing* 30
- 3.3 Begrippen en terminologie 32
- 3.4* Integrale Kwaliteitszorg via HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) 33

Hoofdstuk 4 MEER PRAKTISCHE ASPECTEN VAN AFKOELING 35

- 4.1* Inleiding 35
- 4.2* Veldwarmte 35
- 4.3* Afkoeltijd en Kwaliteit 35
- 4.4 Afkoeling van Stapelingen 36
- 4.5* Afkoelsnelheden 36
- 4.6 Fasencontactoppervlak voor afkoeling 38
- 4.7* Vriessnelheden 39
- 4.8 Koudedragers voor contactafkoeling en bewaring van levensmiddelen *→ type behuizing* 40
- 4.9 Overzicht afkoelmethoden voor AGF en bloemen 42

Hoofdstuk 5 TUINBOUWPRODUCTEN 43

- 5.1* Inleiding 43
- 5.2* Verse producten *alle gasbewaring* 43
- 5.3* Bewaarfysiologie *bewaring fysiologische aard* 46
- 5.4* Omringende Atmosfeer tijdens Bewaring 54
- 5.5* Diepvriesproducten *climatenversch. + niet klimaatvrij* 59

Hoofdstuk 6. KOUDEBEHOEFTIGE PROCESSEN 64

- 6.1 Inleiding 64
- 6.2 Melk en zuivel *blancheren* 64
- 6.4 Vis en visproducten 69
- ~~6.5~~ Vlees 74
- 6.6 Brood en banket 80
- 6.7 Bier 82

Hoofdstuk 7	TECHNISCHE UITVOERING	83
7.1	Inleiding	83
7.2	Vloeistoffen	83
7.3	Vaste stoffen	85
7.4	Gekoelde bewaar ruimten	89
7.5	Koeltransport	92
7.6	Invriezen	95
7.7	Vriesopslag	102
7.8	Ontdooien	102
7.9	Magnetron Verhitting	103
Hoofdstuk 8	RISICO'S BINNEN DE KOUDEKETEN EN MEER	104
8.1	Inleiding	104
8.2	Temperatuurverloop	104
8.3	Ontwikkelingen rond de koudeketen	105
8.4	Verpakking en etikettering	105
Hoofdstuk 9	BIJZONDERE TOEPASSINGEN VAN KOUDE	107
9.1	Graankoeling	107
9.2	Vriesconcentreren	108
9.3	Vriesdrogen	110
9.4	Koudmalen	112
9.5	Koude in Aardolie- en Chemische Procesindustrie	114
9.6	IJs en Sneeuwsport	114
9.7	Cryobiologie, Medische Toepassingen en meer	114
9.8	Andere gebieden van Techniek	115
Bijlage 1	HYGIËNECODE, GMP	117
Bijlage 2	VOORBEELDEN VAN PRODUCTGEGEVENS VAN AVOCADO EN BANAAN	122

Module wijzer A4: “Koudeketen, Uitvoering en Kwaliteitsbeheer”

Doelstelling

De module Koudeketen hoort bij en is het vervolg op module A1 waarin de grondslagen van de aard van levensmiddelen en hun conservering met nadruk op koude, worden behandeld. Als onderdeel van de Post-HBO opleiding Koudetechniek geeft deze module een overzicht van de werkwijzen, hun principes en praktijk, die in gebruik zijn om de land- en tuinbouw-producten en de daaruit geproduceerde levensmiddelen bij de consument te brengen door middel van koudeketens, en te garanderen dat hierdoor de consument wordt voorzien van veilig en kwalitatief hoogwaardig vers voedsel. Veruit het grootste deel van de wereldwijd opgewekte koude wordt in deze koudeketens verbruikt. Aandacht gaat uit naar de technische en kwaliteit aspecten van deze koudeketens, gezien vanuit het gekoelde agro-food product en niet zozeer vanuit de technische koude opwekking sec. Ook wordt aandacht gegeven aan een aantal bijzondere toepassingen van lage temperaturen en nieuwe mogelijkheden van koudetoepassing.

Leerdoelen

Het doel van deze module is meer kennis en begrip te verkrijgen van de technieken en hun achtergrond bij de applicatie van koude in de voedingsmiddelenketen.

Na het doorlopen van de module heeft u meer inzicht in:

- productieketens van voedingsmiddelen en agro-ketenlogistiek in de verskoelketen en de diepvriesketen.
- het belang van kwaliteit bij de productie van voedingsmiddelen, en de vaststelling, bewaking en beheersing daarvan integraal langs de keten, HACCP en GMP (good manufacturing practice).
- de koeling van land- en tuinbouwproducten en hun bewaring in gecontroleerde atmosferen, zoals ULO.
- de koude behoefte van verscheidene levensmiddelen processen.
- bijzondere toepassingen van koude.

Duur van de lessen

Aantal lesuren : 20 (5 middagen à 4 lesuren)

Naar schatting zijn ongeveer 50 SBU nodig voor het doorlopen van de module.

Inhoud van de lessen

- Les 1:** Productie ketens voor voedingsmiddelen. Agro-food ketenlogistiek. Koelvers- en diepvriesketens. Nieuwe processen mogelijk geworden door kunstmatig opgewekte koude. Wat is kwaliteit van een product vanuit verschillende gezichtspunten langs de keten. Voorbeeld melk wordt behandeld.
- Les 2:** Bepaling van kwaliteit en verloop ervan. Relatie van kwaliteit en houdbaarheid: Tijd - Temperatuur - Tolerantie (TTT) en proces invloeden (PPP). Berekening van restkwaliteit uit de tijd/temperatuur historie. Management van kwaliteit integraal langs de keten (GMP), (HACCP), wettelijke aspecten.
- Les 3:** Behandeling en houdbaarheid van land- en tuinbouwproducten in de koelversketen, AGF en bloemen. Afvoer veldwarmte en houdbaarheid. Vacuümkoeling. Controlled Atmosphere (CA) en ULO bewaring van fruit.
- Les 4:** Processen en technieken welke in gebruik zijn bij koude afhankelijke producties van voedingsmiddelen. Melk, zuivel en consumptie-ijs; vis, vlees en vleeswaren; brood en bakkerijproducten; bier. Gekoeld transport.
- Les 5:** Overzicht koudeketen en bijzondere toepassingen van koude. Graankoeling; koud malen; vriesconcentreren en vriesdrogen; medische en andere toepassingen.

Werkvorm

Cursorisch; Hoorcollege en werkcollege, waarin verstrekte opgaven door de cursisten worden gemaakt met daarna klassikale behandeling. Incidenteel up-to-date illustraties en schema's van internet. Zo mogelijk zal een praktijk excursie naar een bedrijf dat gekoelde levensmiddelen produceert deel uitmaken van de cursus.

Hoofdstuk 1 DE KOUDEKETEN

1.1 Inleiding

Moderne ketens van voedsel aanvoer voor onze bevolkingcentra worden in het algemeen gevoed met grootschalige producties van agrarische grondstoffen. Om tegemoet te komen aan eisen van efficiëntie en versheid van bederfelijke producten is een industriële organisatie een must. Dit huidige systeem van voedselketens van de locaties van productie naar de vaak veraf gelegen locaties van consumptie kan alleen bestaan bij gratie van het grootschalige gebruik van technisch opgewekte lage temperaturen; dus via koel- of koudeketens.

De toepassingen van koude hiervoor nemen nog steeds toe in aantal en in kwantiteit, evenals in diversiteit, d.w.z. meer uiteenlopende toepassingen waardoor allerlei technische ontwikkelingen mogelijk en gangbaar werden. Naast belangrijke ontwikkelingen gedurende de laatste decennia leert een globaal overzicht van het gebruik van koude in de levensmiddelenproductieketen dat er nog steeds ruimte is voor verdere toepassingen en soms voor verdere optimalisatie. Deze verbeteringen hebben vooral ten doel verdere kostenbesparingen en verhoging van de productkwaliteit.

Het gebruik van mechanisch opgewekte koude tot zeer lage temperaturen is gebleken vele technische mogelijkheden te bieden, van ruimtevaart tot koud malen als wel om werkwijzen en hele processen in de productieketen van grondstof (oogst of winning) tot product voor de consument grondig te herzien. Nieuwe werkwijzen en procesalternatieven op het gebied van levensmiddelenbereiding zijn in de laatste decennia ontwikkeld. Prominent is bijv. de vergaande ontkoppeling van de tijdstippen van maaltijdbereiding en maaltijdconsumptie in ziekenhuizen, instituten, tafeltje-dek-je systemen, voorbewerkte levensmiddelen die alleen nog maar gekookt, verhit of afgebakken behoeven te worden, ed. De sterke groei van "geen tijd meer hebben om lang in de keuken te staan" en de relatieve vergrijzing in onze verzorgingsstaat droegen hier sterk aan bij. Ook buiten de voedingsmiddelenketen zijn nu vele toepassingen van koude te vinden (medische toepassingen, chemische industrie, cryobiologie, techniek en electronica, ruimtevaart ed.). Enkele van deze belangrijke toepassingen van lage temperaturen worden in hoofdstuk 9 behandeld.

1.2 Overzicht

Na uitleg over productieketens wordt in hoofdstuk 2 het basisbegrip "kwaliteit" van een product behandeld aan de hand van het voorbeeld *melk*. Dit product is gekozen om duidelijk te maken dat het begrip kwaliteit van levensmiddelen meestal vele uiteenlopende aspecten kent. Deze zijn gewoonlijk veel meer divers dan wat geldig is voor een willekeurig product uit de chemische industrie. Vervolgens wordt kwaliteitsverlies kwantitatief benaderd door middel van beschouwingen en rekenvoorbeelden van bewaarduur. Ook wordt aandacht gegeven aan de belangrijkste factoren die de achteruitgang van kwaliteit bij levensmiddelen veroorzaken.

Hoofdstuk 3 beschrijft de belangrijkste ontwikkelingen rond de beheersing van kwaliteit in de voedingsmiddelenproductie en behandelt begrippen, die nu meestal met acroniemen worden aangeduid (zoals IKB, GMP, HACCP), welke een belangrijke rol spelen bij ketenlogistiek en management.

Hoofdstuk 4 gaat in op enkele praktische aspecten van afkoeling zoals veldwarmte, afkoelsnelheden en vriessnelheden van producten. Dit is een vervolg op wat in module B1 is behandeld en sluit enigszins aan bij de leerstof van module B3. Ook is een paragraaf opgenomen (4.3) over enkele specifieke koudedragers en gassen die gebruikt (mogen) worden voor de afkoeling en bewaring van voedingsmiddelen in direct contact.

Omdat de koelketens van tuinbouwproducten relatief een zodanig groot volume binnen de koelwereld innemen wordt in hoofdstuk 5 hierop apart ingegaan. Met name wordt aandacht gegeven aan specifieke aspecten van verse producten (groente, fruit en bloemen), iets over hun bewaarfysiologie en het afrijpen van fruit en het belang van samenstelling van de atmosfeer die het product omgeeft. Beïnvloeding van

deze omgevende atmosfeer is van groot belang bij de langdurige opslag van fruit (ULO-bewaring) en de kortdurende bewaring van groenten (MAP).

Ook wordt in dit hoofdstuk kort ingegaan op diepvriesproducten en de voorbehandeling daarvan; met name het blancheren om enzymatisch bederf bij lage temperaturen te voorkomen. Ook wordt enige aandacht gegeven aan wettelijke eisen die aan koudebewaring van deze producten worden gesteld.

Hoofdstuk 6 behandelt in vogelvlucht de bereiding van de belangrijkste levensmiddelen waarbij koude een grote rol speelt, namelijk melk, zuivel en consumptie-ijs, en vis, vlees, brood en banket en de bereiding van pilsbier.

In hoofdstuk 7 wordt ingegaan op de technische uitvoeringen van afkoelen en bevriezen, koudebewaring en gekoeld transport van levensmiddelen.

Hoofdstuk 8 behandelt de risicoplacsen in de koudeketen en gaat in op praktijk bij de detailhandel en het gedrag van de consument. Opvallend is dat meestal juist in dit laatste deel van de koudeketen de kwaliteit het meest te lijden heeft.

Hoofdstuk 9 behandelt een aantal losse onderwerpen die bijzondere toepassingen van koude betreffen. Deze onderwerpen hebben deels wel en deels niet met levensmiddelentechnologie te maken, maar voor de koude-expert zijn ze in ieder geval interessant omdat deze toepassingen de gewone en bijzondere mogelijkheden van lage temperaturen illustreren.

1.3 Productieketens

Onder **productieketens** wordt hier verstaan alle bewegingen, handelingen, bewerkingen en organisatie als geheel die noodzakelijk zijn voor het vervaardigen van een product vanaf het oogsten van de grondstof in de primaire voedselproductie tot en met het consumeerbare eindproduct dat gereed ligt op het verkooppunt.

De **koudeketen** betreft in dit verband alle productieketens voor bederfelijke waren waarbij temperaturen beneden kamertemperatuur bewust worden toegepast.

Vanwege de aard van levensmiddelen worden koudeketen hiervoor verdeeld in:

- **koelversketens**, waarbinnen de producten onbevoren, dus bij temperaturen boven hun vriespunt, als verse waar worden behandeld en bewaard, en
- **vriesketens**, waarbinnen producten in bevroren toestand worden gebracht, behandeld en bewaard..

Vanzelfsprekend is de mogelijke bewaarduur in de vriesketen vanwege de veel lagere bewaar temperatuur ongeveer 10 tot 100 maal langer dan in de koelversketen. De conditie voor deze functionaliteit is dat de producten op de op de juiste wijze zijn voorbehandeld,

Als globale indruk van het relatieve belang van beide ketens kan worden gesteld dat naar schatting van alle levensmiddelen in de westerse maatschappij ongeveer 75% door koude wordt verduurzaamd, en dat hiervan binnen de ketens ongeveer 90% in gekoelde verse toestand verblijft en zo'n 10% in bevroren toestand.

1.4 Koelvers- en vriesketen

De **koelversketen** is *product-specifiek* van aard omdat hierin wordt gestreefd, door toepassing van de juiste koeling, naar het optimaal bewaren van de verseigenschappen van uiteenlopende biologische producten. Voor veel producten lopen deze uiteen. Aardappelen mogen niet onder 4°C worden bewaard met het oog op zoet worden. Bananen en veel tomatensoorten kunnen niet tegen temperaturen beneden 12°C. Gepasteuriseerde melk, vers vlees en vis daarentegen zijn het langst houdbaar net boven hun vriespunt. Goed management hiervan vereist gedegen productkennis. Bevriezing geeft gewoonlijk schade aan cellulaire producten, daarom zijn de lage temperaturen in de koelversketen beperkt tot die boven het vriespunt. Diverse temperatuurregimes komen voor: 0-1°C bijvoorbeeld voor vlees op langdurig transport

(zeetransport van Nieuw Zeeland naar Europa of Amerika), 2-4°C voor veel uiteenlopende voedingsproducten, maximaal 7°C wordt meestal geadviseerd voor huishoudkoelkasten en veel bewaarmeubels in de detailhandel (beter zou zijn ook daar 2-4°C te handhaven), 12-14°C wordt toegepast voor tropisch fruit, bananen die nog niet geel mogen worden, tomaten, komkommers, aubergines en gourgettes en ook veel kaassoorten.

Bewaring bij lagere temperaturen in de **vriesketen**, dus beneden het vriespunt geeft steeds veranderingen in het product. Voor een flink aantal producten, vooral dierlijke, zijn deze veranderingen toelaatbaar. In verband met de kritische zone dient voor zinvolle toepassingen de temperatuur in vrieshuizen beneden -12°C te liggen. De diepvries standaard temperatuur is minus -18°C. In tijd uitgedrukt is de mogelijke bewaarduur van de opgeslagen producten dan al 20 tot 100 maal toegenomen vergeleken met de bewaarduur in de koelversketen. In de praktijk van industrie en groothandel worden meestal lagere temperaturen van -20 tot -30°C toegepast.

Het bijgevoegde schema in figuur 1.1 geeft een overzicht van de opeenvolgende stappen en meest voorkomende bewerkingen in een algemene levensmiddelenproductieketen. Als hierbij bewust lage temperaturen worden gebruikt spreekt men van een **koudeketen**. Het onderscheid tussen koelversketen en vriesketen wordt louter bepaald door de temperatuur van het product dat de keten doorloopt; onder of boven het vriespunt ervan.

PRIMAIRE PRODUCTIE ==> VERZAMELING ==> PRIMAIRE VERWERKING ==>

Land- en Tuinbouw	Oogst	Reinigen en schonen
Veeteelt	Slacht	Drogen
Visvangst, visteelt		Koelen
Jacht		Verduurzamen
Bioreactoren		(meestal in bulkbehandeling)

OPSLAG/TRANSPORT ==> SECUNDAIRE VERWERKING / LEVENSMIDDELEN-PROCESSING ==>

Koelen	Bewerking, Verwerking
Opslag	Processen bestaand uit meerdere eenheidsbewerkingen
	Verpakken

OPSLAG/TRANSPORT ==> OPSLAG/DISTRIBUTIE ==> TRANSPORT ==>

Koelen	Ompakken, Detailverpakking
	Koelen

DETAILHANDEL ==> TRANSPORT ==> GEBRUIKERSMARKT

Verkoopklaar maken	Bewaren
Koelen	Toebereden
Presentatie	Consumeren

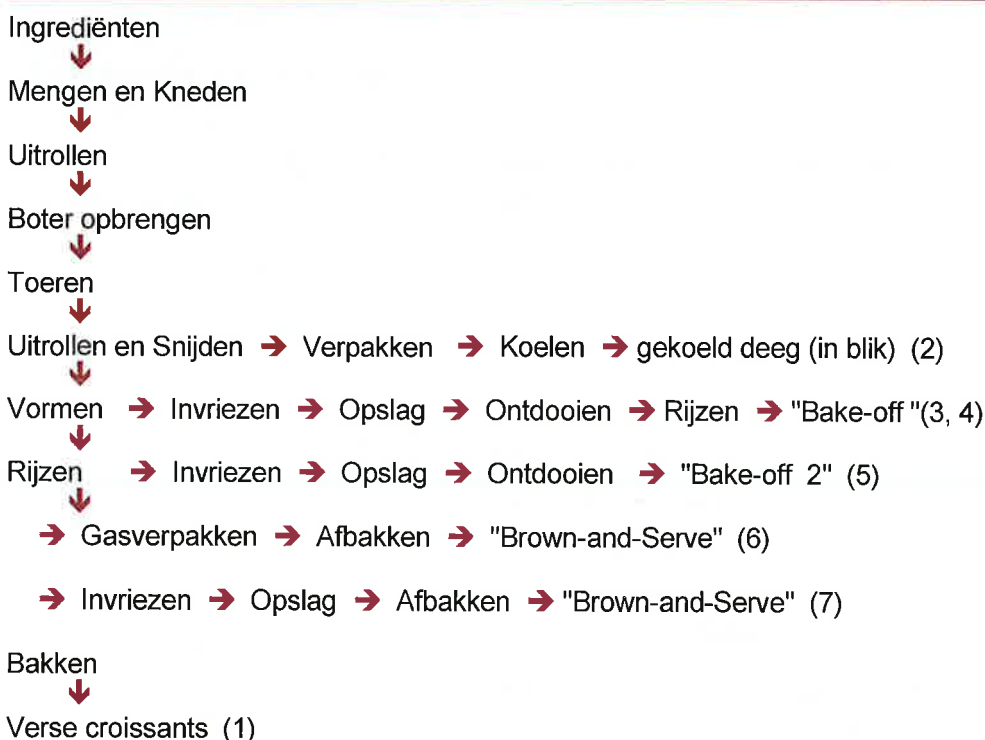
Figuur 1.1. De Koudeketen schematisch in zijn algemeenheid.

1.5 Door Koude meer Ketens mogelijk

Naast verlenging van de houdbaarheid van bederfelijke waren door temperatuurverlaging zijn er meer toepassingen en mogelijkheden van koude.

Een alweer oud voorbeeld van zo'n koude toepassing is de start omstreeks 1875 van de fabrieksmatige bereiding van pilsbier door middel van mechanische koeling door Gerard Heineken in Rotterdam. Dit gewaardeerde biertype was in die tijd ver weg van Pilsen in Bohemen moeilijk te krijgen. Alleen in de winter, als natuurlijke koeling voorhanden is, was het verspreidingsgebied van pilsbier wat groter. Bij Pilsen waar berggrotten (eishöhlen) het hele jaar door een vrijwel constante temperatuur van ongeveer nul graden Celsius hebben was dit biertype ontwikkeld. De biergisting hiervan verloopt bij 10°C gedurende 10 dagen en de daarop volgende lagering, de opslag van het jongbier, bij 1°C gedurende zo'n 3 maanden.

Een nieuwer voorbeeld van een industrieel proces dat mogelijk werd door mechanische koeling is de industriële bereiding van afbak-croissants. De croissant, het oorspronkelijk uit Wenen afkomstige, halve maanvormige, luxe broodje van bladerdeeg en boter, is na zijn aanvankelijke inburgering als Frans ontbijtbroodje aan het hof van de zonnekoning, ook populair geworden in Nederland en de rest van Europa. Iedereen weet dat een croissant vers uit de oven steeds het lekkerst is, met name als je op zondagmorgen eens rustig wilt ontbijten, en juist dan de verse bakkers niet open zijn. Vers kan dan alleen verkregen worden door zelf af te bakken of desnoods een croissant van de vorige dag op te piepen. De industrie is de consument hierin tegemoet gekomen door naast de gewone verse croissants een zestal productvarianten te ontwikkelen die door de consument met een oven van ruim 200°C eenvoudig kunnen worden afgebakken. De processtappen waarmee deze croissant varianten worden bereid zijn weergegeven in Figuur 1.2.



Figuur 1.2 Blokschema croissantbereiding.

Figuur 1.2 toont het proces blokschema van de 7 mogelijke bereidingswijzen voor verse croissants. Het woord "toeren" in dit schema wil zeggen: het uitgerolde beboterde deeg in lagen op elkaar leggen waarbij de volgende laag steeds 90 hoekgraden verdraaid is.

Hierbij is van belang dat de arbeidsintensieve en tijdrovende stappen in de voorbereiding industrieel worden uitgevoerd, gevolgd door een conserveringsstap om het product houdbaar te maken en te kunnen transporteren en via de handelsketen leveren aan de consument die broodje vervolgens kan afbakken. Vanzelfsprekend is hierbij een gelukkige omstandigheid dat de smaak en aroma vorming in het product grotendeels pas optreedt door het bakproces. In hoofdstuk 6 wordt verder ingegaan op het proces van broodbakkerij en het gebruik van koude daarbij.

Is de moderne zuivelindustrie mogelijk geworden door koeling. Ook in de *vleesverwerking* is het gebruik van koude een basis. Dit is niet alleen voor de verduurzaming van vlees, maar ook bij het klaarmaken en vormgeven aan verkoopklare eenheden vlees en vleesproducten. Doordat vlees gewoonlijk zacht en taai is en daardoor moeilijk te snijden in dunne plakken zonder een ervaren slager met zeer scherpe messen, bleek het in de praktijk een uitkomst om vleesproduct eerst een wartier of zo in de diepvries te leggen alvorens het te verkleinen (snijden, zagen, vermalen, vormen, ed.).

Een andere belangrijk geworden toepassing van koude is in de kant-en-klaar maaltijdsfeer. Vers bereide warme maaltijden werden omstreeks 1960 voor een klein deel verdrongen door diepvriesmaaltijden die alleen maar tot het kookpunt opgewarmd behoevden te worden met de toen nieuwe magnetron ovens. In de verzorgingstaal zijn steeds meer mensen voor hun voeding afhankelijk geworden van centrale grootkeukens; als ziekenhuizen, bejaardenoorden, tafeltje-dekje systemen, ed. Centralisatie, schaalvergroting en nieuwe werkmethoden, mogelijk geworden door koeling maakten een vergaande ontkoppeling van de tijdstippen van maaltijdbereiding en maaltijdconsumptie mogelijk. Door gebruikmaking van het feit dat veel gerechten na industriële voorbereiding en snelle afkoeling ongeveer een week bij 3 tot 4°C houdbaar zijn, konden nieuwe technologieën voor distributie en maaltijdverstrekking worden ontwikkeld. Goede logistiek en slim ingenieurswerk hebben de weg van grootkeuken naar verzorgde consument gestroomlijnd om binnen de veilige bewaartijden te blijven. Door in te vriezen kan deze bewaartermijn worden verlengd tot 3 tot 6 maanden. Hierbij treden wel onvermijdelijke smaakvervalking en enig verlies aan nutriënten op (bijv. het gehalte vitamine C, gevoelig voor oxidatie, kan dramatisch dalen). Maar economie en 'convenience' winnen het meestal, zo ook hier.

1.6 Ondersteunende maatregelen voor conservering door koude: blancheren, gasbewaren, drogen, bestralen ed. en Minimal Processing

In koudeketens zorgt verlaging van de producttemperatuur uiteraard voor de verduurzamende werking. Echter voor een zo optimaal mogelijk resultaat zijn ondersteunende maatregelen vaak nodig. Naast voor de hand liggende optimalisering van logistieke handelingen binnen de productieketens, van transport en opslag, kunnen worden genoemd:

- keuze voor (snel) vóórkoelen van product in een aparte ruimte of het langzaam afkoelen van product in de eigenlijke bewaarruimte;
- blancheren (kort verhitten in kokend water of stoom) als voorbereiding van veel diepvriesgroenten en -fruit; dit wordt behandeld in par. 5.5;
- bewaring van fruit en soms groenten in geconditioneerde ruimten met voldoende hoge luchtvochtigheid (tegen uitdroging) en/of met gemodificeerde atmosferen (gasbewaring d.w.z. verlaagd zuurstofgehalte en vaak verhoogd kooldioxide (koolzuur)gehalte) en verder;
- andere toepasbare maatregelen ter verlenging van de houdbaarheid van producten, zoals (gedeeltelijk) drogen, bestralen met gammastralen (verlaging microbiële besmetting en verlenging van de kiemrust, bijv. aardappelen), en gerichte verpakking. Dit laatste kan velerlei zijn, van verpakkingen (karton, folies) die het product mechanisch beschermen, uitdroging verhinderen of barrières vormen voor lichtinvloeden (verkleuring) of diffusie van zuurstof het product in om oxidatieprocessen (ranzig worden) te voorkomen. Vis wordt om deze redenen wel verpakt in een ijslaag (glaceren). Een goed gekristalliseerde ijslaag vormt een uitstekende barrière tegen de diffusie van gassen die het product kunnen schaden ook bij lage temperaturen.

Een momenteel belangrijke trend in de voedselconservering is de toepassing van z.g. **milde** conserveringstechnieken in optimale combinatie teneinde de productkwaliteit maximaal te handhaven. Door verbeterde kennis van de gevolgen van processing kan dit oudere concept, dat de naam '*minimal processing*' heeft gekregen, nu meer in diepte worden toegepast, met name door de onherroepelijke veranderingen van het voedselproduct tijdens processing en bewaring zo veel mogelijk tegen te gaan. Milde technieken zijn die conserveringsmethoden welke, gestuurd langs de rand van onderconserveren, de consumptiekwaliteit zo min mogelijk aantasten, althans minder dan de klassieke conserveringsmethoden (drogen, steriliseren, confeitte ed.) dit doen. Voorbeelden zijn laag pasteuriseren, gasbewaren, MAP ed. gecombineerd met gerichte koeling, toepassing van natuurlijke antimicrobiële verbindingen, gasverpakking, en nieuw is ook hoge druk behandeling. Dit heeft voor het product tot gevolg dat het aanzienlijk langer houdbaar wordt binnen een koelversketen, of ongeveer even lang als het traditionele product maar dan met veel beter kwaliteitsbehoud. Een zeer geslaagd voorbeeld is wel de ULO-bewaring van appels en peren waarvan de bewaartijd bij goede koeling met gerichte gasbewaring kon zelfs worden verdubbeld (hoofdstuk 5).

Hoofdstuk 2. KWALITEIT

2.1 Inleiding

Kwaliteit (volgens NEN/ISO 8402) is het geheel van eigenschappen en kenmerken van een bepaald product of dienst dat van belang is voor het voldoen aan daarbij behorende, vastgelegde of vanzelfsprekende behoeften.

In vervolg van dit hoofdstuk wordt hierop verder ingegaan teneinde het begrip kwaliteit nader te preciseren en meer kwantitatief te maken. De *kwaliteit* van een willekeurig product is dus het geheel van eigenschappen waarom het product wordt gewaardeerd. Zijn deze eigenschappen maximaal goed, bijv. een goed en vers gemaakt product waarover kenners het eens zijn dat dit product top is, dan is de kwaliteit optimaal (100% kwaliteit). In verkooptermen wordt wel gesteld: kwaliteit is waarom de klant het product kiest uit het bestaande aanbod en het vervolgens aankoopt.

Dit is zoals we dagelijks kwaliteit van iets ervaren. Nadere beschouwing leert dat het begrip kwaliteit in wezen ingewikkelder is en veel aspecten kent. Goede kennis van het beschouwde product is hiervoor noodzakelijk. Levensmiddelen zijn voedsel voor de mens en hebben daardoor een belangrijke functie voor zijn of haar gezondheid en welbevinden. Hierdoor hebben levensmiddelen een extra kwaliteit dimensie die andere chemische en technische producten niet kennen. Zo geldt in geval van de eindconsument dat keuze voor en aankoop van een bepaald levensmiddel meestal een combinatie betreft van directe levensbehoefte, economische motieven (budget) en vorige ervaringen met het betreffende product bepalen zullen zijn.

Aldus kan kwaliteit worden gedefinieerd vanuit meerdere gezichtspunten. Vanuit de consument bijvoorbeeld zullen gebruikerseigenschappen zoals prijs (value for money), voedingswaarde, handelingsgemak, goede verpakking met geschikte informatie, bewaarbaarheid, smaak en mogelijk veiligheid een belangrijke rol spelen. Vanuit de producent daarentegen zal het zwaartepunt meestal liggen bij andere aspecten zoals ervaring, rentabiliteit, verwerkbaarheid in zijn productieproces en beheersbaarheid van het resultaat, evenals het gemak waarmee tijdens de productie aan wettelijke eisen (bijv. warenwettelijke en milieueisen) kan worden voldaan. Vanuit de boer of tuinder als producent van de grondstof waaruit het voedingsmiddel uiteindelijk wordt gemaakt kunnen weer andere eisen aan de kwaliteit worden gesteld.

Na enkele opmerkingen over de historie van het kwaliteitsbegrip gaat het vervolg verder in op de aard van de kwaliteit van biologische producten, waarbij als voorbeeld goed wordt gekeken naar het product koemelk. Het behoeft hier geen verder argument dat de beheersing van kwaliteit van het grootste belang is bij verduurzaming van levensmiddelen via koudeketens en in het algemeen. De actieve zorg voor de handhaving en reproductie van kwaliteit en het bewaken van de risico's die kwaliteit kunnen ondermijnen zijn het onderwerp van hoofdstuk 3.

2.2 De historie van kwaliteit

Niet het officiële gedefiniëerde begrip *kwaliteit*, maar wel het gevoel voor kwaliteit is al zo oud als het allereerste onderscheid tussen goede en inferieure waren. Het moderne exacte kwaliteitsbegrip in zijn kwantificeerbare vorm ontstond als gevolg van een nieuwe behoefte aan massaproductie. Het was in 1798 toen uitvinder Eli Whitney uit New Haven een contract tekende met de federale regering van de, toen nog jonge, Verenigde Staten van Amerika, voor de levering van 10 000 musketten (geweren) over een periode van 28 maanden. Zelf had hij nog nooit een musket vervaardigd maar hij had wel durf en een voor die tijd bijzonder idee.

Om het gewenste aantal geweren op tijd te kunnen leveren vond Whitney een nieuwe organisatievorm uit: de *assemblage* van apparatuur. Hij veranderde de toenmalige werkwijze dat één ervaren muskettenmaker de hele musket in elkaar bouwde in de assemblage daarvan. Whitney organiseerde het zo dat één persoon de lopen maakte, een ander de kolven, een derde de vizieren en een vierde de trekker of weer een ander onderdeel, enz. Alle onderdelen bijeen werden vervolgens geassembleerd tot het nieuwe geweer. Deze nieuwe werkwijze stelde voor die tijd zeer hoge eisen aan de precisie waarmee onderdelen op elkaar

moesten aansluiten. Dit was nodig om tijd te winnen, want zoals bekend bij technische klussen "met (aan)passen en meten raakt de tijd verstreken".

De benodigde lijsten met exacte specificaties waaraan de musketonderdelen moesten voldoen gaven a.h.w. een beschrijving van de kwaliteit van de diverse onderdelen. Deze nieuwe werkwijze van Whitney legde na verloop van tijd de basis voor moderne massaproductie. Ruim honderd jaar later bouwde Ford in Detroit zijn grote productielijn voor de assemblage van de beroemde T-Ford auto's. Kleinere producties van allerlei geassembleerde machines en voertuigen bestonden toen al lang. Vooral met de verbeterde productiemethoden en toepassingen van ijzer en staal, bekend geworden halverwege de 18^{de} eeuw, was de technische vooruitgang naar de moderne tijd definitief begonnen. De 19^{de} eeuw kent een lange reeks van toepassingen hiervan.

Het Amerikaanse leger is in meerdere opzichten een motor geweest voor het invoeren van kwaliteitsbewaking en management. Hun eisen voor constante, hoge kwaliteit van foerrievorraden heeft veel levensmiddelenbedrijven gedwongen hun kwaliteitsbeheer sterk te verbeteren. De eerste ISO-9000 productvoorschriften voor kwaliteit en standaardisatie in de levensmiddelenindustrie waren geïnspireerd door bestaande lijsten van specificaties en werkwijzen welke door het leger van de USA werden gebruikt voor leveranciers van legervoorraden. Waarschijnlijk is de invoering van kwaliteitsmanagement in de levensmiddelentechnologie in Nederland versneld gestimuleerd doordat in de tijd van de Vietnam-oorlog (1965 – 1972) enkele bedrijven leverden aan het Amerikaanse oorlogsbedrijf en zodoende bekend werden met de hoge kwaliteitsnormen die het Amerikaanse leger vereist.

Verdere systematisering van het denken over kwaliteit van levensmiddelen kwam in Nederland pas op gang aan het einde van de zeventiger jaren. De USA en Japan liepen hierbij voorop. Vergroting van de productieschaal en de behoefte aan een beter beheersbare, meer constante kwaliteit waren de belangrijkste motieven hiervoor. Later kwamen hierbij wettelijke maatregelen in het kader van de plicht van de overheid tot bewaking van voedselveiligheid en warenwettelijke kwaliteit. Vooral door de levensmiddelenbedrijven te verplichten tot invoering van een aantoonbaar kwaliteitscontrolesysteem met terugkoppeling voor het gehele productieproces (*HACCP-systeem*) sinds december 1995, is management van kwaliteit tot de meest belangrijke sturing van het productieproces geworden. Voor de EG liepen Nederland en Duitsland hierbij voorop.

2.3 De kwaliteit van levensmiddelen

Het belangrijkste eerste hoofdaspect van voedingsmiddelen is voedingswaarde; dit is waarom we het eten. Het tweede hoofdaspect is *voedselveiligheid*; het moet veilig zijn omdat we het eten. Dit wil zeggen microbieel, toxicologisch en chemisch veilig bij consumptie en goed van voedingswaarde. Hierna volgen de andere aspecten waarvan alle eigenschappen tezamen gewoonlijk *kwaliteit* worden genoemd en voor voedingsmiddelen zijn dit gewoonlijk vele aspecten. In het dagelijks verkeer krijgt het aspect voedselveiligheid relatief weinig aandacht omdat het stilzwijgend beschouwd wordt als een integraal en vanzelfsprekend onderdeel van de totale kwaliteit van het levensmiddel.

Pas bij een vergiftiging of uitbraak van besmetting komt dit aspect levensgroot naar voren. *om dit te voorkomen is het van het aller grootste belang om de grondstoffen en de daaruit geproduceerde voedingsmiddelen altijd → →*
Dat de kwaliteit van een willekeurig levensmiddel vele uiteenlopende aspecten kent komt enerzijds voort uit de aard van de primaire productie van biologische producten en de daaruit geproduceerde levensmiddelen, anderzijds spelen de aard van de menselijke basisbehoefte aan voeding en zijn emotionele binding daarmee hierin een belangrijke rol. De aard van de biologische productie veroorzaakt dat de grondstof voor levensmiddelenproducten een grote variatie in eigenschappen kent. Hierdoor zullen de kwaliteitsmarges van de eindproducten meestal verder uiteenlopen dan van chemische producten. Een voorbeeld van deze laatste is keukenzout NaCl, waaraan eigenlijk alleen gevarieerd kan worden: zuiverheid (is het voldoende schoon en zuiver om als keukenzout voor menselijke consumptie geschikt te zijn?), deeltjesgrootte en vochtgehalte.

Een probleem hierbij is ook dat van veel levensmiddelen de *objectieve meting van kwaliteit* vaak niet goed mogelijk is. Wat de een lekker vindt behoeft dat niet voor een ander te zijn. In verschillende keukens worden producten vaak anders toe bereid met sterk uiteenlopende resultaten. Door die verschillende behandelingen worden relevante gebruikerseigenschappen vaak uiteenlopend gewaardeerd. Veel

levensmiddelenproducten zijn uniek. Bijvoorbeeld, vijf stukken Goudse boerenkaas afgesneden van vijf identiek bereide en behandelde kazen smaken volgens kenners nooit hetzelfde. Daarnaast is er de

psychische beïnvloeding van de menselijke sensoriek door de omgeving en het eigen menselijk systeem (stemming, ziekte e.d.). Zo is het verse Franse stokbrood nergens zo goed als op vakantie in het kleine Franse dorpje 's morgens om half negen als het nog maar pas uit de bakkersoven is.

Als voorbeeld van kwaliteitsbeoordeling in de praktijk en ook van de complexiteit daarvan wordt in de volgende paragrafen dieper ingegaan op de kwaliteit van melk. Melk en zijn kwaliteit vormen een goed voorbeeld van ingewikkeldheid van de kwaliteit van de meeste agro-food producten.



VOORKOM AANWEZIGHEID VAN VOEDSELVERGIFTIGERS

-  Voordat u gaat koken en eten; was uw handen met water en zeep; droog ze af met een schone handdoek. Let erop dat kinderen ook goed hun handen wassen.
-  Houd alle materialen die met voedsel in aanraking komen goed schoon. Was ze af in heet water met afwasmiddel en droog ze af met een schone theedoek.
-  Houd rauwe producten en klaargemaakt eten gescheiden.
-  Zet afgekoeld eten altijd afgedekt weg.
-  Ontdooi bevroren vlees of kip in een ruime schaal in de koelkast. Spoel dooiwater weg door de gootsteen. Was de schaal af in heet water met afwasmiddel. Neem gemorst dooiwater op met keukenpapier en gooi dit direct weg.
-  Ruim afval op en houd vliegen en andere insecten uit de buurt van voedsel.
-  Maak de plaatsen waar voedsel wordt bewaard en bereid regelmatig goed schoon.
-  Maak de koelkast regelmatig schoon met warm sodawater en daarna met warm water.

VOORKOM VERMEERDERING VAN VOEDSELVERGIFTIGERS

-  Ontdooi bevroren voedsel in de koelkast, tenzij anders op de verpakking staat aangegeven.
-  Breng uw eten snel aan de kook (100°C) en laat het enige tijd doorkoken.
-  Zet warme voedingsmiddelen pas in de koelkast, nadat ze zijn afgekoeld.
-  Koel verwarmde voedingsmiddelen snel af, bijvoorbeeld in koud water.
-  Bewaar eten dat kan bederven in de koelkast.
-  Bewaar restanten niet langer dan enkele dagen.
-  Controleer regelmatig de temperatuur van uw koelkast. Deze moet 7°C of lager zijn.

Uitgever: Ministerie van
Wetgeving, Volksgezondheid en
Omgeving

Samenvatting: Bijlage van
aan de Volksgezondheid,
Verenigd Koninkrijk
Houdingsinspectie (Lancashire)
dieren, Volksgezondheid
aanbeveling, in samenwerking
met het Voedselinspectie
van de Voeding

Illustraties: Krom design
studio

Productie: editie van Voeding
toegankelijk voor
Ministerie van Wetgeving,
Volksgezondheid en Cultuur
Postbus 479
2203 AA Leidschendam
Telefoon: 070 2093 60

Ontd.: Samenstelling, v-Go
verduidelijkt
september 1983
1365427 - 602

Figuur 2.1 Voedselveiligheid en hygiëne

2.4 De kwaliteit van melk

Sinds menscheugenis is melk van koeien, geiten en andere grote zoogdieren een essentieel voedingsmiddel is geweest, vooral voor kinderen, omdat het alle essentiële voedingsstoffen bevat. In Noordwest Europa, vooral in Nederland en Denemarken, waar veel land ongeschikt is voor de teelt van granen, is de veehouderij en als gevolg daarvan in de moderne tijd een sterke zuivelindustrie tot bloei gekomen. De kwaliteitsbeoordeling van melk stamt van omstreeks 1900 en werd het eerst ontwikkeld in Nederland uit pure noodzaak; dit behoeft enige uitleg.

Voor de wereld was Londen toen ongeveer wat New York nu is, het urbane centrum van de westelijke wereld. De welvaart was er relatief hoog, gevoed door het Engelse imperium, dat de halve wereld omvatte. Er was een goede koopkracht en er waren veel monden om te voeden. De export van zuivelproducten vanuit Nederland en Denemarken naar Londen liep goed en vulde de veel te kleine Engelse productie aan. Voor de Engelsen zelf was er meer te verdienen overzee dan aan de voedselproductie in eigen land. Omdat de vraag groot was en de controle gering kwam vervalsing relatief vaak voor. Berucht waren de tonnen boter met in de onderste helft geen boter maar afval. Door malafide praktijken dreigde Nederland op een gegeven moment zijn zuivelexport te verliezen. Toen greep het bonafide deel van de bedrijfstak in en, gesteund door de Nederlandse regering, stichtten zij de zuivelcontrolebureaus en laboratoria die uiteindelijk alle partijen zuivelproducten voor de exporthandel controleerden en van keurmerken voorzagen. De kosten hiervan werden via heffingen opgebracht door de bedrijfstak zelf. Dit was voor die tijd uniek en heeft veel navolging gevonden in andere landen en bedrijfstakken.

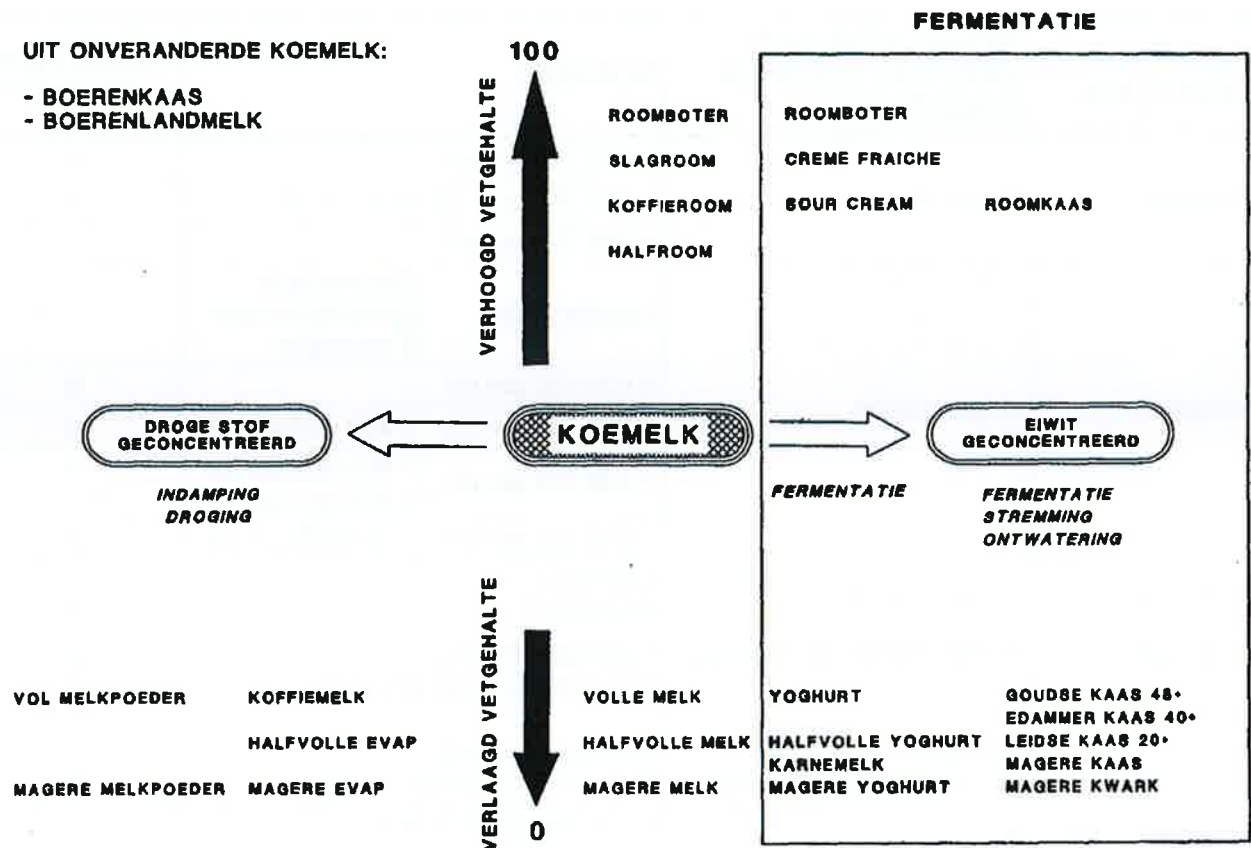
Mede door deze achtergrond is, in vergelijking met andere levensmiddelen, met koemelk en zijn producten de meeste ervaring opgedaan in het denken over en ontwikkelen en meten van kwaliteit en zijn kenmerken. De ontwikkeling van de kwaliteitscontrole van melk heeft als unieke voordelen gehad het enorme productievolume (het wordt door bijna iedereen in NW-Europa in een of andere vorm geconsumeerd) én dat het vloeibaar is en dus goed hanteerbaar. Voor andere levensmiddelen die in Nederland allen een kleiner productievolume hebben ligt dit wat moeilijker. Bedrijfstakken zijn kleiner en de veelheid van producten, waarvan elk varieert met zijn productieomstandigheden maken het totale beeld complex.

Een schema van koemelkverwerking en de mogelijke producten daaruit, is weergegeven in figuur 2.2. Dit schema wordt begrijpelijk door de chemische samenstelling van melk in de beschouwing te betrekken. Deze vloeistof, die het voedsel van pasgeboren zoogdieren vormt, heeft bij de koe globaal de volgende samenstelling in procenten, zie tabel 2.1:

COMPONENT	PERCENTAGE
water	86,9
melksuiker	4,6
vetten	4,2
eiwitten	3,3
minerale zouten	0,9
overige stoffen	0,1

Tabel 2.1 Samenstelling van koemelk

Een vetscheiding werd vroeger meestal uitgevoerd door koemelk te laten verzuren en intussen te karnen, waardoor boter en karnemelk ontstaan. Door de component water geheel of gedeeltelijk te verwijderen ontstaan evap, ingedikte melk (wat de basis is voor koffiemelk) en in geheel droge vorm: melkpoeders en. Door melk te stremmen en vervolgens de wrongel (ruim 80% van het melkeiwit) af te scheiden van de wei; vervolgens deze wrongel te persen en de verkregen vaste massa daarna te rijpen, verkrijgt men kaas. Door melk te verzuren, met de juiste bacteriën onder de juiste condities, verkrijgt men yoghurt. Voor al deze processen is melk van goede kwaliteit nodig. Hierbij moet rekening worden gehouden met een variatie in eigenschappen van de melk door het jaar heen, veroorzaakt door het variërende voedsel en de fysiologie (lactatieperiode) van de koe.



Figuur 2.2 Schema koemelkbewerking en producten die hieruit ontstaan.

Door de kwaliteit te beschouwen vanuit meerdere invalshoeken die de verschillende onderdelen van de productieketen vertegenwoordigen (boer, melkfabriek, controleur, handelaar en consument) krijgt men een idee van de vele aspecten ervan.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de kwaliteitskenmerken waarop de door de boer afgeleverde melk wordt gecontroleerd en uitbetaald. Door het jaar heen zijn allerlei invloeden op de melkproductie zichtbaar; soort voedsel (vers weidegras en kruiden, kuilvoer, krachtvoer ed.) dat de koe eet, zomer en winter, lactatieperiode van de koe en melkgift in de tijd, ed. Melkinrichtingen in de productiebedrijven slagen er door standarisatie van de melk in om door het jaar heen een vrijwel constant eindproduct te leveren. De kwaliteitshandhaving in de melkproductieketen wordt vereenvoudigd doordat melk een vloeibaar product is.

Soms is het door de aard van het product en de natuurlijke omstandigheden moeilijk om het product binnen de keten perfect te begeleiden. Voor melk blijkt dit soms al moeilijk te zijn. Door de nog niet perfecte beheersbaarheid van de productieketen blijkt bijvoorbeeld dat gepasteuriseerde melk in de winter iets langer houdbaar is dan in de zomer. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door een grotere inlek van warmte met als gevolg gemiddeld iets hogere producttemperaturen in het zomerseizoen.

KWALITEITS- KENMERKEN	FREQUENTIE VAN BEMONSTERING EN ONDERZOEK	NORMEN		KORTINGS PUNTEN *
1. Kiemgetal	2x per maand	≤ 100.000 per ml		0
		> 100.000 en ≤ 250.000 per ml		1
		> 250.000 per ml		1
2. Celgetal	1x per maand	Laatste uitslag	Geometrisch gemiddelde over 3 maanden	
		≤ 400.000 per ml		0
		> 400.000 per ml	≤ 400.000 per ml	0
		> 400.000 per ml	> 400.000 per ml ≤ 500.000 per ml	1
		> 400.000 per ml	> 500.000 per ml	2
3. Reinheid	1x per maand	Gradatie I		0
		Gradatie II		2
4. Boterzuur	1x per maand nov. t/m april	Geen gasvorming Gasvorming in beide buizen		0 2
	Voortgezet onderzoek in volgend kwaliteitsmonster	Geen gasvorming Gasvorming in beide buizen		0 2
5 Zuurtegraad vet	2x per jaar	$\leq 1,00$ mmol/100 g vet		0
		$> 1,00$ mmol/100 g vet		2
6 Vriespunt	2x per jaar	$\leq 0,505$ °C		0
		$> 0,505$ °C		1
7 Bacteriegroei remmende stoffen	Elke leverantie	Afwezig		50 cent per kg per leverantie

Tabel 2.2 Kwaliteitsstelsel boerderij melk per 1 januari 2001.

2.5 Kwaliteit en Houdbaarheid

Alhoewel houdbaarheid slechts één aspect van kwaliteit is, is verlenging van de houdbaarheid wel het belangrijkste wat de toepassing van koude nastreeft. Door de toepassing van koude wordt een biologisch product verduurzaamd, d.w.z. de houdbaarheid wordt verlengd. Daarom worden in het vervolg soms de woorden kwaliteit en houdbaarheid door elkaar gebruikt. Omdat de houdbaarheid van het levensmiddel gemeten en berekend kan worden is houdbaarheid hier een maat voor kwaliteit. Deze houdbaarheid van een bederfelijk levensmiddel loopt af zodra het product wordt beoordeeld als bedorven of niet meer bruikbaar of verkoopbaar. De kwaliteit is dan verlopen, onacceptabel of nul geworden als gevolg van bederfprocessen. De houdbaarheidstermijn is in wezen de duur van de achteruitgang van de kwaliteit van het beschouwde product totdat het onacceptabel (oneetbaar) is geworden.

Pas geoogste land- en tuinbouwproducten die de vers- of de vriesketen doorlopen, hebben in aanvang een kwaliteit 1 ofwel 100%. De snelheid van de beschouwde kwaliteitsachteruitgang (houdbaarheidsduur) is afhankelijk van diverse factoren, waarbij in koudeketens de handhaving van de producttemperatuur in de eerste plaats komt. Het verloop van de kwaliteit van individuele producten tijdens de bewaring bij verlaagde temperaturen is het onderwerp van de zgn. tijd - temperatuur - tolerantie (TTT) studies.

In de praktijk wordt voor ieder type levensmiddel de achteruitgang in kwaliteit beoordeeld, waarna voorspellingen voor gelijksoortige producten worden gedaan, rekening houdend met variaties als gevolg van soort, ras, seizoen, voorbehandeling e.d. Meestal speelt ervaring hierbij een belangrijke rol. De variatie van biologische producten, onvoldoende kennis van objectieve kwaliteitsmeting en onvoorziene omstandigheden echter zorgen nogal eens voor verrassingen.

2.6 Houdbaarheid; TTT en PPP

Tijd-Temperatuur-Tolerantie (TTT)-gegevens beschrijven de relatie tussen bewaartemperatuur en de maximale bewaarduur, d.w.z. de tijdspanne waarin de productkwaliteit daalt van volledig vers tot de laagste grenswaarde van afkeuring. Deze gegevens zijn product-specifiek. In de praktijk behoort op de verpakking van ieder product één punt van de TTT-gegevens (met een marge in de veiligheid) te zijn aangegeven. Dit is de uiterste verkoopdatum en liefst de productiedatum in combinatie met een aanwijzing over de gewenste bewaartemperatuur, als het product bewaard moet worden anders dan bij kamertemperatuur.

De set TTT-gegevens van een product kunnen door allerlei bijkomende factoren worden beïnvloed. Deze factoren worden samengevat in de zgn. PPP-factoren die te maken hebben met invloeden vanuit het product zelf (aard, kwaliteit, versheid, variëteit, seizoensinvloed, agrarische productie omstandigheden), het bewerkingsproces dat het product heeft ondergaan (voorbewerkingen, schoonmaken, blancheren, andere behandelingen), en de verpakking waarin het bewaard wordt (type verpakking, folie, karton, glaceren bij diepvries, of geen verpakking; een zuurstof ondoorlatende folie zal een diepvriesproduct dat gevoelig is voor oxidatieve smaakverandering een veel langere houdbaarheid geven. Aldus staat PPP voor Product, Process and Packaging.

Het TTT-concept werd geïntroduceerd bij het bekende Albany-onderzoek naar de houdbaarheid van diepvriesproducten en de maximale profijtelijkheid van de diepvriesmethode zelf. In Albany is één der 4 grote Agricultural Research Stations in de USA gevestigd. Het grote diepvries onderzoek liep enkele jaren vanaf 1947. Het PPP-concept werd in 1963 geïntroduceerd door de Deense onderzoekers Dalhof en Jul. Sindsdien heten studies over de bewaarduur van levensmiddelen in de diepvries vaak TTT - PPP studies. Alhoewel de methode werd ontwikkeld voor diepvries bewaring is deze in principe ook toepasbaar op gekoelde vers producten.

Evenals het objectief en goed meten van andere kwaliteitsaspecten van levensmiddelen ingewikkeld kan zijn is ook het vaststellen van de *bewaarduur* van een product (meting van de grenswaarde van acceptatie) niet zelden enigszins willekeurig en afhankelijk van het kwaliteitsbewustzijn van de beoordelaar. Wat de ene consument al afkeurt zal een ander mogelijk nog als acceptabel beoordelen. Om resultaten zo goed mogelijk te objectiveren bedienen onderzoekers zich van definities en statistische betrouwbaarheidstesten. De meest gebruikte definities van houdbaarheid zijn:

- *PSL* (Practical Storage Life),
- *HQL* (High Quality Life) en
- *Stabiliteitsduur* (stability time).

De PSL wordt bepaald door een representatief consumentenpanel te laten vaststellen wanneer het product nog juist acceptabel is. De veel gebruikte term 'shelf life', of in het nederlands gewoon 'houdbaarheid', betekent ongeveer hetzelfde. Dit is omdat er geen exact definiëerbare definitie van 'acceptabel' is.

De HQL norm komt voort uit het Albany onderzoek waarmee veranderingen in een product kunnen worden gemeten. HQL is de tijdsduur van bewaring bij een zekere temperatuur die is verlopen totdat een getraind testpanel een statistisch verantwoord verschil heeft vastgesteld tussen het te onderzoeken monster en een bij veel lagere temperatuur bewaard identiek product. Het proefpanel werkt hierbij volgens de zgn. driehoekstest, waarbij verschillen tussen twee monsters worden gemeten door in de test steeds drie monsters op te stellen waarvan er twee identiek zijn. Statistisch kan worden vastgesteld of er een duidelijk verschil tussen de monsters bestaat en via herhalingen kunnen goede keurmeesters van minder goede worden onderscheiden.

De Stabiliteitsduur wordt bepaald doordat productmonsters op een schaal van 10 punten beoordeeld worden door een testpanel. De stabiliteitsduur van een monsters is gedefinieerd als de tijd die verlopen is

totdat het onderzochte monster één punt onder zijn uitgangswaarde is gedaald. In deze meting loopt dus geen referentie (hetzelfde product dat bewaard is bij veel lagere temperaturen) mee.

Diverse nationale onderzoeksinstituten in verschillende landen hebben hun eigen methoden voor de meting van bewaarduur van bederfelijke producten ontwikkeld. Deze methoden zijn meestal vergelijkbaar met de hierboven genoemde methoden, maar geven ietwat verschillende resultaten. Daarnaast hanteren levensmiddelen productiebedrijven soms weer iets andere, van bovenstaande afwijkende, op eigen ervaring berustende, methoden voor houdbaarheid. Gezien de aard en diversiteit van het scala aan levensmiddelen is dit begrijpelijk.

Van de boven genoemde methoden geeft de HQL norm bij diepvriesproducten de kortste bewaarduur. Deze is wat meer academisch van aard en geeft goed inzicht in product veranderingen maar is in de dagelijkse praktijk minder geschikt. Consumenten weten dat diepvries producten niet 'vers' meer zijn en zijn dan makkelijker geneigd veranderingen, die niet echt tegenstaan, te accepteren. Een enkele keer kan de interpretatie van de resultaten bij lage temperaturen onduidelijk zijn zoals bij diepvriesproducten die niet meer echt winnen aan bewaarduur bij nog lagere temperaturen. Een voorbeeld hiervan is varkensvlees, dat bij -40°C maar weinig langer houdbaar is dan bij -30°C; dit is omdat de smaakverandering als gevolg van ranzig worden de kwaliteit achteruitgang gaat overheersen. De vetoxidatie die hieraan ten grondslag ligt is minder temperatuur gevoelig.

De TTT-gegevens voor een product kunnen op diverse manieren worden weergegeven.

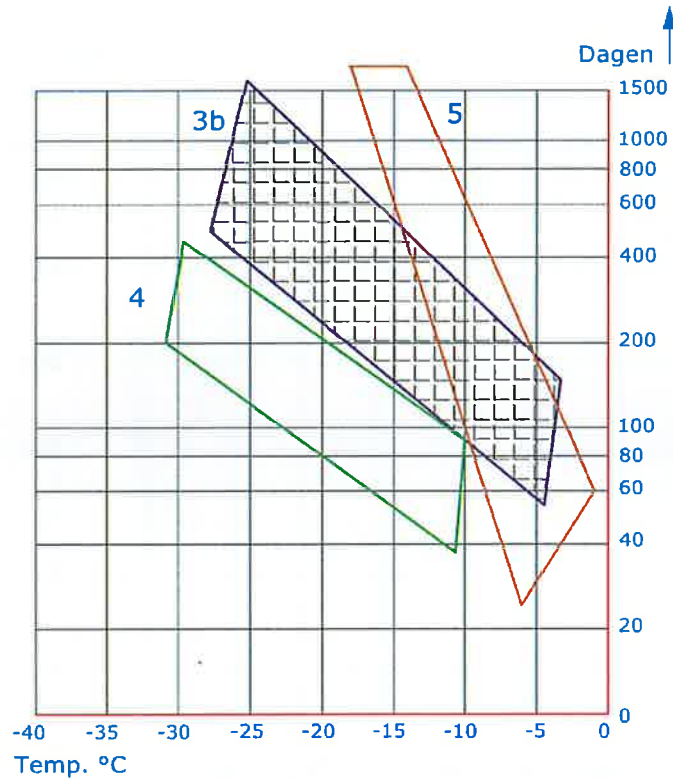
- De combinatie van productiedatum en uiterste verkoop- of gebruiksdatum en gewenste bewaartemperatuur is al genoemd. Als hierbij de Q10 voor de houdbaarheid van het product bekend is zijn de TTT-gegevens bij benadering compleet;
- Log - Lineair diagram van kwaliteitsverval tegen bewaarduur bij verschillende bewaartemperaturen;
- Directe meetgegevens van de houdbaarheid van een product bij uiteenlopende temperaturen geeft gewoonlijk het beste beeld. Halflogaritmisch plotten (log bewaarduur tegen temperatuur (of reciproque absolute temperatuur)) van de gegevens geeft een (nagenoeg) lineair verband buiten het invriesgebied (zie module A1, hoofdstuk 5);
- Ook als men slechts over beperkte gegevens beschikt kan de formule 5H uit A1-H5 worden gebruikt voor een goede extrapolatie van de houdbaarheidsduur naar naburige temperaturen.

$$t_x = t_1 * Q_{10}^{((T_1 - T_x)/10)}$$

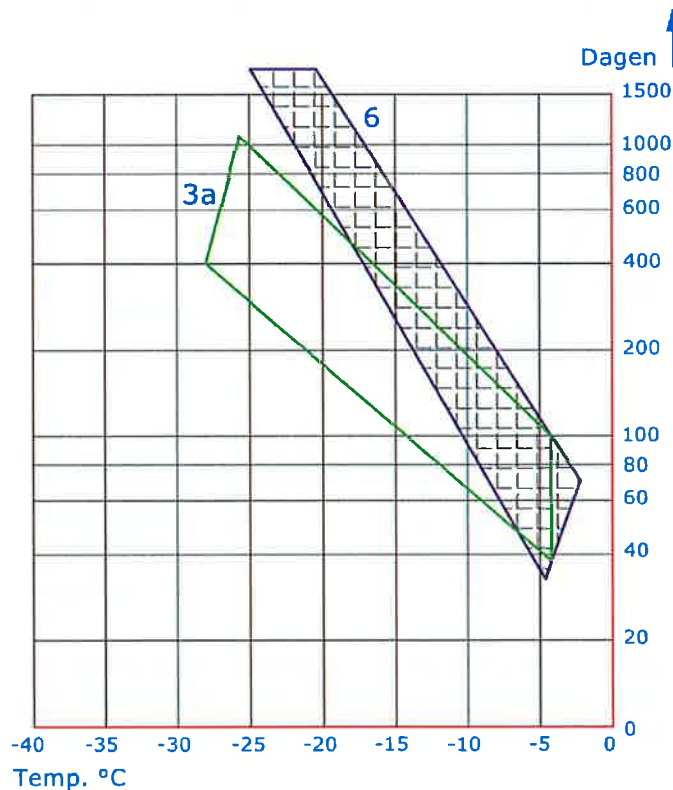
Het log-lineaire verloop van het verval van kwaliteit in de tijd is een ervaringsfeit, dat voor de meerderheid der levensmiddelenproducten niet diepgaand systematisch onderzocht is. Er is echter weinig reden om aan te nemen dat dit verval niet lineair is voor bijvoorbeeld knollen en bladgroenten. Er bestaan specifieke uitzonderingen; zo geldt voor het product champignons dat als de hoed van de paddenstoel opengaat het verval flink wordt versneld door het nu veel grotere verdampende oppervlak van de paddenstoel. Dit laatste is geldig voor verse producten.

De houdbaarheidsduur van een willekeurig product waarvan de voorgeschiedenis niet bekend is, is vanzelfsprekend niet meer voorspelbaar. In de praktijk zal bij verse land- en tuinbouwproducten onder vergelijkbare temperatuur en bewaar omstandigheden steeds enige variatie worden waargenomen, omdat dit inherent is aan de aard van deze producten.

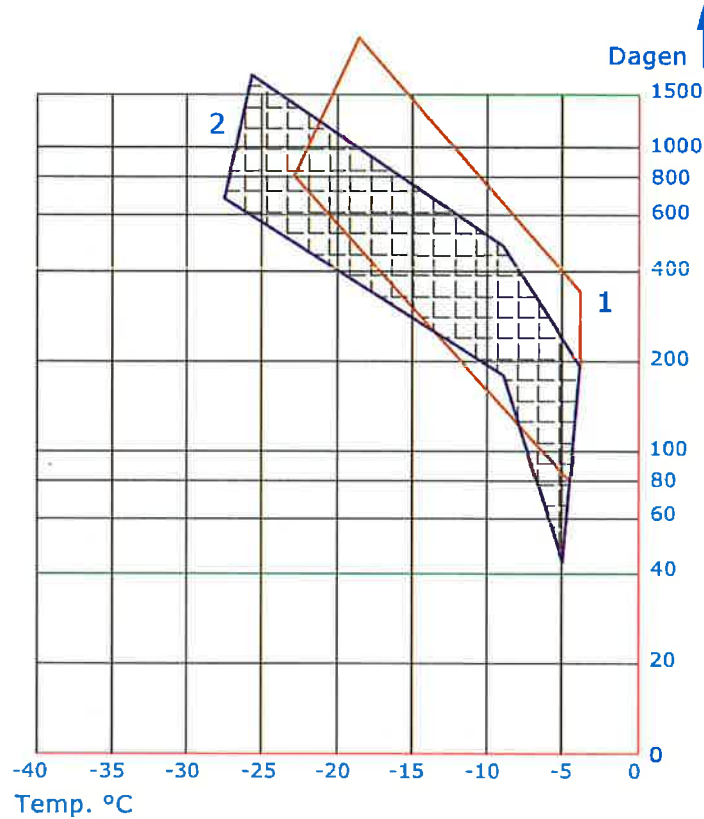
In de volgende figuren 2.3 tot en met 2.13 is het verval van de kwaliteit gedurende de tijd-temperatuur historie van diverse producten geïllustreerd. Het zijn TTT-gegevens van voedingsmiddelen, waarbij in enkele gevallen ook de invloeden van de diverse PPP-factoren hierop zijn weergegeven.



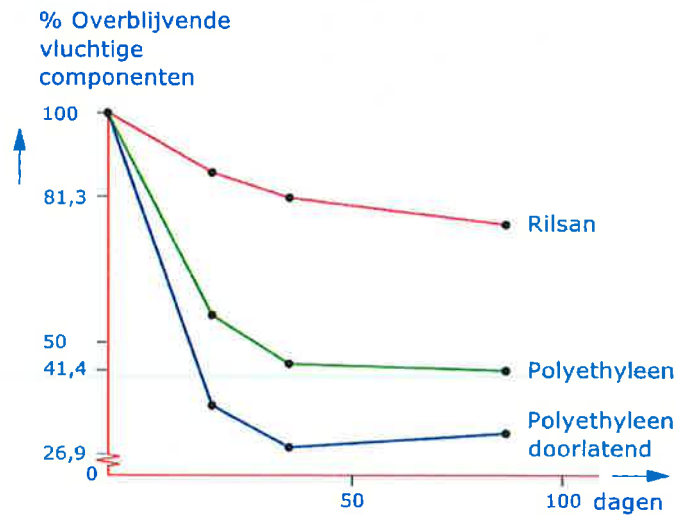
Figuur 2.3 Acceptatie gebieden (globale houdbaarheid) van kant-en-klaar maaltijden zonder saus (3b), vette vis (4) en vruchten en bessen (5) als functie van diepvries bewaartemperaturen.



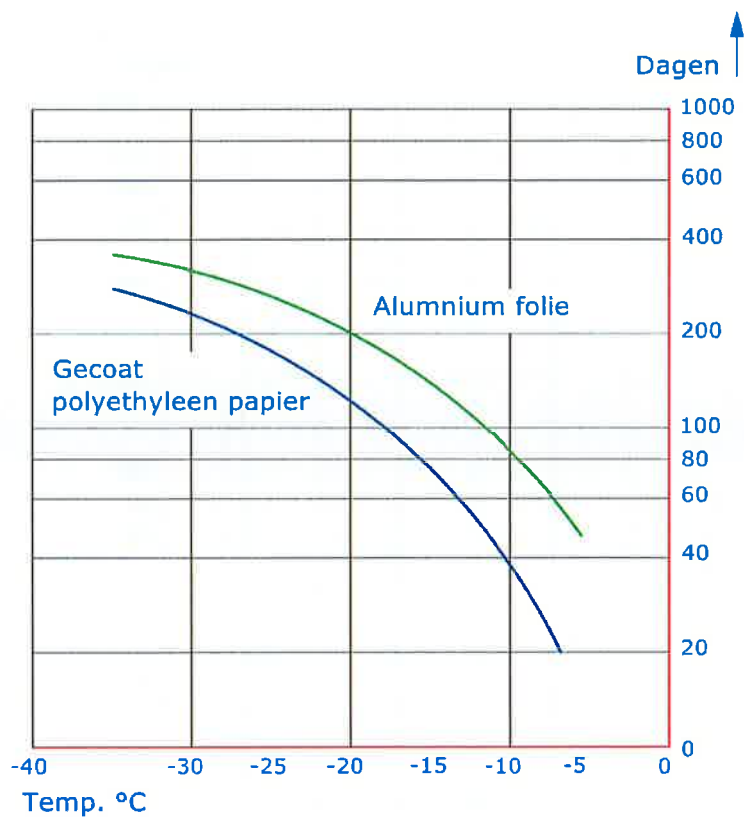
Figuur 2.4 Acceptatie gebieden (globale houdbaarheid) van magere vis (3a) en groenten (6) als functie van (diepvries) temperatuur.



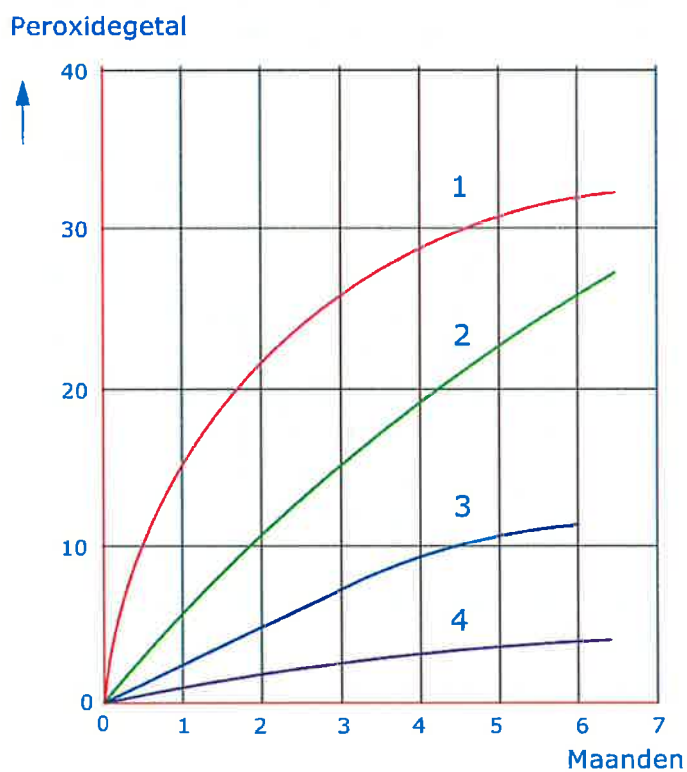
Figuur 2.5 Acceptatie gebieden (globale houdbaarheid) van mager vlees en kant-en-klaar maaltijden met mager vlees in saus (1) en kant-en-klaar maaltijden met vet vlees in saus (2) als functie van (diepvries)temperatuur.



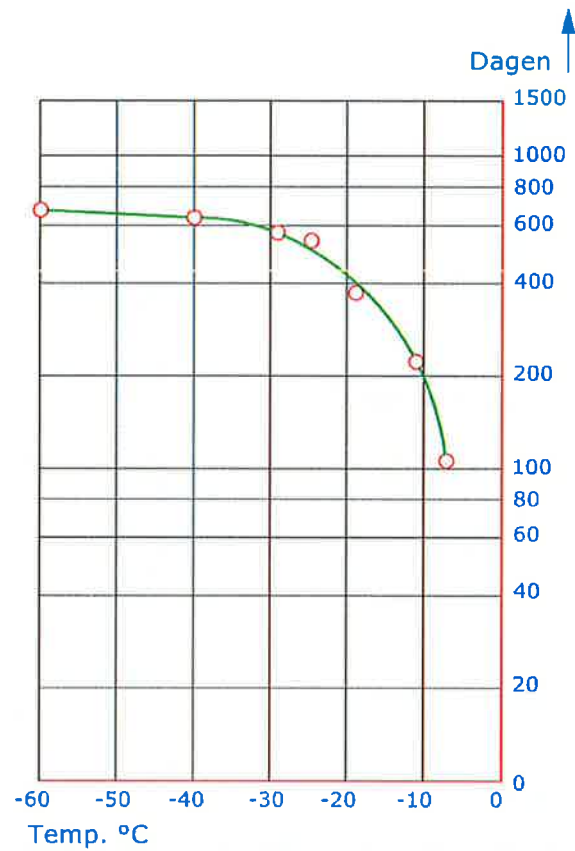
Figuur 2.6 Effect van verpakking op het verlies van vluchtige componenten uit ongeblancheerde peterselie, bewaard bij -16°C. Polyetheen hoge dichtheid en lage dichtheid (is meer permeabel). Rilsan is geen polyetheenfilm maar een polyamidefilm.



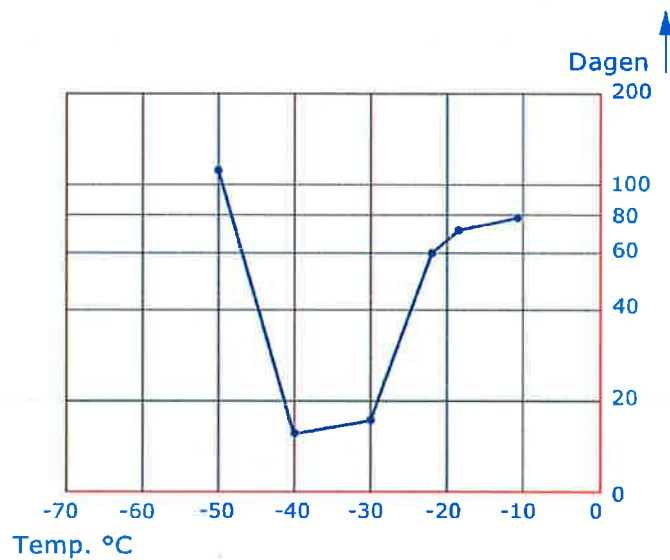
Figuur 2.7 Invloed van verpakking op de houdbaarheid van individueel verpakte hamburgers.



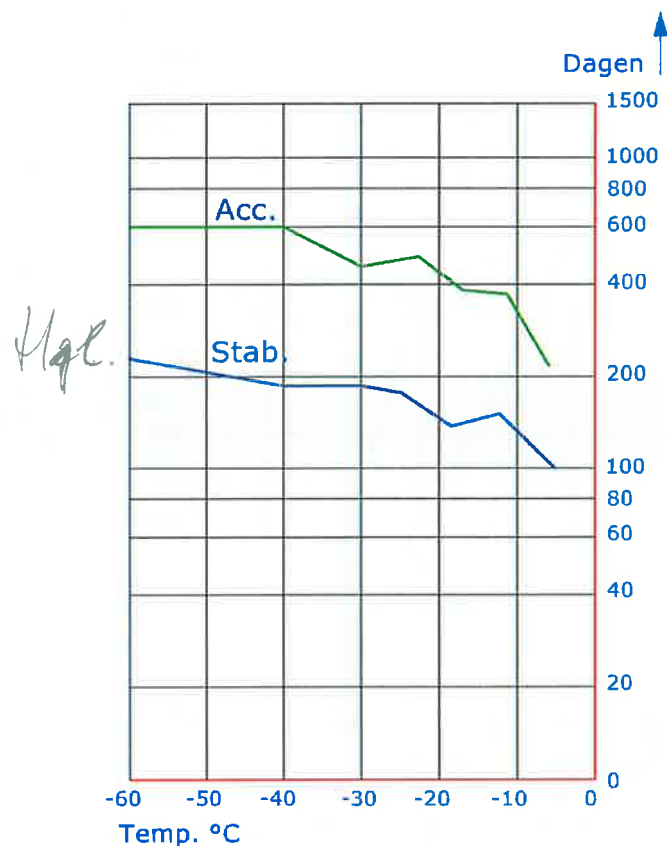
Figuur 2.8 Effect van invrieswerkwijze op de ontwikkeling van ranzigheid (peroxidegetal) in diepvriessharing. Ingevroren in: 1: pekkel, 2: pekkel met glaceren, 3: harde koude luchtstroom, 4: harde koude luchtstroom met glaceren.



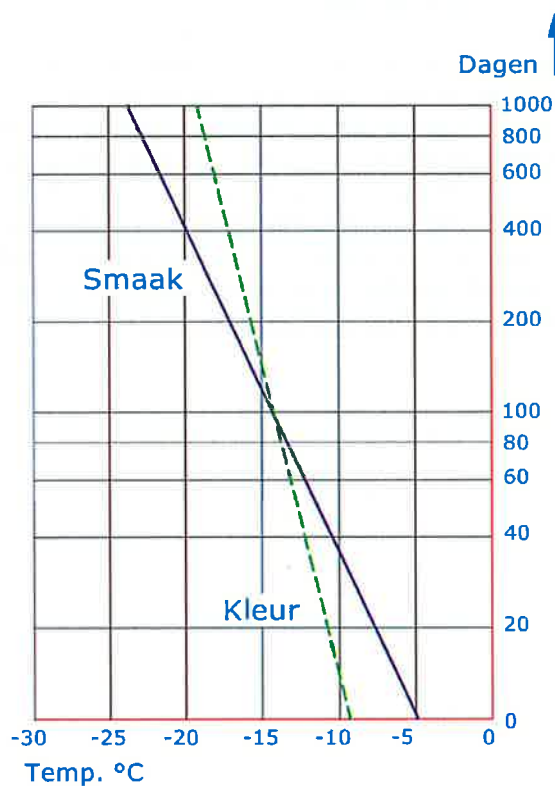
Figuur 2.9 Houdbaarheid van bevroren gehakt in zuurstofdoorlatende film. Illustratie van bij lagere temperaturen dalende Q10.



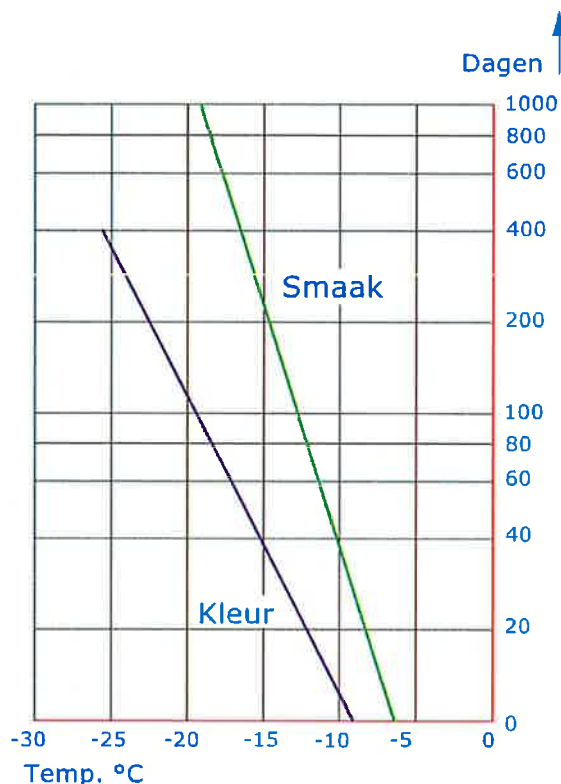
Figuur 2.10 Tijd-Temperatuur-Tolerantie van niet-geblancheerde snijbonen. Niet constante Q10.



Figuur 2.11 Verschillen tussen houdbaarheidsmetingen; nog acceptabel versus vaststelling van eerste verandering.



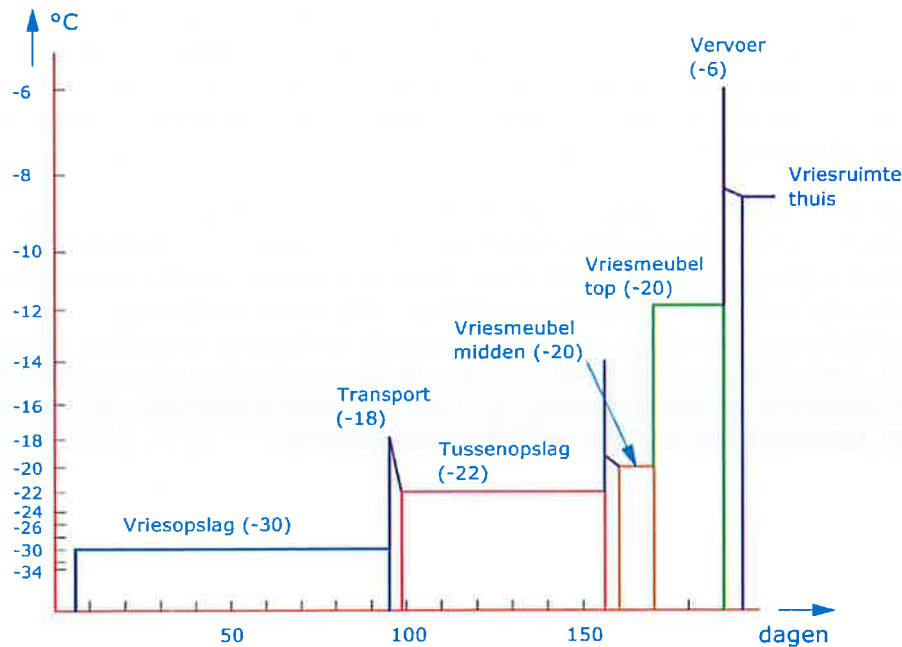
Figuur 2.12 Houdbaarheid van perziken als functie van temperatuur; beoordeling op kleur en op smaak.



Figuur 2.13 Houdbaarheid van bloemkool als functie van diepvriestemperaturen; verschillen tussen beoordeling op kleur en op smaak.

2.7 Tijd – Temperatuur historie en Restkwaliteit

Uit zijn tijd-temperatuur historie van een product tijdens opslag kan met behulp van het bovenstaande in principe de restkwaliteit van dat product op een bepaald tijdstip worden bepaald. Figuur 2.14 geeft weer een overzicht van het kwaliteitsverval gedurende de tijd-temperatuur historie van een willekeurig diepvriesproduct. Hieruit kan de restkwaliteit van het product op ieder moment van die tijd temperatuur historie worden afgeleid. Deze figuur heeft een y-as waarin de bederfelijkheid van het betreffende product is verwerkt. Het kwaliteitsverval in de tijd is temperatuurafhankelijk; bij lage bewaartemperaturen is het relatief klein en stijgt bij hogere temperaturen. De Y-as ordinaat is hier niet linear omdat het bewaargedrag, de Q10 of directe metingen, van het beschouwde product in de schaal van de Y-as verwerkt is, en wel zo dat die schaal kwaliteitsachteruitgang per dag bij die temperatuur aangeeft.



Figuur 2.14 Levenscyclus van een gemiddeld diepvriesproduct, waaruit het kwaliteitsverval (in oppervlak uitgedrukt) kan worden afgeleid.

Enkele rekenvoorbeelden van de berekening van de restkwaliteit van een product worden in de les behandeld. Vaak staat het Q_{10} concept model voor de aanpak van deze vraagstukken. Numeriek loopt de kwaliteit terug van geheel vers (100%) tot juist bedorven (kwaliteit 0%) als het product ongenietbaar, bedorven en niet meer verkoopbaar is.

Samengevat kan men voor de vaststelling van kwaliteit verandering in de tijd tot aan echt bederf gebruik maken van de productspecifieke data over de TTT relaties, en de PPP factoren die hierbij rol spelen.

TTT verband, benaderingswijzen:

- Empirisch, numerieke gegevens uit metingen van het verband bewaartijd $\leftrightarrow$ bewaartemperatuur van het product.
- Houdbaarheidsdiagram, duur van kwaliteitsverlies ofwel houdbaarheid als functie van bewaartemperatuur
 - lineair diagram (afwijking: champignons)
 - log bewaarduur als f (temperatuur T) inclusief minimaal één bekend punt
- 1 punt van genoemde grafiek plus Q_{10} (is de richting van houdbaarheidscurve)
- formule 5.... (Zie A1 hoofdstuk 5) met bewaartijden bij 2 temperaturen

Deze berekeningen berusten ook op de aanname dat de tijd-temperatuur historie van het beschouwde product voldoende nauwkeurig bekend is en gewoonlijk log-lineair verloopt. Tijdens het wegkoelen van de veldwarmte en bij temperatuurfluctuaties van de bewaartemperatuur, doorloopt het product verschillende temperaturen waarvoor afwijkende bederfsnelheden gelden. Deze afwijkingen (steeds een verlies in houdbaarheid, vergeleken met de ideale situatie) kunnen via schatting, of bij voldoende precisie ook numeriek, bepaald worden.

2.8 Enkele houdbaarheid beïnvloedende factoren

Met verwijzing naar de leerstof over bederfprocessen in module A1, hoofdstuk 5, geven de vooraf gaande figuren 2.3 tot en met 2.13 meer illustraties hiervan uit de praktijk van de levensmiddelentechnologie. Uit deze voorbeelden komt onder meer naar voren dat ook de meting zelf van het verval van kwaliteit tegen de bewaartijdsduur belangrijk is, bijvoorbeeld of er beoordeeld wordt op smaak of op kleur (zichtbare

verandering) of de geur (niet vers meer, ontstaan van geurtjes, etc.) kan belangrijke verschillen opleveren. Hierbij kan ook subjectiviteit een flinke rol spelen. Om dan ook valide voorspellende gegevens te verkrijgen behoren veel data onderzocht te zijn, zodat inzicht ontstaat in de natuurlijke variatie van een betreffend product. Meerdere onderzoekers zouden hun mening moeten geven. Fabrikanten doen er wijs aan zowel consumentenpanels als expertpanels te raadplegen.

Bij verse AGF producten is uitdroging vaak de belangrijkste factor van bederf. Bij producten in de diepvries speelt uitdroging veel kleinere rol. Bij diepvriestuinbouwproducten, waarin nog werkende enzymen aanwezig zijn, bestaat er gevaar voor langzaam doch onweerstaanbaar bederf (verlies van kleur, geur en smaak). Voorbeelden zijn niet-geblancheerde sperziebonen, snijbonen, andijvie ed. De invloed van zuurstof, vooral bij vetrijke producten, is steeds van belang. Uitsluiting door middel van een ijslaag (geglaceerd), zoals bij vis goed mogelijk is, of goede folie rondom het product, komt naar voren in bovenstaande TTT-gegevens. en ook het belang van. Ook procesbehandelingen zijn van belang, snel of langzaam invriezen, blancheren ed. vormen de PPP-invloedsfactoren.

Hoofdstuk 3 KWALITEITSBEHEER

3.1 Inleiding

Teneinde een optimale productkwaliteit te bereiken en te handhaven dienen tijdens de productie van levensmiddelen veel dingen en aspecten in acht genomen te worden. Kwaliteit en prijs zijn bijna steeds met elkaar verbonden en daarom in zekere zin bepalend voor de economie van de gehele fabricageoperatie. Omdat de kwaliteit van levensmiddelen zo kwetsbaar is, en met een slechte grondstof geen goed levensmiddel kan worden gemaakt wordt hier met hele fabricageoperatie bedoeld de fysieke productie van de oogst tot het gereede product, inclusief de marketing en distributie ervan, dus eigenlijk de techniek en technologie langs de hele keten. In de fabriek verloopt het proces onder leiding van het bedrijfsmanagement verantwoordelijk voor de eigenlijke productie die efficiënt en soepel moet verlopen. Om de eigenlijke productie mogelijk te maken, dwz het veranderen van grondstoffen in eindproducten, staat de bedrijfsleider voor de integratie en optimale samenwerking van alle productie onderdelen, de productbewaking en integrale kwaliteitszorg, een goed verloop van het apparatuuronderhoud, de reiniging van apparatuur en de gehele hygiënebewaking, de werkvoorbereiding en planning van een en ander in de tijd, alsmede de personeelsfactor.

Voorheen werd kwaliteitscontrole in een productiebedrijf meestal gezien als een belangrijke maar relatief ondergeschikte dienst aan de eigenlijke productie. Begin- en eindcontroles lieten meestal snel zien of er in de productie iets aangepast moest worden. Tegenwoordig echter, is de kwaliteitsdienst (quality assurance en controls) geworden tot een essentiële dienst binnen het bedrijf, die zelfs autonoom kan ingrijpen in het eigenlijke productieproces als dit nodig is. Door het samengaan van de voortschrijdende technologische ontwikkelingen en de in de laatste jaren voor de eeuwwisseling bindend geworden HACCP wetgeving werd deze grote verandering mogelijk. Inmiddels is er veel literatuur beschikbaar over kwaliteit en kwaliteitszorg systemen waarmee nu in 2014 bijna 20 jaren ervaring is opgedaan.

Hetgeen volgt in dit hoofdstuk wil vooral wijzen op het eminente belang van goed kwaliteitsbeheer bij de levensmiddelenproductie en een beknopt overzicht geven van de belangrijkste middelen en begrippen hierbij, in het bijzonder aan "good manufacturing practice" (GMP) en het HACCP systeem.

Voor ongeveer 1970 werd, nadat de grondstoffen waren gekeurd en goed bevonden, tijdens de productie van levensmiddelen meestal volstaan met steekproefsgewijze controles van tussen- en eindproducten. Vanouds zijn levensmiddelen altijd ambachtelijk en in batches bereid. Een eeuw geleden waren ook grote bedrijven in wezen weinig meer dan opgeschaalde ambachtelijke technieken uitgevoerd door medewerkers die meestal het hele proces kenden. Automatisering en veel andere technische ontwikkelingen alsmede de economische eis tot verdere schaalvergroting creëerden langzamerhand grootschalige productie-eenheden, waarin steeds meer continu gewerkt werd, voor zover het betreffende productieproces dit toeliet. Veel processen in de levensmiddelentechnologie hebben onderdelen die alleen maar batchgewijs kunnen worden uitgevoerd. Met name als het gaat om een rijpingsstap in het proces die een zekere tijd nodig heeft (stremmen van melk, rijzen van brood, rijpen en fermenteren van kaas, bier en worst), dan is een geheel continue procesgang niet mogelijk.

Naast het algemene streven naar betere voedselveiligheid en kwaliteit, ontstond door deze schaalvergroting en de mogelijk wordende, steeds snellere, procesvoering een sterke behoefte aan veel nauwkeuriger beheersbaarheid van de productie processen. Een productiefout die tot productafkeuring leidt kan in een grootschalige continue productie al gauw zeer kostbaar blijken te zijn. Bij een productielijn die bijvoorbeeld twee verpakkingen per seconde produceert gaan 120 producten overstuur door een fout die één minuut duurt. Een perfecte procesbeheersing, vooral vroegtijdige en precieze signalering van mogelijke afwijkingen tijdens de productie om deze direct te kunnen bijsturen, werden van groot belang. Ook een meer optimale uitvoering van de eenheidsbewerkingen (unit operations) binnen het productieproces, teneinde een kwalitatief goed en meer gelijkmatig eindproduct te produceren, werd steeds meer van belang. Grote technische verbeteringen konden de laatste 50 jr worden ingevoerd worden. Bijvoorbeeld veel sensoren voor het meten van producteigenschappen werden in de laatste decaden ontwikkeld en konden worden ingebouwd in online proces- en meetsystemen; zij stimuleerden zo een verdere automatisering.

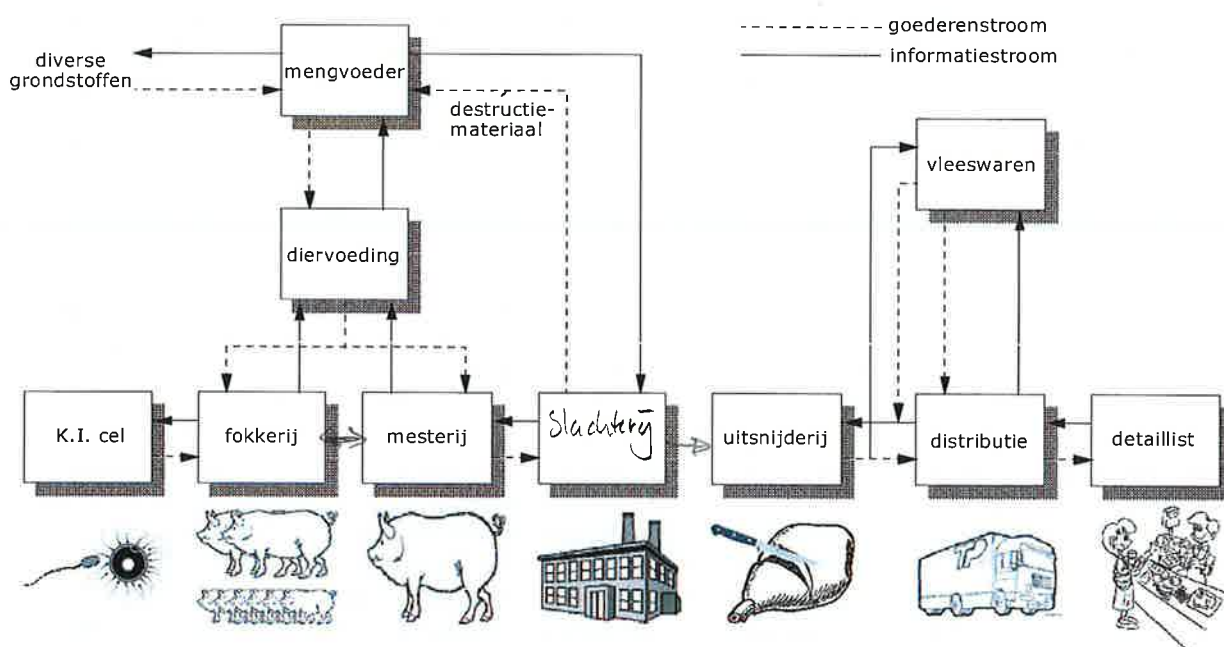
Tegenwoordig ligt veel aandacht bij het modelmatig voorspellen van kwaliteitsaspecten, die gebruik maken van de groeiende kennis van producten en hun gedrag tijdens processing. Voorbeelden hiervan zijn: groei en afstervingskinetiekmodellen van micro-organismen bij het doorlopen van onveilige temperatuurregimes, kinetiek van chemische bederfreacties, fysische kwaliteitsachteruitgang door opdoeien en weer bevroren, uitdrogen ed.

Daarnaast speelden allerlei aspecten mee, die hun oorzaak hadden buiten de pure techniek. De relatief hoge grondstofkosten (zie de kostprijsoopbouw van een levensmiddelpduct) stimuleerden een betere uitbating (minder afval) van de grondstof, zodra dit technologisch mogelijk werd. Verliezen van grondstof en product konden worden teruggedrongen. Er zijn voorbeelden bekend van bedrijfsleiders in zuivelbedrijven die ontslagen zijn omdat ze er niet in slaagden het bedrijfsverlies aan melk onder de 0,3% te houden. Daarnaast heeft met name de zuivelindustrie in Nederland flink geleden onder de zuivelquotering. Hierbij werd door de EG een zgn. superheffing aan de boeren geheven als zij boven hun afgesproken hoeveelheid melk produceerden. Binnenkort is deze maatregel van de EG afgeschaft en kan een meer natuurlijke ontwikkeling zijn loop hernemen.

3.2 Systematiek en Logistiek in Ketens

Ook nieuwe inzichten en kennis over systeemleer, systeemtechniek en logistiek hebben belangrijk bijgedragen tot een beter en meer kosten besparend integraal beheer van niet alleen de verwerkingsprocessen maar ook van totale productieketens. Theoretisch behoren alle stappen binnen de totale keten zo goed en optimaal mogelijk op elkaar te zijn afgestemd om kwaliteitsachteruitgang tot het minimum terug te brengen en goede doorstroming te waarborgen. Een goed voorbeeld hiervan is het zgn *modulair* verpakken en transporteren van goederen. Dit is het vergaand op elkaar afstemmen van vorm, afmeting en grootte: de gebruikerseenheden passen precies in kratten, waarvan de afmetingen op hun beurt precies zijn aangepast aan pallets en deze weer aan gestandaardiseerde containers, die op hun beurt weer precies op trucks, treinen en containerschepen passen. In de zuivelsector werd omstreeks anno 2000 reeds 70 % van alle eenheden verkoopklaar vanuit bedrijven en distributiecentra in rolcontainers afgeleverd aan de winkels waar ze via het koelmagazijn direct in de winkelschappen konden worden gereden. Hierdoor behoeften consumptie verpakkingen niet meer door personeel te worden overgepakt vanuit kratten in de schappen.

Inmiddels is voor vrijwel alle levensmiddelenproductgroepen het zgn *integrale ketenbeheer* (IKB) ingevoerd. Figuur 3.1 geeft een schematisch overzicht van het de agrofood keten van vers varkensvlees.



Figuur 3.1 Integrale Productieketen van varkensvlees.

Samen met goed kwaliteitsbeheer van de individuele stappen binnen de keten geeft dit een redelijke garantie van goede en constante kwaliteit van de eindproducten. Onderdelen van dit integrale ketenbeheer zijn 40 jaar geleden door de bedrijven zelf vrij algemeen ingevoerde "good manufacturing practice" (GMP) gecombineerd met een 'optimale besturing van de goederenstroom', gevolgd door eind tachtiger en begin negentiger jaren ontwikkelde, en sinds 14 december 1995 verplichte 'risico en kritisch punt analyse en controle', het zogenaamde HACCP-systeem (Hazard Analysis Critical Control Points). Indachtig het belang van en de mogelijke invloed van iedere stap in het productieproces en in de totale keten op de eindkwaliteit (total quality) wordt bij invoering van het HACCP-systeem het totale productieproces (van grondstofkwaliteit, ontvangst, procesonderdelen, verpakken, opslag, afzet in alle stadia, etc.) diepgaand geanalyseerd op risico's en op mogelijke kritieke punten. Kritieke controlepunten in het proces of in de keten zijn die punten waar de kwaliteit van het eindproduct belangrijk kan worden beïnvloed. Bij vries- en koelketens is dit uiteraard vooral het temperatuurverloop (een traditioneel zwak punt is hierin het temperatuurverloop op het verkooppunt (detailist), en vervolgens hoe de consument zelf de gekochte waar behandelt. Het als resultaat van deze analyse opgestelde HACCP controleprotocol besteedt veel aandacht aan de gevonden kritieke punten in de zin van preventieve controle en eventueel bijstellen van de productie voorschriften (GMP) en handelingen in de keten.

Voor bedrijven is het vaak daarnaast van belang om hun kwaliteitscontrolesystemen af te stemmen op de inmiddels voor vele bedrijfstakken ontwikkelde voorschriften van de ISO 9000 serie. Deze voorschriften die oorspronkelijk werden ontwikkeld voor het Amerikaanse leger om de productkwaliteit van toeleveranciers te waarborgen, zijn ook in de internationale levensmiddelenindustrie de standaardreferentie voor kwaliteitsijking en onderlinge vergelijking geworden. Zodra een bedrijf kan aantonen dat het in staat is te produceren onder deze ISO kwaliteitsnormen dan kunnen zij eenvoudiger hun producten af te zetten op markten met het hoogste kwaliteitsniveau, waaraan meestal een gunstiger prijskaartje hangt.

In geval een beschouwde levensmiddelenproductieketen, of delen daarvan zoals het verwerkingsproces binnen de keten, vergaand modelmatig beschreven kan worden is het een logische volgende stap om de kennis van GMP, HACCP en gewenst kwaliteitsverloop in de keten te combineren met kennis van processen en gevoelige punten waar het mis kan gaan.

Kortom, als het goed is wordt er zo veel mogelijk gestreefd naar een *systeemanalytische* benadering van de bewaking en handhaving van productkwaliteit en voedselveiligheid (hygiëne) in de keten.

Hoewel dit meestal moeizaam is gegaan en de invoering ervan kostbaar bleek te zijn, zijn gedetailleerde IKB en HACCP beheerssystemen en verdere verwetenschappelijking van de levensmiddelenfabricage verkieslijk vanwege een aantal belangrijke voordelen die de nadelen ruimschoots teniet doen:

- de kwaliteit van het eindproduct is meer constant en beter beheersbaar geworden en het is eenvoudiger om verdere verbeteringen en optimalisaties op de juiste plaats in het proces uit te voeren;
- de risico's zijn verder geminimaliseerd onder behoud van kwaliteit en optimale productveiligheid;
- eindproductanalyses zijn minder frequent nodig, wat minder product kost. Alleen steekproeven, waarvan de frequentie in het HACCP protocol zijn vastgelegd, blijven noodzakelijk voor actuele controles;
- Standaardisering, procesaanpassingen en eventuele verdere schaalvergroting zijn overzichtelijker geworden;
- er kan beter inzicht in en beheersing van kosten per procesonderdeel ontstaan zodat de overall kosteffectiviteit verder kan verbeteren;
- indien voor de betreffende productie aan de normen van de ISO-9000 serie voor de bedrijfstak kan worden voldaan dan geeft dit extra label toegang tot nieuwe sectoren van markten voor hoogwaardige producten.

De integratie van HACCP in een ISO-9000 managementsysteem wordt algemeen gezien als een goede basis om te voldoen aan de algemene behoeften van een preventief systeem voor kwaliteitsmanagement. Als de één goed functioneert vormt het andere systeem een aanvulling. Overlappenden tussen de systemen zal elkaar meestal versterken, inzicht in kritieke punten doen toenemen en kunnen het bedrijf relatief kosten besparen.

Een gevaar van de vergaande invoering van logistieke handeling en zeer vergaande beheersystemen is dat er nogal eens gauw op wordt vertrouwd dat alles nu wel goed loopt. Bijvoorbeeld, omdat de laatste 50 analyses allen binnen de gestelde normen bleven, dan slaan we de volgende 10 analyses maar over – in de praktijk kan het juist op dat moment fout lopen, doordat er iets anders ook gewijzigd blijkt te zijn (De ramp in Chernobyl was een samenloop van een reactor experiment met onvoorzien gewijzigde randvoorwaarden). Echter wij hebben hier te maken met voedingsmiddelen waar de mens van afhankelijk is voor zijn energie, opbouw en gezondheid. Een kritische houding en constante waakzaamheid blijven daarom geboden.

In vervolg op wat hierover in hoofdstuk 2 reeds is geschreven wil de volgende paragraaf 3.3 de gebruikte begrippen en terminologie samenvatten in duidelijke definities, die soms een herhaling zijn. In par.3.4 wordt kort ingegaan op het HACCP systeem en zijn invoering. Dit laatste was een vaak moeizame en dure operatie in de levensmiddelenindustrie eind negentiger jaren en omstreeks de eeuwwisseling.

3.3. Begrippen en terminologie

3.3.1 Kwaliteit

Kwaliteit (volgens NEN/ISO 8402) is het geheel van eigenschappen en kenmerken waarom een product of dienst dat van belang is voor het voldoen aan vastgelegde of vanzelfsprekende behoeften. Simpel gezegd: kwaliteit is de mate waarin het product voldoet aan de eisen. 100% kwaliteit wil dus zeggen: optimaal aan de eisen voldoen. Deze eisen kunnen verschillen afhankelijk van het aspect dat onder de loep genomen wordt. In par.2.4 wordt boerderijmelk behandeld vanuit het gezichtspunt van de melkinrichting die de melk moet verwerken tot producten gereed voor consumptie. Deze kwaliteitsnormen worden uiteraard niet geheven door de consument van een melkproduct. Die kijkt naar bijv. is het product goed gekoeld, is de uiterste verkoopdatum goed, wat waren mijn eerdere ervaringen met product van dit merk, prijs ed.

3.3.2. Kwaliteit en houdbaarheid

Door toepassing van koude wordt een biologisch product verduurzaamd, d.w.z. de houdbaarheid ervan verlengd. De houdbaarheid van een bederfelijk levensmiddel loopt af zodra het product wordt beoordeeld als bedorven of niet meer bruikbaar. De kwaliteit is dan verlopen, onacceptabel of nul geworden. De houdbaarheidstermijn is dan ook de duur van achteruitgang van kwaliteit totdat die onacceptabel is geworden. Hierom worden in het vervolg de woorden kwaliteit en houdbaarheid soms door elkaar gebruikt.

Dus vers geoogste land- en tuinbouwproducten, die de versketen doorlopen, hebben in aanvang een kwaliteit 1 of 100%. De snelheid van de beschouwde kwaliteitsachteruitgang (houdbaarheidsduur) is afhankelijk van diverse factoren, maar in koudeketens vooral van de producttemperatuur. Het verloop van de kwaliteit van individuele producten bij verlaagde temperaturen is het onderwerp van de zogenaamde. tijd - temperatuur - tolerantie (TTT) studies (zie par. 2.6).

In de praktijk wordt voor ieder type levensmiddel de achteruitgang in kwaliteit beoordeeld, waarna voorspellingen voor gelijksoortige producten worden gedaan, rekening houdend met variaties als gevolg van soort, ras, seizoen, voorbehandeling e.d. Meestal speelt ervaring hierbij een belangrijke rol. De variatie van biologische producten, onvoldoende kennis van objectieve kwaliteit en onvoorziene omstandigheden echter zorgen nogal eens voor verrassingen.

3.3.3 Kwaliteitsbeleid

Dit is het geheel van doelstellingen, richting, wegen en middelen om tot een bepaalde kwaliteit te geraken.

3.3.4 Kwaliteitszorg

Dit is het aspect van het management dat kwaliteitsbeleid bepaalt en uitvoert, dus het kwaliteitsbeleid inclusief zijn achtergrond en aansturing op het managementniveau.

3.3.5 Kwaliteitssysteem

De organisatorische structuur (infrastructuur), verantwoordelijkheden, procedures, processen en voorzieningen voor het ten uitvoer brengen van kwaliteitszorg.

3.3.6 Kwaliteitsmanagement

De gecoördineerde activiteit om een organisatie te sturen en te beheersen met betrekking tot kwaliteit.

3.3.7 Kwaliteitsbeheersing en bewaking

De beheersing van kwaliteit is het geheel van operationele technieken en activiteiten die worden toegepast om aan kwaliteitseisen te voldoen. Deze technieken en activiteiten zijn zowel gericht op de bewaking van de kwaliteit zelf als het proces waardoor kwaliteit tot stand komt alsmede op het wegwerken van oorzaken van tekortkomingen in alle stadia van de kwaliteitskringloop.

Kwaliteitsbeheersing richt zich op de kwaliteit van de processen in de organisatie, waardoor gewenste handelingen zonder problemen kunnen verlopen en het einddoel –optimale productkwaliteit– wordt gehaald. Kwaliteitsbewaking echter, richt zich op de kwaliteit op het niveau van de handelingen. Men spreekt wel van integrale kwaliteitsbeheersing als deze het geheel van de organisatie betreft (in tegenstelling tot een specifiek deel van de organisatie, bijv. het eigenlijke productieproces).

3.3.8 Integrale Keten Beheersing (IKB) en Ketenzorg (IKZ)

IKB houdt in dat de productie wordt gecontroleerd en gegarandeerd op alle niveaus binnen de totale productieketen. Dit concept betreft de afstemming op elkaar van alle kwaliteitsbepalende factoren in de gehele keten (vanaf primaire productie op de boerderij tot en met de verwerking, de handel, de detailhandel en de consument; voor varkensvlees bijv. vanaf fokkerij t/m vleesdetailhandel) en gaat dus een stap verder dan de hiervoor genoemde integrale kwaliteitsbeheersing dat alleen een organisatie binnen de keten beschouwd.

IKZ = Integrale KwaliteitsZorg of KetenZorg, in het engels Total Quality Management (TQM) genoemd. Hiermee wordt bedoeld de integratie van alle ter zake doende fundamentele instrumenten en technieken evenals bepaling en uitvoering van het kwaliteitsbeleid. Het omvat IKB en het geheel van klantenwensen tot en met de nazorg en heeft te maken met zowel de consument, als het milieu en de medewerkers. In dit verband is IKZ een uitbreiding van de NEN/ISO-9000, waarin de regelingen op bedrijfsniveau zijn beschreven, naar de gehele biologische productieketen (regeringsnota "Van meer naar beter").

3.3.9 Kwaliteitsborging

Dit is het geheel van acties die nodig zijn om in voldoende mate het vertrouwen te geven dat een product voldoet aan de gestelde kwaliteitseisen. Raadpleeg voor vergaande details de normalisatie standaard NEN-ISO 8402.

3.3.10 Hygiënecode, GMP

Codes zijn gedragslijnen met betrekking tot een bepaalde werkwijze, bijv. een productieproces. Ze worden gewoonlijk opgesteld door bedrijfsgenoten en zijn te beschouwen als een in brede kring van deskundigen geaccepteerde afspraak. Codes zijn bedoeld als hulpmiddel voor degene die er mee werkt. Het karakter van codes is echter niet van publiekrechtelijke aard. De hygiënecode, beter bekend als Good Manufacturing Practice (GMP), is een gedetailleerde beschrijving van alle hygiënische omstandigheden, middelen en maatregelen rond een productieproces voor levensmiddelen bedoeld om de hygiëne en voedselveiligheid verifieerbaar te waarborgen. Details aan de hand van een praktijkvoorbeeld over cacao-verwerking zijn beschreven in bijlage I (Meursing, 1976). Alhoewel dit het specifieke voorbeeld cacao betreft is het zo algemeen beschreven dat het met de nodige productspecifieke aanpassingen direct toepasbaar is op bijna alle levensmiddelen productiebedrijven. Deze hygiënecode GMP en het algemene kwaliteitsdenken dat op de voorgrond trad in de 70er jaren van de afgelopen eeuw dere industriën leidden uiteindelijk tot publiekrechtelijke HACCP systeem.

3.4 Integrale Kwaliteitszorg via HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points)

HACCP is een systeem voor kwaliteitsbewaking dat levensmiddelenbedrijven in stappen verplicht hebben moeten invoeren na 14 december 1995. De invoering ervan is voor veel bedrijven moeizaam geweest omdat het veel nieuwe vraagstellingen omvatte. Globaal houdt de invoering van een HACCP controlesysteem de volgende stappen in:

1. bepaal nauwkeurig het doel dat bereikt moet worden;
2. benoem het HACCP-team; hierin zullen meerdere disciplines vertegenwoordigd zijn;
3. beschrijf het product;
4. identificeer het gebruik en de gebruikers ervan;
5. beschrijf het processchema;
6. verifieer het gemaakte processchema in de praktijk;
7. beschrijf alle mogelijke gevaren voor iedere processtap en beschrijf de preventieve maatregelen waarmee de gevaren beheerst kunnen worden;
8. pas de CCP-beslissingenboom toe voor iedere processtap;
9. stel normen en toleranties vast voor iedere CCP;
10. kies het meet- en regelsysteem voor iedere CCP;
11. kies een corrigerend procesregelsysteem bij tolerantieoverschrijdingen;
12. ontwerp en implementeer een registratie- en documentatiesysteem;
13. verifieer de stappen en corrigeer zo nodig;
14. evalueer het gehele HACCP plan en optimaliseer.

Deze logische stappen zijn deels stilzwijgend gebaseerd op fundamentele logistieke kennis uit de meet-, regel- en systeemtechniek, waar dit kennisgebied voor het eerst diepgaand moest worden toegepast. De meeste processtappen in het fabricageproces worden begeleid door meting van kritische parameters, vergelijking en controle, gevolgd door terugkoppeling. Zonder een vergaande automatisering, deels gebaseerd op vergaande sensoren techniek, was dit kwaliteitssysteem waarschijnlijk niet mogelijk geweest. Hierdoor kon namelijk de directe menselijke invloed op de productieprocessen sterk worden teruggebracht.

Hoofdstuk 4 MEER PRAKTISCHE ASPECTEN VAN AFKOELING

4.1 Inleiding

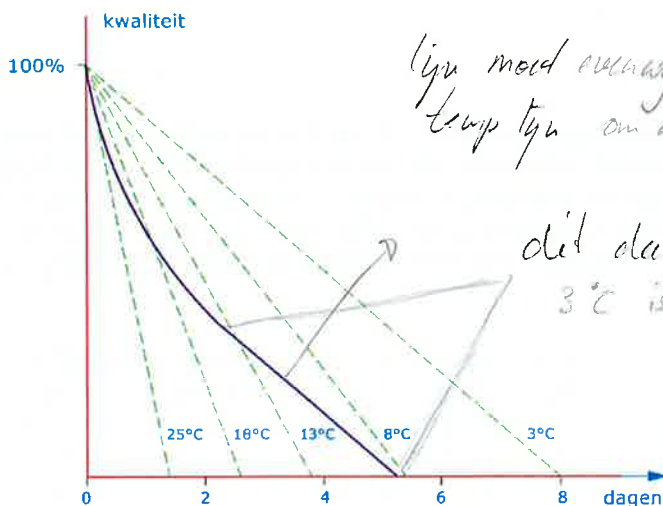
In vervolg op hetgeen hierover in module A1, hoofdstuk 8 en in andere onderdelen van de KT cursus reeds is of nog wordt behandeld wil dit hoofdstuk dieper ingaan op de praktijk van afkoeling van producten met nadruk op levensmiddelen. Aan de orde komen: - de relatie tussen afkoelsnelheid en kwaliteitsverlies; - de doorstroomkoeling van een bed gestapeld product, beschouwd als een zgn. kolomproces met doorbraakcurve; - het praktisch gebruik van de zgn. half-afkoeltijd van een product, de tijd waarin het product afkoelt tot halverwege het aangelegde temperatuurverschil; - de modellering van het warmtewisselend specifiek oppervlak van biologische producten en de oppervlakte/volume verhouding voor berekening van warmte overdracht; - vriessnelheden in de praktijk; - direct contact afkoeling van voedingsmiddelen en de daarvoor wettelijk toegestane koudemiddelen, welke eveneens worden toegepast voor koude opslag en het cryogeen invriezen. Het hoofdstuk eindigt met een paragraaf over de praktische afkoeling van tuinbouwproducten.

4.2 Veldwarmte

De warmte die uit een product moet worden afgevoerd om het veilig op te kunnen slaan wordt wel 'veldwarmte' genoemd. Deze is eenvoudig te berekenen uit de huidige temperatuur van het product, de gewenste temperatuur, de massa en de soortelijke warmte (indien niet bekend, te berekenen m.b.v. Costherm). Indien het product belangrijke mate vocht verliest tijdens de afkoeling dan dient de berekende veldwarmte hiervoor te worden gecorrigeerd met de verdampingswarmte van het verdampte water.

4.3 Afkoeltijd en Kwaliteit

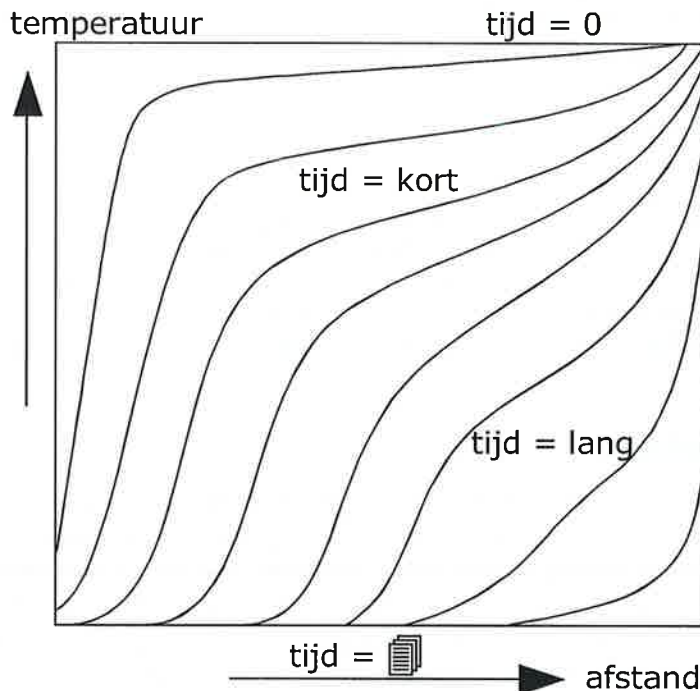
Doordat bij hogere bewaartemperaturen de kwaliteit van bederfelijke waar sneller verloren gaat dan bij lagere temperaturen is het belangrijk om een geoogst product dat de koudeketen ingaat zo snel mogelijk te koelen. Als de veldwarmte niet voldoende snel wordt afgevoerd kan dit voor de gehele partij product leiden tot een onaanvaardbare vermindering van de mogelijke bewaarduur leiden. Een voorbeeld van dit effect is gegeven in figuur 4.1 voor *imaginaire sla* die op een warme dag (28°C) geoogst is en te langzaam werd afgekoeld waardoor ruim een etmaal nodig was om 3°C te bereiken, waarbij het verse product de maximale bewaarduur van 8 dagen heeft. Deze maximale bewaarduur van 8 dagen (3°C) is in dit voorbeeld teruggelopen tot een realiteit van totaal 5 dagen; een verlies van 3 dagen doordat de veldwarmte van het product niet snel genoeg werd afgevoerd.



Figuur 4.1 Houdbaarheidsdiagram; tijd-temperatuur-tolerantie van kropsla en het kwaliteitsverloop in de praktijk voor een te langzaam afgekoeld product.

4.4 Afkoeling van Stapelingen

Als producten zijn gestapeld in hopen of bedden en in contact komen met een koud fluïdum is het uiteraard niet mogelijk dat alle eenheden gelijktijdig dezelfde gemiddelde temperatuur aannemen. Het fluïdum, in de praktijk gewoonlijk koude lucht, zal opwarmen naarmate het verder in de partij doordringt. Deze doorstroomkoeling kan gemodelleerd worden met de theorie over kolomprocessen uit de proceskunde. Het laatst gekoelde deel van de partij blijft nog warm gedurende de zgn. doorbraaktijd. Dit is de tijd die nodig is voordat het verschil tussen uitgangstemperatuur en ingangstemperatuur gedaald is tot minder dan de helft van het aangelegde temperatuurverschil. De doorbraaktijd is afhankelijk van de luchtsnelheid, de wijze van aanblazen, de vorm en afmetingen van de productstapel, de productvorm en oppervlakteruwheid, de stapeldichtheid, dode hoeken en meer. Voor dikke bedden (hoge of brede stapels) kan dit leiden tot belangrijke verschillen in houdbaarheid binnen de partij. Door onderlinge besmetting en aantasting betekent dit gewoonlijk een kortere houdbaarheid voor de gehele partij product.



Figuur 4.2 Fictief temperatuurverloop tijdens afkoeling in een horizontaal aangeblazen gestapeld product naar tijd en plaats. Zgn. doorbraakcurves.

4.5 Afkoelsnelheden

In productieprocessen waar batchgewijs afgekoeld wordt is het vaak nodig te weten wanneer de vorige partij voldoende koud is geworden om te worden vervangen door een volgende partij product. Een operator moet een eenvoudige en betrouwbare methode hebben om dit tijdstip te kunnen vaststellen. Een praktische benadering van de afkoelsnelheid van individuele producten is met behulp van de zgn. *half-afkoeltijd*. Dit is de tijdsduur die nodig is om het product af te koelen tot halverwege het aangelegde temperatuurverschil.

De temperatuurdaling in een stationaire afkoelsituatie verloopt bij benadering logaritmisch volgens de afkoelingswet van Newton. Dit betekent dat de halfafkoeltijd karakteristiek is voor een bepaald product onder bepaalde omstandigheden. De afkoeltijd wordt bepaald door de geometrie en thermische eigenschappen, het warmtewisselend oppervlak, de warmteoverdrachtscoëfficiënt en warmtefysische stoffeigenschappen, uitgedrukt in de warmte-vereffeningscoëfficiënt. Na de eerste halfafkoeltijd waarin de gemiddelde product temperatuur tot zijn halve waarde gedaald is, is opnieuw dezelfde half-afkoeltijd nodig om onder gelijke omstandigheden opnieuw het halve temperatuurverschil tot aan de eindtemperatuur te

overbruggen, enzovoorts. Tabel 4.1 geeft enkele half-afkoeltijden van producten die vrij aan de lucht afkoelen. In die situatie is Biot (het dimensieloze kental van Biot is het quotiënt: uitwendig warmtedoorlaat vermogen gedeeld door het inwendig warmtedoorlaat vermogen) groter dan 1. De weerstand ligt in dit geval aan de buitenzijde.

PRODUCT	HALF-AFKOELTIJD
	[min]
ham in ovaal blik	100
pot pindakaas	60
spruitje	5
pot chocopasta	40
yoghurt ½l fles	30
tomaat	10
bouillon 1 l glas, in lucht	95
bouillon, 1 l glas, in water	30

voor beide het
verloop

Tabel 4.1. Globale halfafkoeltijden voor enkele producten. Dit is de tijd nodig om de helft van het af te leggen temperatuurverschil te overbruggen. Warmteoverdracht via vrije convectie.

In de praktijk wordt wel het nomogram gebruikt, dat in figuur 4.3 staat weergegeven, om de gewenste afkoeltijd te bepalen uit de reeds bekende half-afkoeltijd behorend bij een product in een beschouwde afkoelsituatie.

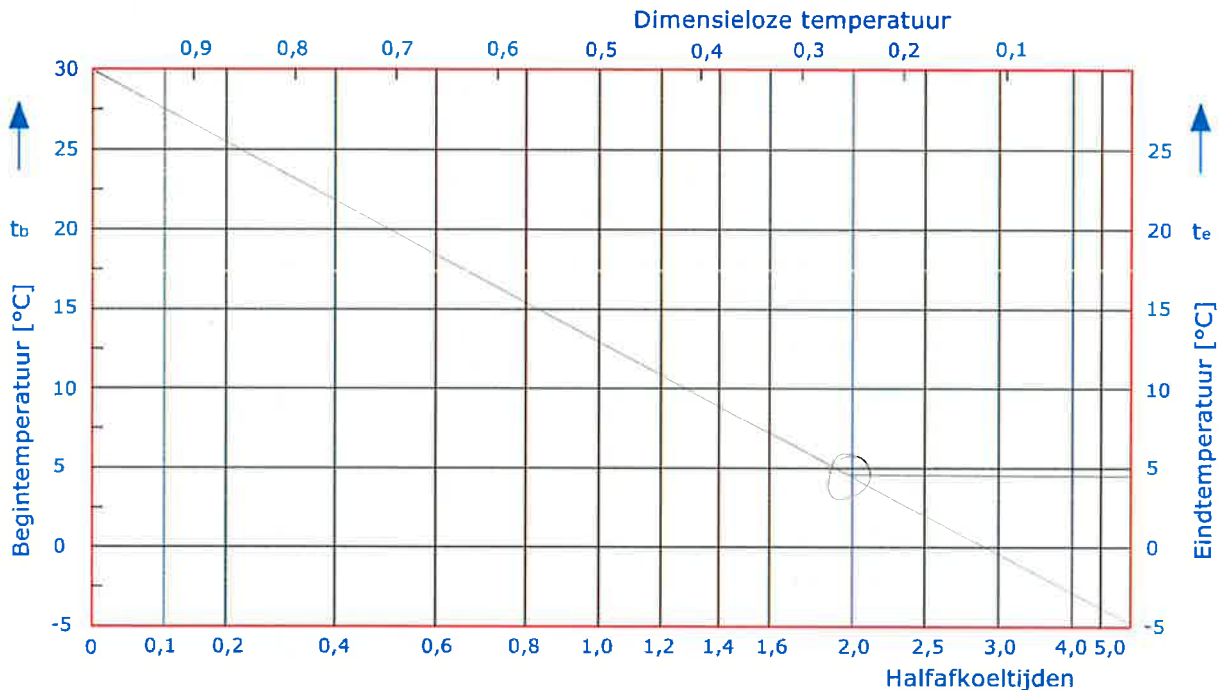
De dimensieloze temperatuur wordt hierin weergegeven door θ :

$$\theta = \frac{T - T_e}{T_b - T_e}$$

Hierin is :

- T de producttemperatuur op het beschouwde moment;
- T_b de begintemperatuur en
- T_e de eindtemperatuur d.w.z. de temperatuur van het koelend medium.

In principe kan in plaats van het concept *half-afkoeltijd* ook een andere tijd worden gebruikt, bijv. *karakteristieke tijd* τ (e^{-1} tijd 0.37 van de weg) of de zogenaamde *decimale reductie afkoeltijd* (0.9 van de weg) worden gebruikt voor het vergelijken van afkoelsituaties tussen producten onderling.



Figuur 4.3 Nomogram voor half-afkoeltijden van producten.

4.6 Fasencontactoppervlak voor afkoeling

De nauwkeurige vaststelling van het fasencontactoppervlak van bijvoorbeeld een afkoelend half varken is niet eenvoudig. Uit de warmteoverdracht kennen we de vereenvoudigde geometrische vormen zoals de bol, cilinder en vlakke plaat waarvan de exacte warmteoverdracht gegevens bekend zijn. Door modelberekeningen te vergelijken met praktijkmetingen kan worden vastgesteld bij welke van de drie bekende geometrisch vormen het halve varken het beste wordt gemodelleerd. Tegenwoordig is het meer gebruikelijk om met beeldanalyse en eindig element berekeningen de warmteoverdracht situatie numeriek te benaderen.

Aan het contactoppervlak zelf kunnen afhankelijk van de fysische condities allerlei warmteoverdracht coëfficiënten gerealiseerd worden. De onderstaande tabel 4.2. geeft een globaal overzicht van de coëfficiënten van warmteoverdracht die behoren bij verschillende afkoel situaties.

KOELMEDIUM	WARMTEOVERDRACHTS COËFFIËNT “ α ”	CONTACT OPPERVLAK “A”	TEMP. VERSCHIL PRODUCT - KOELMEDIUM
	[W.m ⁻² .K ⁻¹]		
GAS			
• stilstaand	5	maximaal	kan groot zijn, tot 60 K
• natuurlijke convectie	18		
• stromend	60	maximaal	beperkt tot 30 K
• fluïde bed	500 - 1000		
VLOEISTOF			
• stilstaand	100	maximaal	beperkt tot 30 K
• stromend	300 - 1000		
VAST OPPERVLAK			
• platenvriezer	300 - 500	beperkt	beperkt tot 60 K
KOKENDE VLOEISTOF			
• cryogeen	1500 - 5000	kan maximaal zijn	zeer groot, tot 190 K

Tabel 4.2 Warmteoverdrachtscoëfficiënten als functie van uiteenlopende fysische condities

4.7 Vriessnelheden

Bij het vriezen van voedingsmiddelen dient ernaar gestreefd te worden om de achteruitgang van kwaliteit door bederf ook tijdens het vriesproces te minimaliseren. Door het ontstaan van de nieuwe fase ijs verandert de structuur van het product in belangrijke mate. Vaste en hoog visceuze voedingsmiddelen profiteren in het algemeen van snel bevriezen en dus vorming van kleine ijskristallen. Dit kan alleen bereikt worden bij relatief snelle warmteoverdracht (bijv. hoge luchtsnelheden of onderdompeling in koude vloeistoffen) en kleine productafmetingen. Hierbij ontstaan grote temperatuur gradiënten omdat het hierbij een geleidingstype product betreft.

De allerbeste resultaten (hoogste warmteoverdrachtsnelheden) bereikt men in principe met drie methoden, die helaas echter in de praktijk op grotere schaal voor producten van reële afmetingen niet toepasbaar zijn, maar wel voor onderzoek aan kleine monsters bij zeer lage temperaturen. Dit zijn onderdompeling onder sterk roeren in onderkoelde (niet verdampende) cryogene vloeistoffen, bespuiting van het materiaal met onderkoelde cryogene vloeistoffen en (voor vervormbare materialen) in contact brengen met zeer koud goed geleidend metaal, bijv. een koperen blok hangend in vloeibare stikstof of helium. In het laatste geval is het zelfs mogelijk een dunne laag amorfe ijs te maken. Dit is ijs waarin geen kristallijne rangschikking meer meetbaar is. Het is zo snel gekoeld dat de eventuele ijskernen niet hebben kunnen uitgroeien tot kristallen.

Voor zeer snel vriezen in de grootschalige praktijk komt alleen vloeibare stikstof (N₂) (liquified nitrogen LN) in aanmerking. Men komt bij besproeien met of dompelen hierin tot korte vriestijden, althans wanneer de afmetingen van het te vriezen materiaal voldoende klein zijn. Hierbij treden gewoonlijk heftige kookverschijnselen op. Het bevroren product bevindt zich in wezen grotendeels binnen een koude gaslaag met navenante warmteoverdracht. In principe is dit systeem duur omdat de opwekking van de koude (bereiding van LN) bij zeer lage temperatuur moet plaatsvinden. In sommige landen is er echter een overschot aan LN zodat de prijs daarvan betrekkelijk laag is. Voor producten van grote afmetingen is deze werkwijze minder geschikt vanwege de schade die het product oploopt; bij zeer snel bevriezen van de buitenlaag zullen scheuren ontstaan door de uitzetting als gevolg van de water-ijs overgang. Door de juiste dosering van LN of het koude gas hiervan op het product kan de schade beperkt worden. Voor aardbeien is goed cryogeen vriezen een goede methode (crust-freezing, korstvriezen).

Theoretisch zou bevriezen in vloeibare stikstof versneld kunnen worden door het proces onder druk uit te voeren – kleinere gasbellen, betere warmteoverdracht. Voor onderzoeksdoeleinden in het laboratorium wordt dit reeds toegepast; op grotere schaal in de praktijk is dit nog te kostbaar.

In enkele gevallen, zoals voor het invriezen van vissoorten, is voorheen geroerde verzadigde pekkel (-20°C) in gebruik geweest. Hierdoor kunnen hoge vriesfrontsnelheden worden bereikt die bij vriezen in koude lucht niet gehaald worden. In zeer goed geroerde pekkel zijn warmte-overdrachtscoëfficiënten tot $500 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ gemeten (Proc. IIR 1995).

Vrij nieuw is het gebruik van vast kooldioxide (in de vorm van blokjes, horentjes of sneeuw) als koudedragers. De warmteoverdracht is lager dan bij LN en geroerde vloeibare media daar deze verloopt via het vast-gas-vast contactoppervlak. De atmosferische sublimatie van koolzuurgas verloopt bij -70°C en levert ca. 2200 kJ/kg koude-enthalpie.

Van de in de praktijk voor invriezen in aanmerking komende voedingsmiddelen blijken slechts weinig producten ultrasnel invriezen te vereisen. Aardbeien, tomaten, klein fruit en sommige bonen hebben een duidelijk betere textuur en houden beter water vast als ze snel zijn ingevroren. Groenten en knollen met hogere zetmeelgehalten, brood en vlees zijn minder gevoelig voor vriessnelheid. Onder de dierlijke producten zijn vis en gevogelte gevoelig voor langzaam vriezen en vertonen meer achteruitgang dan rund, varken en lamsvlees.

In de commerciële praktijk variëren vriesfrontsnelheden in producten globaal tussen 0.2 en 100 cm/u . De laagste snelheden treden op bij het vriezen van bulkproducten in koude ruimten met lage of geen luchtcirculatie. Versneld vriezen, bijv. $0.5 - 5 \text{ cm/u}$, komt voor bij kleine verpakkingen in vriesruimten met hoge luchtsnelheden en in plaatvriezers. Snel vriezen, $5 - 10 \text{ cm/u}$, treedt op bij individueel bevroren van producten met kleine afmetingen (doperwtten) in een geïmmeriseerd bed, en ultrasnel vriezen ($10 - 100 \text{ cm/u}$) komt voor bij besproeiing of onderdompeling in vloeibare stikstof, geconcentreerde pekkel of andere vloeistoffen (in het verleden is nogal wat onderzoek gedaan aan vloeibare stikstofoxide, kookpunt -89°C).

Meestal wordt in de praktijk voor het vriezen van de meeste producten in detailverpakkingen vriessnelheden hoger dan 0.5 cm/u en voor kleine losse producten hoger dan 5 cm/u als voldoende beschouwd. Alleen zeer gevoelige producten als aardbeien en tomaten kunnen in eindkwaliteit nog verder worden verbeterd door sneller te vriezen dan 10 cm/u . Bij dergelijke vriessnelheden echter moet worden gewaakt tegen overmatig barsten van de productstructuur door spanningen als gevolg van uitzetting.

4.8 Koudedragers voor contactafkoeling en bewaring van levensmiddelen

Vanwege hygiëne en toxiciteit mogen slechts een beperkt aantal materialen in direct contact komen met voedingsmiddelen. Hierom zijn typische koudedragers die voor direct contact afkoeling van levensmiddelen mogen worden gebruikt beperkt tot de volgende stoffen:

- koud gas (lucht, koolzuur, stikstof, soms zuurstof).
- ijs en ijswater
- pekkel en pekkel met ijs
- vloeibare stikstof
- vloeibare ~~lucht~~ CO_2 .
- vast kooldioxide
- niet expliciet vermeld maar in principe toegestaan zijn alle edelgassen

Daarentegen zijn freonen en stikstofoxiden, die in het verleden wel hiertoe gebruikt zijn, niet langer toegestaan. De in deze lijst genoemde gassen zijn ook toegestaan voor gasbewaring van levensmiddelen. De volgende tabel 4.3 geeft hiervan een overzicht met diverse toepassingen.

PRODUCT	GASSENKEUS	TOEPASSING
Vlees	$N_2/CO_2/O_2$ > 20% CO_2	Vlees behoudt de rode kleur door verpakken met zuurstof. De microbiostatische werking van koolzuur verlengt de houdbaarheid.
Melkpoeder	N_2/CO_2	Lange houdbaarheid is bij melkpoeder een eis. Vaak N_2/CO_2 -mengsels, waarbij de mengverhouding bepaald wordt door de temperatuur in het exportland.
Koffie	CO_2	In koffie geabsorbeerd CO_2 diffundeert in CO_2 -atmosfeer niet uit, waardoor aromastoffen beter behouden blijven.
Levende producten	$N_2/CO_2/O_2$	Levende producten zoals groentes, fruit en bloemen blijven langer houdbaar doordat de levensprocessen vertraagd in stand gehouden worden.
Kaas, pinda's en noten	N_2/CO_2	Typisch vethoudende producten, waarbij buitensluiting van zuurstof de vetoxidatie afremt.
Wijn	N_2	Wijn wordt zuur door omzetting van alcohol in azijnzuur onder invloed van zuurstof. Vervanging door N_2 lost dit probleem op.
Brood en banket	N_2/CO_2	In goed afgesloten verpakking kunnen lange bewaartijden behaald worden. Andere conserveermiddelen zoals sorbinezuur kunnen dan overbodig zijn.
Vruchtensappen	N_2/CO_2 < 20% CO_2	Microbieel bederf en bruinkleuring worden sterk geremd.

Tabel 4.3 Toegestane gasen en vloeistoffen voor directe afkoeling en gasbewaring van levensmiddelen.

De warmteoverdracht aan vloeistof-vast grensvlakken verloopt aanzienlijk sneller geleken met gas-vast grensvlakken. Hierdoor zijn voor snelle processen de niet verdampende vloeistoffen interessant. IJswater, ijs-water mengsels, pekelen en ijs-pekelmengsels behoren hiertoe. In ijs-water mengsels bepaalt de hoeveelheid ijs de koudecapaciteit van het mengsel. Voor ijs-pekelen mengsels geldt hetzelfde; hier echter is het temperatuurniveau lager en afhankelijk van de keukenzoutconcentratie tussen 0 en -21 °C. Ijs-pekelen mengsels zijn veel gebruikt om zeevis in te vriezen.

Bij gebruik hiervan moet rekening worden gehouden met hun uiteenlopende fysische eigenschappen en consequenties voor gebruik.

Mengen met vast kooldioxide en besproeien met vloeibare stikstof worden wel gebruikt om partijen snel af te koelen of ook wel om eisen van lage temperatuur snel te kunnen halen. Een voorbeeld van dit laatste zijn geslachte kuikens die alleen vervoerd mogen worden bij maximale temperatuur van 4 °C. Voordelen van vast kooldioxide boven vloeibare stikstof zijn in dit verband het gunstiger lage-temperatuurniveau (-72 i.p.v. -196°C) en dat de koolzuurbrokken op de producten blijven liggen en zo geleidelijk op de juiste plaats door sublimatie hun koude afgeven.

Een nieuwe ontwikkeling is het gebruik van *vloeibare lucht* voor snelle afkoeling of op plaatsen waar geen koeling aanwezig is. Een voordeel hiervan boven vloeibare stikstof is dat het goedkoper is en hier het veiligheidsaspect (stikstof verdrijft zuurstof) geen rol meer speelt. Wel kan er een groter brandgevaar bestaan door de hogere zuurstofdichtheid. Deze methode is in recente jaren tijdens epidemieën van landbouwhuisdieren op grote schaal toegepast om karkassen van afgemaakte dieren snel af te koelen en korte tijd op te slaan. In dit geval speelde de afkoelsnelheid in verband met de vleeskwiteit geen rol omdat de karkassen voor destructie bestemd waren.

Een ontwikkeling in opkomst is dat *vloeibare stikstof* en mogelijk ook vloeibare lucht worden ingezet voor transportkoeling in distributienetwerken waar geruisloosheid een vereiste is, bijv. in stadsomgevingen.

Voor niet-levensmiddelen is er een ruimere keus als er snel moet worden afgekoeld. Te denken valt aan koude alcohol, alcohol-aceton mengsels, pentaan, freonen (als deze kunnen worden opgevangen), e.a.

4.9 Overzicht afkoelmethoden voor AGF en bloemen

Hier volgt een beknopt overzicht van de gebruikte koelmethoden in de tuinbouw versketen:

- Koude ruimte met stilstaande lucht kan voor alle producten worden toegepast; is geschikt voor opslag niet voor snel afvoeren van veldwarmte. Afkoelsnelheden kunnen verder variëren als gevolg van lading geometrie, pallets en containers en luchtverversing.
- Geforceerde luchtkoeling, overdruk is in gebruik voor veel producten zoals fruit, bessen, groenten, bloemkool, snijbloemen. Echter ook onderdruk (zuigwand) komt voor. Indien goed uitgevoerd verkrijgt men goede uniforme koelsnelheden. Ventilatie en opstapeling geometrie zijn kritisch. In stapelingen product die hiertoe geschikt zijn, zoals snijbloemen, wordt dikwijls doorstroomkoeling met behulp van een zgn. *lans* toegepast; Deze wordt in de stapel (bijv. tussen de bloemen) gestoken om de aanvoer van koude lucht te verbeteren. Een probleem bij deze methode kan zijn uitdroging van het product; dit kan worden tegengegaan door de vochtigheid te verhogen, bijvoorbeeld door middel van een natte luchtkoeler. Ook hierbij dient men voorzichtig te zijn, vooral bij schimmel gevoelige producten.
- Hydrokoeling, bespuiten met koel water, wordt toegepast bij fruit, snijbloemen en open groenten met stengels en bladeren waarbij geen gevaar is dat water achterblijft in dode hoeken en het product geen schade ondervindt. Zeer snelle afkoeling wordt bereikt; kan goed in bulk partijen worden toegepast in water tolerante apparatuur mits hygiëne goed wordt gecontroleerd.
- Verpakken in scherfijs, heel belangrijk voor verse vis, is in gebruik voor wortels, stengels, uien, brussels lof en sommige groenten die water – ijs goed kunnen verdragen. Voordeel is snelle afkoeling, min of meer vergelijkbaar met hydrokoeling. Water tolerante, goed reinigbare apparatuur. In geval van transport vermindert het ijs de lading capaciteit.
- Vacuümkoeling werkt doordat met verdamping van vocht uit het product latente verdampingswarmte wordt afgevoerd. Veel snellere koeling dan met koude lucht. Deze methode is vooral in gebruik bij bladgroenten met een gunstige oppervlakte-volume verhouding. In paragraaf 5.3. wordt hierop nader ingegaan.

Hoofdstuk 5 TUINBOWPRODUCTEN

5.1 Inleiding

Het grootste deel van 's werelds voedselproductie wordt niet industrieel verwerkt en geconserveerd maar als "vers" product geconsumeerd. Dit geldt voor tuinbouwproducten bij uitstek. De distributieketen voor vers product, die begint met de oogst, slacht of vangst en eindigt met de individuele consumptie, is van nogal uiteenlopende duur. Uiteraard wordt de maximale duur van de productgang door de keten bepaald door de levensduur van het product. Vergeleken met meer bewerkte producten heeft vers product het voordeel dat er relatief weinig handelingen nodig zijn alvorens het product op weg gaat naar handel en consument.

Qua volume vormen tuinbouwproducten, AGF (aardappelen, groente en fruit) het grootste deel van de versketen. De schattingen van de naoogstverliezen, dus dat wat verloren gaat voordat het de consument bereikt, van groente en fruit wereldwijd lopen sterk uiteen van 15 tot 75 %. Dit getal is sterk afhankelijk van de soort product en de locatie. De meest serieuze verliezen treden gewoonlijk op in minder ontwikkelde landen, juist daar waar deze verliezen gewoonlijk het hardst aankomen. Om deze verliezen te verminderen is het van groot belang om inzicht te hebben in de lokale omstandigheden, de processen van bederf en mogelijk tegenmaatregelen van verduurzaming. Hier zou koeltechniek een ware uitkomst zijn als economie en technische knowhow voldoende ontwikkeld zouden zijn.

In het geval van verdere verwerking van het geoogste product op grootschalige, industriële wijze, met name in meeste westerse landen, kunnen door goede logistiek en synchronisatie van oogsttijdstip, verzameling, transport naar de fabriek en aansluitende verwerking de verliezen minimaal worden gehouden. In de laatste twee decaden hebben voorspellende computerprogramma's waarin voorspelling van oogstmoment op basis van gegevens uit landbouw en meteorologie, de logistiek van oogst, transport en aansluitende verwerking worden gecombineerd, een belangrijke ontwikkeling doorgemaakt en kunnen verliezen worden geminimaliseerd door de tijdspanne tussen oogst en verduurzaming verder te bekorten. Voorbeelden van deze industriële precisie landbouw zijn het verwerken van doperwtten, wortelen, tuinbonen, sperziebonen en ook aardappelen tot kwalitatief zeer goede diepvriesproducten of houdbare producten in glas of blik.

Voor verse tuinbouwproducten is de toepassing van koude, vooral temperaturen juist boven het productvriespunt als de producten dat kunnen verdragen, de meest productvriendelijke methode van verduurzaming. Het vertraagt bederfprocessen in voldoende mate om de moderne distributie van op grote schaal geproduceerde voedingsmiddelen mogelijk te maken. Voor nog levende producten als groente en fruit is koeling, zo mogelijk ondersteund door maatregelen als verhoogde relatieve vochtigheid (RV) en aanpassing van de omgevende atmosfeer (gasbewaring, controlled (CA) of modified atmosphere (MAP), de enige methode om bij bewaring het dagverskarakter van deze producten te handhaven. Temperatuurdaling zelf is een fysische ingreep die de productkwaliteit geheel intact laat, echter de toepassing moet soms product-specifiek zijn. Bij sommige tuinbouwproducten echter dienen te lage temperaturen te worden vermeden vanwege hun gevoeligheid voor koudebederf, meestal lage-temperatuur-bederf (LTB) genoemd. Markante voorbeelden hiervan zijn het zoet worden van aardappelen beneden 4 °C en zwartgrijs verkleuring en smaakverlies van bananen en veel ander tropisch fruit beneden 12 °C.

5.2 Verse producten

Onder verse producten wordt verstaan (vrijwel) intacte biologische producten direct of kort geleden afkomstig uit land- en tuinbouw (inclusief bloementeel) dat zo goed mogelijk in deze oorspronkelijke staat behouden gebleven bij de consument aankomt. Het woord *vers* roept meerdere connotaties op; hier is het woord direct verbonden met de staat van het nog niet verwerkte product. Dat het mogelijk is geworden om verse voedselproducten te maken en die na meerdere dagen, soms op verre afstand, maar toch in heel goede staat af te leveren bij de consument is de verdienste van de koelmachine.

Deze paragraaf is in tweeën verdeeld vanwege het belangrijke onderscheid tussen de voedingsmiddelen als aardappelen, groente en fruit (AGF) en bloemen en planten die in deze verhandeling een plaats verdienen binnen het grote scala van versproducten van biologische oorsprong. Vanwege hun aard en

bijzondere fysiologische staat, en omdat Nederland is uitgegroeid tot 's werelds grootste exporteur van bloemen en planten is een aparte subparagraaf (die nog moet worden uitgewerkt) hieraan gewijd. De bijzondere fysiologische staat van bloemen en planten heeft voorheen in de koelwereld, vooral in het koelvervoer, problemen veroorzaakt doordat onverwacht ladingen product overstuur gingen. Met name bloemen mogen niet in dezelfde ruimte als AGF producten worden bewaard en vervoerd. Dit is doordat bloemen relatief grote hoeveelheden ethyleendgas kunnen afgeven, waardoor fruit snel afrijpt en aardappels kunnen gaan uitlopen doordat de kiemrust erdoor wordt verstoord.

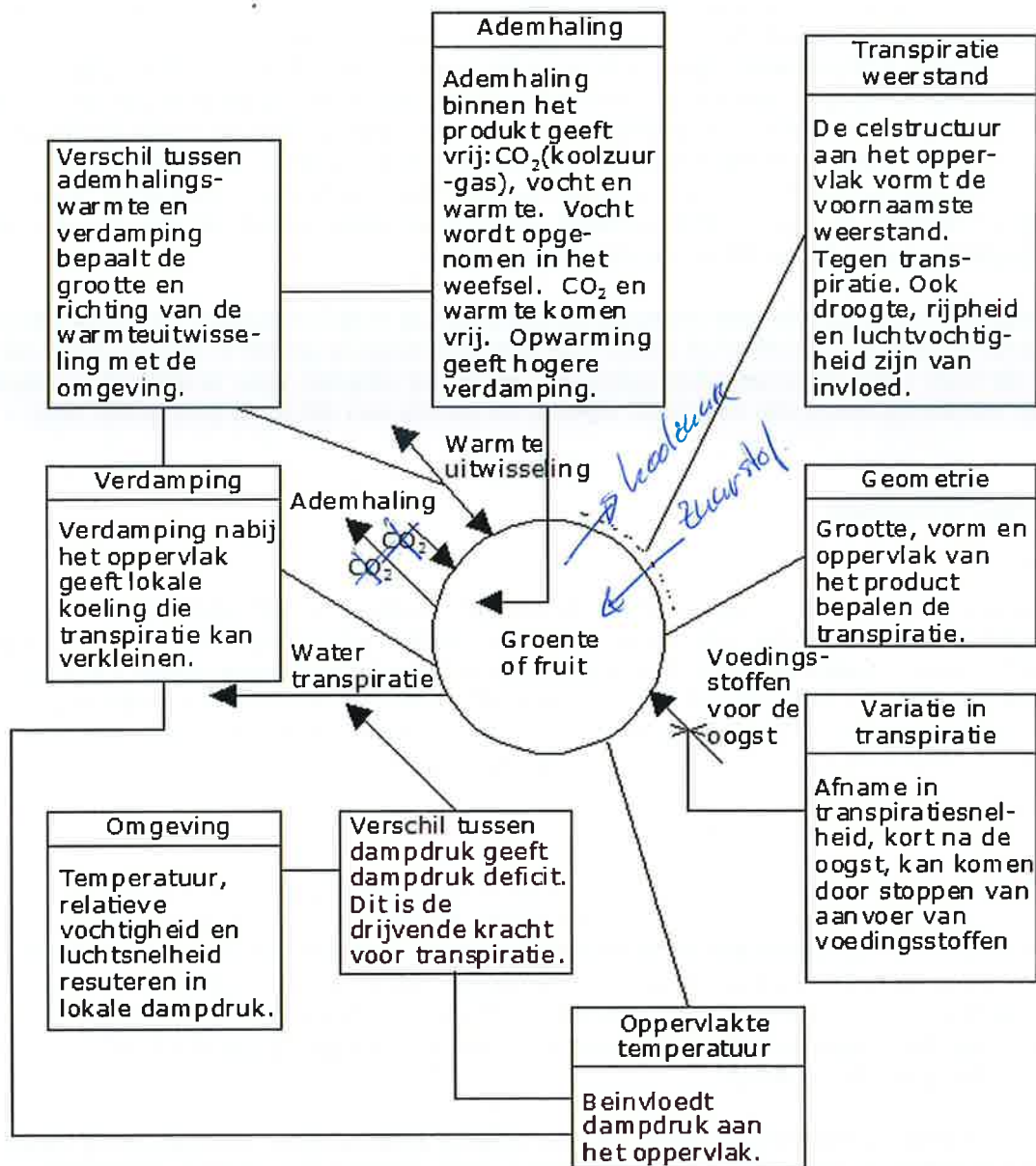
5.2.1 Aardappelen, Groente en Fruit (AGF)

De samenstelling en eigenschappen (celstructuur, turgor, kleur, smaak, e.d.) zijn aanvankelijk direct na de oogst nog niet of nagenoeg niet veranderd. Het van de moederplant of wortel afgesneden product krijgt geen aanvoer meer van voeding en water en gaat in de overlevingsmode om het zo lang mogelijk uit te houden. Dit duurt voort zolang de producten nog niet bewerkt of verwerkt zijn. Zodra de door de natuur aangebrachte bescherming van het product (huid of schil) wordt verbroken door snijden, schillen of beschadiging (bijv. tijdens transport, reinigen en wassen) loopt het product hierdoor besmetting op en micro-organismen kunnen nu vrij het product binnendringen. De houdbaarheid van deze versproducten wordt daardoor verminderd.

Voorbewerkingen als voorsnijden en schillen kunnen reeds zeer ingrijpend zijn omdat daarbij in deze producten ook snelle achteruitgang kan optreden als gevolg van de nog werkzame enzymen die vrijkomen in het uit levende cellen tredend celvocht of gebonden aan oppervlakken nu vrij komen te liggen (bijv. bruinkleuring van opengesneden appel). Daarnaast begint extra uitdroging doordat de huid geen barriere meer vormt voor vochttransport. De afremmende werking van de huid kan zeer aanzienlijk zijn zoals de kurklaag van aardappels maandenlang bewijst.

Een belangrijk punt voor het vers houden van deze versproducten is dat de ademhalings- of respiratie-activiteit kan doorgaan, maar wel op een zo laag mogelijk peil, omdat anders reservevoedsel snel wordt verbruikt en bijgevolg de productkwaliteit (suiker, smaakstoffen) snel daalt. Om dit effectief te bereiken is temperatuurdaling van het product samen met beperking van vochtverlies tegen vroegtijdige verwelking in principe de enige methode. Daarbij kan voor veel producten een verandering van de bewaaratmosfeer hieraan een extra bijdrage leveren.

In wezen kan het verse product op zichzelf worden beschouwd als een soort bioreactor. Het principemodel hiervan is geschetst in figuur 5.1. Met behulp hiervan kan de stofwisseling systematisch worden beschreven. Goede pogingen hiertoe zijn in de literatuur gepubliceerd, deze worden echter al snel vrij ingewikkeld en worden daarom in de praktijk niet of weinig gebruikt. Ze hebben vooral hun waarde voor meer theoretisch bewaarfysiologisch onderzoek. In de praktijk volgt men zijn ervaring en past nieuwe methoden toe zodra deze hun voordelen hebben bewezen.



Figuur 5.1 Gaswisseling van groenten en fruit gerelateerde factoren en verschijnselen

↳ niet reconstrueren.

5.2.2 Bloemen en Planten

In januari 2008 fuseerden Bloemenveiling Aalsmeer en Flora Holland tot de grootste bloemenveiling organisatie ter wereld, goed voor een handelswaarde van ongeveer 12 miljard Euro per jaar. Door gebruikmaking van internet binnen het veilingstelsel is Aalsmeer ook een echte wereldbloemenveiling geworden. Bijvoorbeeld een groothandelaar in Sint-Petersburg kan via het internetsysteem in-real-time meebieden op de in Aalsmeer aangeboden bloemen en planten. Dit alles kon onder meer tot stand komen dankzij een enorm gekoeld veilinggebouw, waarin een koelinstallatie zo'n drie ton koelmiddel rondpompt.

Binnen deze verhandeling zijn bloemen en planten een verhaal apart. Het zijn geen voedingsmiddelen en binnen de aard van hun productie bestaan grote stukken biotechnologie. Gespecialiseerde orchideeën bedrijven kunnen via weefselkweek en slim engineering kleine stukjes plant in twee jaren veranderen in jonge orchideeën die nog een jaar later in grote partijen de winkelschappen kunnen omtoveren tot een tropische tuin.

Door hun bijzondere fysiologische staat verdragen veel bloemen en verse AGF voedingsmiddelen elkaar niet. Veel bloemen zijn notoire uitscheiders van ethyleen (C_2H_4). In het verleden echter was het niet ongewoon in dezelfde koelcontainer bloemen en vruchten te vervoeren. Bloemen hebben daarvan niet veel last, diverse fruitsoorten gingen daarentegen verloren. Het fruit verloor een groot deel van zijn houdbaarheid doordat het snel begon af te rijpen. Het raadsel kon pas worden opgelost toen de sterke afgifte van ethyleen door bloemen bekend werd. Deze stof stimuleert de fruitrijping door als afrijpingshormoon te werken. De relatie tussen bloemen en fruit ligt voor de hand als men zich realiseert dat fruit ontstaat uit bloemen die bevrucht zijn en zaden gaan vormen. Veel vruchten zijn door de natuur bedoeld als dragers van zaad, aantrekkelijk gemaakt voor dieren die zo de zaden verspreiden.

Dat ethyleengas als afrijpingshormoon werkzaam is werd indirect reeds omstreeks 1900 waargenomen. Bij het dagenlange vervoer van bananen uit Costa Rica naar de groeiende steden in de USA bleek dat bananen in de buurt van de toen gebruikte carbid lampen sneller afriipten. Later onderzoek isoleerde ethyleengas, dat als bijproduct van carbidlicht vrijkomt, en toonde aan dat dit de gangmaker was.

5.3 Bewaarfysiologie

5.3.1 Inleiding

De ademhaling van het geoogste maar nog levende product berust op de gebruikelijke stofwisselingsprocessen, glycolyse, citroenzuur cyclus en energiehuishouding die doorgaan in de cellen van het biologische product. Suiker en luchtzuurstof worden verademd tot koolzuur en water. De vrijgekomen energie wordt gebruikt voor levensprocessen en uiteindelijk afgegeven als warmte. Omdat er geen verse aanvoer van water en voeding meer plaatsvindt loopt dit proces langzaam terug en stopt uiteindelijk als de stress te groot is geworden en het leven sterft. De snelheid waarmee dit achteruit gaat is sterk afhankelijk van de temperatuur, de reserves van de plant en het deel van de plant, met name wortel, stengel, blad, groeipunt, bloem of vrucht, en de luchtvochtigheid.

De fysiologische achteruitgang van AGF en bloemen wordt in de eerste plaats veroorzaakt door de stressconditie als gevolg van het afsnijden van het weefsel van de moederplant of de wortel. Het weefsel is niet meer in staat om zijn verliezen aan water en voedingsstoffen aan te vullen en kan mogelijk zijn metaboliëten niet meer kwijt. Waterverlies door uitdroging kan hierbij een sterk effect zijn. De zieltogende conditie die hiervan het resultaat is, maakt het weefsel vatbaar voor de invasie van (facultatief parasitische) micro-organismen. Niet zelden wordt deze conditie nog verergerd als gevolg van mechanische schade door onjuiste behandeling van het product.

Gaat men dieper in op de samenhang tussen de fysiologische verschijnselen onderling en in relatie tot bewaarduur dan blijken de achterliggende mechanismen vaak complex en nog lang niet volledig opgehelderd te zijn. Bekend is dat de ademhalingsintensiteit, het ademhalingsquotiënt (verhouding tussen uitgescheiden koolzuurgas en opgenomen zuurstof), en de temperatuurcoëfficiënt van de ademhaling (dit is de toename van de ademhaling per graad Celsius temperatuurstijging) afhankelijk zijn van veel factoren zoals soort en variëteit fruit, rijpheidstoestand bij de oogst, groeiomstandigheden, temperatuurniveau, ed. Er bestaat een groeiende belangstelling voor tropisch fruit in verband met de toenemende handel hierin. Basis gegevens en productbeschrijvingen kunnen worden gevonden in de vier banden met plantaardige productgegevens welke gepubliceerd zijn door het vroegere Sprenger Instituut (Wageningen) tussen 1980 en 1990. Dit instituut heeft in die tijd veel praktisch onderzoek gedaan en meetgegevens verzameld. Een voorbeeld van 2 productbeschrijvingen hieruit is weergegeven in Bijlage II.

5.3.2 Achteruitgang en Warmteontwikkeling

Tijdverlies tussen het oogsten en het consumeren van land- en tuinbouwproducten is meestal onvermijdelijk en belangrijke verliezen in kwaliteit kunnen daarbij optreden. Deze verliezen kunnen geminimaliseerd worden door een spoedige afkoeling van het product. Zo is bijvoorbeeld het gewichtsverlies van aardappelen en uien, die na de oogst een week worden bewaard bij 20 - 25 °C even hoog als dat verlies gedurende vier weken bij 5 °C. Aardappelen en uien kunnen dit goed doorstaan omdat het organen van de

plant zijn waarin reserves zijn opgehoopt. Bladgroenten daarentegen hebben geen buffer en zijn snel verloren als ze niet worden gekoeld.

Een belangrijke indicatie van hoe snel een product achter uitgaat is de natuurlijke warmteontwikkeling van het opgeslagen product. Deze warmte moet uit een koelhuis extra afgevoerd worden. Deze warmteproductie is sterk afhankelijk van de temperatuur zoals met enkele voorbeelden in tabel 5.1. wordt geïllustreerd. Van alle denkbare maatregelen om achteruitgang te vertragen is temperatuur beïnvloeding, dus koeling, het meest effectief.

TEMPERATUUR [°C]	0	4,4	15,5
PRODUCT	WARMTE ONTWIKKELING [W/ton]		
Appel	9-14	15-24	58-87
Bonen	73-82	120-160	440-580
Aardbei	34-51	68-87	210-260
Sinaasappel	9-12	19	68
Sla	150	210	620
Tomaten rood	14	17	78
Spinazie	57-75	100-150	510

Tabel 5.1 Warmteontwikkeling t.g.v. ademhaling bij drie temperaturen van enkele tuinbouwproducten in Watt/ton product.

5.3.3 Botanische functie en bewaarduur

→ *planten vraag.*

Afhankelijk van hun aard vertonen individuele tuinbouwproducten grote verschillen in mogelijke bewaarduur en ook in hun respons op uiteenlopende omgeving- en opslagcondities. In het algemeen blijkt dat snelheid van kwaliteitsverlies voor een vers product in direct verband staat tot de botanische functie van het plantenorgaan in kwestie. Aardappels zijn opslagorganen en als ze rijp en gevuld zijn met reserves is hun ademhalingsintensiteit zeer laag en alleen nodig om te overleven tot het voorjaar. Jonge kiemen daarentegen zijn het meest actief omdat ze snel de groeikansen moeten benutten. Het aangelegde plantenweefsel kent dus een grote variatie in de snelheid van hun levensprocessen.

De kortste bewaartijden, gekoppeld aan de hoogste respiratie- of ademhalingssnelheden, worden gevonden in weefsels die nog een snelle groei vertonen op het moment van oogsten. Voorbeelden hiervan zijn paddenstoelen (champignons bijv.), asperges en andere actieve jonge scheuten. Hierna komen bladeren en bovengrondse delen van rijpe planten (bijv. sla, andijvie, selderei en zomerkool) met een iets langere mogelijke bewaarduur en minder hoge respiraties. Bladgroenten liggen in dit beeld nogal ongunstig vanwege hun grote verdampend oppervlak, waardoor het product relatief snel uitdroogt en verwelkt en daardoor bij hogere temperaturen snel onverkoopbaar wordt. Het verschil tussen bladsla en bloemkool wordt vooral bepaald door de veel grotere massa van de bloemkool. Daarna volgen meer langdurig houdbare gewassen zoals witte en rode kool en wortels waarin de plant voedsel afzet om barre tijden te overleven, zoals winterwortels en rapen, en tenslotte blijken de sterk gespecialiseerde opslagorganen zoals knollen (aardappel) en bollen (ui) nog langer bewaard te kunnen worden. Tabel 5.2 geeft enkele voorbeelden van respiratiesnelheden en mogelijke bewaarduur van land- en tuinbouwgewassen, hier ingedeeld in vier categorieën. De bewaarduur is hier gegeven in het conventionele koelhuis. Nieuw onderzoek heeft aangetoond dat de bewaarduur van veel groentesoorten verder verlengd kan worden door de juiste gasbewaring.

PRODUCT	RELATIEVE RESPIRATIE	BOTANISCHE FUNCTIE	BEWAARDUUR (WEKEN BIJ 2 °C)
Asperge	40	actief groeiende scheuten	0,4 – 1
Paddenstoelen	21		
Artisjokken	17		
Spinazie	12	bladeren en stengels	1 - 2
Bladsla	11		1,5 – 5
Koolsoorten	6		
Winterwortel	5	opslagwortels	5 – 20
Koolraap	4		
Bieten	3		
Aardappel	2	gespecialiseerde opslagorganen	25 – 50
Knoflook	2		
Ui	1		

Tabel 5.2 Botanische functie, bewaarduur en ademhalingsgraad voor enkele tuinbouwproducten.

De hier gebruikte indeling in vier categorieën is enigszins willekeurig. Meestal wordt een indeling in *snel levende* en *langzaam levende* producten gehanteerd. De eersten hebben een sterke ademhaling en een relatief geringe energiewaarde (per producteenheid); zij verbruiken snel de aanwezige reserves en gaan spoedig te gronde; het tijdens de bewaring verzwakkende weefsel valt ook gemakkelijk ten prooi aan rotting en beschimmeling. Langzaam levende producten danken hun grotere houdbaarheid aan een tragere ademhaling en een grotere energiewaarde. Tot de eerste groep behoort de aardbei met ademhalingsintensiteit bij 5 °C van 40 mg CO₂/kg.h. Een appel echter ademt veel trager: bij 5 °C in de ordegrootte van 5 mg CO₂/kg.h.

5.3.4 Houdbaarheid van tuinbouwproducten

Tabel 5.3. geeft een algemeen overzicht van enkele uit systematisch onderzoek verkregen bewaarfysiologische gegevens van bekende tuinbouwproducten zonder beïnvloeding van de omringende atmosfeer. De invloed van dit laatste en de mogelijke winst voor de verlenging van de bewaarduur is het onderwerp van par. 5.4.

In het algemeen is een hoge RV van de omringende lucht gewenst; de keuze is hier weer het compromis tussen de nadelen van uitdroging en van schimmelvorming. De gegevens in de literatuur over de beste bewaarcondities lopen nogal uiteen. Het betreft hier verschillen in soort, ras, groeiseizoen (weersomstandigheden), grondsoort e.d. en soms ook wijze van onderzoek en verschillen in beoordelingswijze van kwaliteit.

PRODUCT	TEMPERATUUR [°C]	BEWAARDUUR
Aardappel	4	6 maanden
Andijvie	0-1	2 weken
Asperge	0-1 (5 in natte doek)	2 weken (5 dagen)
Augurk	12	5-8 dagen
Bonen(sla-, snij, pronk-)	4-5	1 week
Komkommer	12	1 week
Bloemkool	0-1	3-6 weken
Gele savoye kool	0-1	6 maanden
Groene savoye kool	0	3-4 weken
Rode kool	0-1	6 maanden
Spruitkool	-1	3-4 weken
Kroot	0-1	6 maanden
Winterpeen zonder loof	0-1	5 maanden
Prei	-1	6 weken
Sla	0-1	1-2 weken
Spinazie	0-1	4-8 dagen
Tomaat groen of oranje	12	2-3 weken
Tomaat rood	8-10	2 weken
Ui	0-1	10 maanden
Appelen, variërend per soort	3-6	Enkele weken tot 6 maanden
Peren	0	Enkele weken tot enkele maanden
Zacht fruit	0	1 week

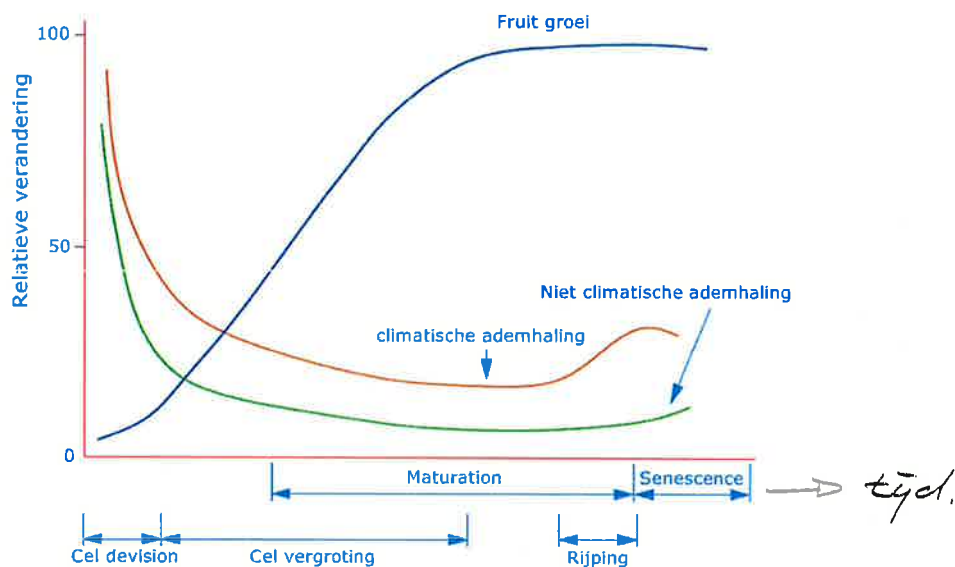
Tabel 5.3 Aanbevolen bewaartemperaturen en mogelijke bewaarduur van Nederlandse tuinbouwproducten.

5.3.5 Afrijping van fruit

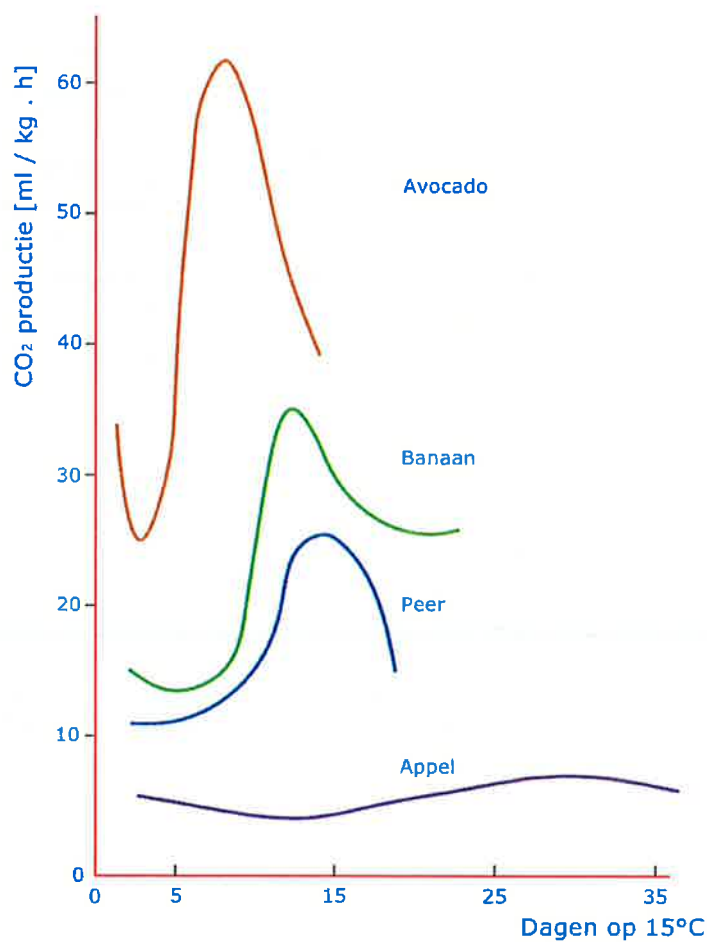
Ademhaling kan beschreven worden als een oxydatieve afbraak van koolhydraten zoals zetmeel en suikers, en organische zuren, naar kleinere moleculen, zoals koolzuur en water. Daarbij wordt warmte geproduceerd en ook worden andere moleculen gevormd die op hun beurt weer een functie bij omzettingen vervullen. Ademhaling kan met en zonder zuurstof plaatsvinden. Dus zowel aëroob als ook anaëroob. Van dit laatste wordt gebruik gemaakt tijdens langdurige bewaring.

De ademhalingsintensiteit is een goede maatstaf voor de metabolische activiteit van het weefsel en is als zodanig een bruikbaar hulpmiddel ter bepaling van de potentiële houdbaarheid van een product.

Volgt men een vrucht of een groente van groei tot aan veroudering, dan valt het verschil in ademhalingsintensiteit op, gedurende de verschillende stadia. Dit is geïllustreerd in figuur 5.2.

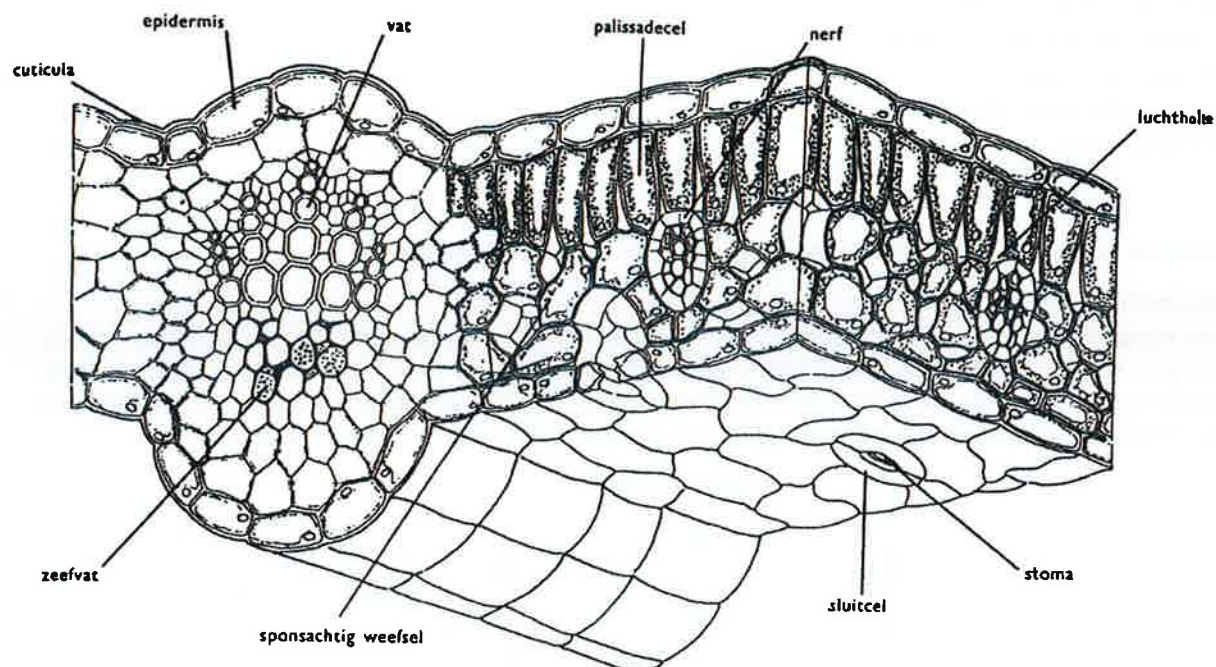


Figuur 5.2 Groei en ademhalingsbeeld van fruit gedurende de ontwikkeling, afrijping en veroudering.



Figuur 5.3 Ademhalingsbeeld van climacterisch fruit.

5.3.6 Weerstand tegen vochtverlies van een tuinbouwproduct, de gasuitwisseling



Figuur 5.4 Doorsnede van een blad.

Zoals in figuur 5.4 is te zien, bevinden zich tussen de cellen, vele intercellulaire ruimten (holten). In een normaal turgescerend blad is het celweefsel van deze holten gewoonlijk verzadigd met water. Dit water verdampt in de intercellulaire holten, die in verbinding staan met de ademholten en de huidmondjes. Overdag zijn de huidmondjes meestal open voor de gaswisseling van zuurstof en koolzuur tussen de lucht en het blad. Ze sluiten pas als het donker wordt of de plant te ver uitdroogt en de juiste turgor verliest. Factoren als licht, temperatuur en relatieve vochtigheid zijn van belang voor de openingstoestand van de huidmondjes. Niet alleen de waterdamp, maar ook andere gassen kunnen op deze wijze uitgewisseld worden met de omgeving.

De weerstand voor vochtafgifte van tuinbouwproducten wordt gevormd door de huidweerstand en de interne weerstand die sterk afhankelijk is van de porositeit van het weefsel..

5.3.7 Specifieke vochtafgifte en mogelijkheid tot vacuümkoelen

Om de vochtafgifte te kunnen moduleren en ermee te rekenen wordt gebruik gemaakt van de specifieke vochtafgifte. Dit is de vochtafgifte in kilogrammen waterdamp per kilogram product, per Pascal waterdampdrukdeficit en per seconde. De eenheid voor specifieke vochtafgifte is dan ook:

$$\frac{\text{kg waterdamp}}{\text{kg product} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}} \quad \text{oftewel:} \quad \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

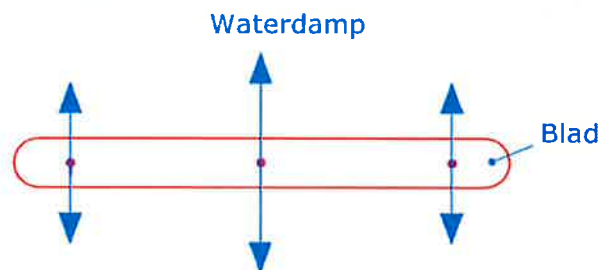
Deze vochtafgifte is dan afhankelijk van allerlei factoren en invloeden zoals:

1. soort product, ras, eigenschappen
2. toestand van de huid
3. massa individueel product
4. dampdrukdeficit
5. lichtsnelheid rondom het product
6. lichtintensiteit

5.3.8 Weefsel- en huidporositeit en mogelijkheid tot vacuümkoeling

Volumeverschijsel

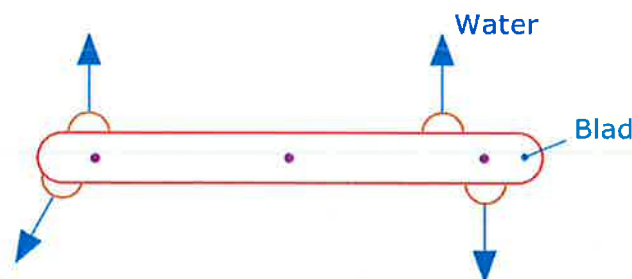
indien een tuinbouwproduct inwendig poreus is - dus veel en grote intercellulaire ruimten heeft - en de huid een open structuur heeft, zal niet alléén buiten het product maar ook in het product, de druk sterk kunnen dalen waardoor het vrije water zal kunnen koken. De ontstane waterdamp kan dan betrekkelijk makkelijk ontwijken. Dit is een gunstige conditie om *vacuümkoeling* te kunnen toepassen.



Figuur 5.5 Volumeverschijsel bij vacuümkoelen

Oppervlakteverschijsel

indien een tuinbouwproduct inwendig weinig poreus is en/of de huid van dit product een gesloten structuur heeft, dan zal de druk in de intercellulaire ruimtes onvoldoende dalen. Het vrije water in deze ruimtes kan dan niet koken er ontstaat géén koeling. De enige mogelijkheid om dit product vacuüm te koelen, is het nat te maken. Het water aan de oppervlakte zal dan bij de lage druk kunnen koken. Door geleiding moet de warmte dan uit het product stromen.



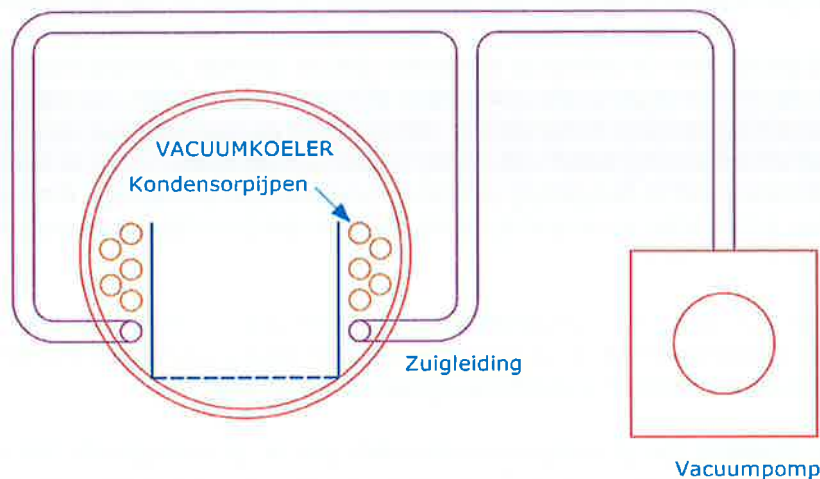
Figuur 5.6 Oppervlakteverschijsel bij vacuümkoelen.

Kan vacuümkoeling worden toegepast?

Er zijn twee argumenten om vóór vacuümkoeling van een bepaald tuinbouwproduct te kiezen. De eerste reden is de handhaving van de productkwaliteit. Zoals uit het houdbaarheidsdiagram (zie figuur 4.1) blijkt is de afkoeltijd van invloed op de tijdsduur van houdbaarheid. Met vacuümkoeling kan de afkoeltijd sterk bekort worden. In een cyclus (vullen, vacuümdrogen, lossen) van ca. 30 minuten is een tuinbouwproduct met voldoende verdampend oppervlak op 1°C te brengen, dus de gehele veldwarmte wordt afgevoerd.

Het tweede argument is dat het product voldoende groot specifiek oppervlak moet hebben om voldoende verdamping en daardoor goede afkoeling mogelijk te maken. Voor tomaten, appels en peren is de methode dan ook niet geschikt, maar wel geschikt voor bladgroenten als sla en andijvie, en kleine vochtige vruchten zoals frambozen en kersen, die over een relatief groot verdampend oppervlak beschikken. Het vochtverlies door droging kan men terugdringen door vooraf het product te bevochtigen.

De vacuümkoelinstallatie



Figuur 5.7 Principe van de vacuüm koelinstallatie

De vacuüm koelinstallatie bestaat uit een grote horizontale tank waarin het product op pallets wordt binnengereden, vacuüm gezogen; na enige tijd wordt weerlucht ingelaten en het product gelost voor de volgende charge. Bij vacumeren dient de wegstromende lucht en waterdamp de condensor (condensor pijpen met verdampend koelmiddel of bakken ijs) te passeren.

Korte afkoelperiode noodzakelijk in de afzetketen. Sommige tuinbouwproducten moeten bijvoorbeeld in verband met tijdgebrek, snel worden afgekoeld. Zou men deze producten langzamer koelen, dan zou dit weinig invloed op de houdbaarheidsduur hebben maar dan zou de wachttijd langer worden. Men moet dan langer wachten op het afkoelen, voordat het product bijvoorbeeld vervoerd kan worden.

Er ontstaan er bij het vacuümkoelen, zeer grote hoeveelheden waterdamp. De vacuümpomp is niet in staat om de ontstane waterdamp af te voeren. De waterdamp wordt daarom gecondenseerd tot water en afgevoerd. De condensatie van de waterdamp wordt verzorgd door de verdamper van een mechanische koelinstallatie of een bak scherf-ijs.

Aangeraden wordt om het product in een koele omgeving worden gehouden tot het gekoeld kan worden. Vacuümkoeling wordt toegepast in de groothandel en in de kleinhandel waar de investering gerechtvaardigd is. Op initiatief van het Sprenger Instituut, mede gestimuleerd door het Centraal Bureau van de Tuinbouwveilingen in Nederland, is vanaf 1970 vacuümkoeling van sla en bladgroenten, toegepast bij veel veilingen. Vacuüm koelen draagt door zijn snelle koeling in grote mate bij tot het kwaliteitsbehoud.

Bij het afkoelproces verdampt er ca. 1% water per elke 6 °C afkoeling. Eerst verdampt het vrije, aanhangende water, later wordt er vocht aan het product onttrokken. Doordat de vochtonttrekking over de gehele krop wordt gespreid, is dit niet merkbaar aan de stevigheid en de kwaliteit van de sla. Goed is om door lichte besproeiing vooraf het gewichtsverlies te compenseren.

5.3.10 Bewaarziekten

Bij suboptimale bewaarcondities wordt de bewaarduur verkort door versneld afleven en door het optreden van zgn. *bewaarziekten*. Hiertoe behoort het reeds genoemde lage-temperatuur-bederf (LTB) dat veroorzaakt wordt door een disharmonie in de stofwisselingsprocessen. Door een verschil in temperatuurcoëfficiënten van opeenvolgende reacties in de stofwisseling kunnen reactieproducten, welke bij gewone temperatuur normaal worden geassimileerd door de vervolgreactie, worden opgehoopt bij een te lage temperatuur omdat dan die volgreactie te langzaam verloopt. Het klassieke voorbeeld hiervan is het zoet en gevoelig-voor-blauwkleuring worden van aardappelen bij temperaturen lager dan 4 °C.

De zoetwording is het gevolg van de ophoping van suiker dat uit zetmeel ontstaat maar niet kan worden verademd doordat de verdere energiehuishouding bijna stilstaat. Ook moeten aardappelen bij deze lage temperaturen zeer voorzichtig worden behandeld in verband met de gevoeligheid voor blauwkleuring op beurse plekken. Deze blauwkleuring treedt ook op bij hogere temperaturen maar is heel sterk bij die lage temperaturen. De verkleuring zelf is het gevolg van een enzymatische omzetting. Als men aardappels wil verladen of behandelen is het beter ze vooraf op te warmen omdat deze blauwgevoeligheid dan veel minder sterk is.

Bij aardappels is het zoet worden een herstelbare vorm van LTB omdat het kwaad weer ongedaan gemaakt wordt door enige tijd bij kamertemperatuur te bewaren. Bij sommige groenten en vruchten echter kunnen onherstelbare bewaarziekten optreden. Berucht bij appels is bruine stip.

Veel fruit en sommige groenten zijn gevoelig voor veranderingen in de omringende bewaaratmosfeer, ten goede en ten kwade. In de volgende paragraaf worden enkele feiten hierover vermeld, maar veel systematisch onderzoek hiernaar is niet gedaan of nog niet gepubliceerd.

Op parasitaire en andere bewaarziekten van groente en fruit wordt hier verder niet ingegaan. Parasitaire bewaarziekten worden meestal door schimmels veroorzaakt. Technisch is vanzelfsprekend ook hier een goede hygiëne waardevol.

5.4. Omringende Atmosfeer tijdens Bewaring

5.4.1 Controlled Atmosphere (CA)

Gezien de fysiologie van het verse tuinbouwproduct ligt het voor de hand om, naast temperatuurverlaging, de gassamenstelling rondom het te bewaren product belangrijk te beïnvloeden en aldus proberen de mogelijke bewaartijd te verlengen. Een gewijzigde gassamenstelling in de omringende atmosfeer tijdens bewaring werd voor het eerst commercieel toegepast voor het opslaan van fruit omstreeks 1919. Vanaf die tijd aarzelend maar na 1945 op grote schaal is de CA (Controlled Atmosphere, soms gasbewaring genoemd) methode met wisselend succes toegepast voor een verdere verlenging van de bewaarduur vooral van gekoeld fruit. Uit veel onderzoek bleek dat CA nogal product- en soortspecifiek is. Vaak treden bij hogere koolzuurgas niveau's schade en smaakveranderingen in het fruit op. Sommige fruit- en groentesoorten zijn hier heel gevoelig voor. Maximaal te tolereren gasniveau's lopen sterk uiteen van 1-2% voor Anjou-peren, abrikozen en kropsla tot 20% koolzuurgas voor pruimen, vijgen, suikermais en spinazie.

Zo wordt veelvuldig gebruik gemaakt van koolzuurgas en vochtige lucht bij de bewaring van levende producten. Naast een bactericide en vooral fungicide werking, waardoor het mogelijk wordt de relatieve vochtigheid van de lucht te verhogen en uitdroging van het fruit te beperken, heeft CO₂ vanzelfsprekend een remmende werking op de ademhaling, eventueel in combinatie met een verlaagde zuurstofconcentratie. Het effect van zuurstof is hier groter dan van koolzuurgas. Uitvoerig onderzoek, vooral aan appels en peren, heeft aangetoond dat bepaalde gassamenstellingen de bewaarduur van sommige producten zeer aanzienlijk (tot 1 jaar) kunnen verlengen. Omstreeks 1986 is in België deze methode verder geoptimaliseerd en uitontwikkeld tot de nu zeer populaire ULO methode van het bewaren van appels en peren en soms ander fruit en groente.

5.4.2 Ultra Low Oxygen bewaring (ULO)

Als speciale variant van CA gasbewaring wordt steeds meer gebruik gemaakt van zeer lage zuurstofgehalten in de omringende atmosfeer van fruit en ook groenten, de z.g. Ultra Low Oxygen bewaring, ULO. Speciaal voor appels en peren is de methode zeer populair en wordt de mogelijke bewaartijd verlengd tot bijna een jaar. Deze methode is ontstaan door de realisatie dat slim zou moeten worden ingespeeld op de stofwisselingsprocessen van het te bewaren fruit. In fruit en groente los van de moederplant gaan de levensprocessen op celniveau gewoon door zolang suikers, enzymen en vocht voldoende aanwezig zijn. De ademhaling veroorzaakt de afgifte van koolzuurgas en opname van zuurstof uit de lucht, en verademt het product langzaam. De snelheid van CO_2 -ontwikkeling is een maat voor deze respiratie-activiteit, die berust op de Glycolyse, de Krebs- of Citroenzuursyclus en de oxidatieve Fosforylatie, de gebruikelijke stofwisselingsprocessen.

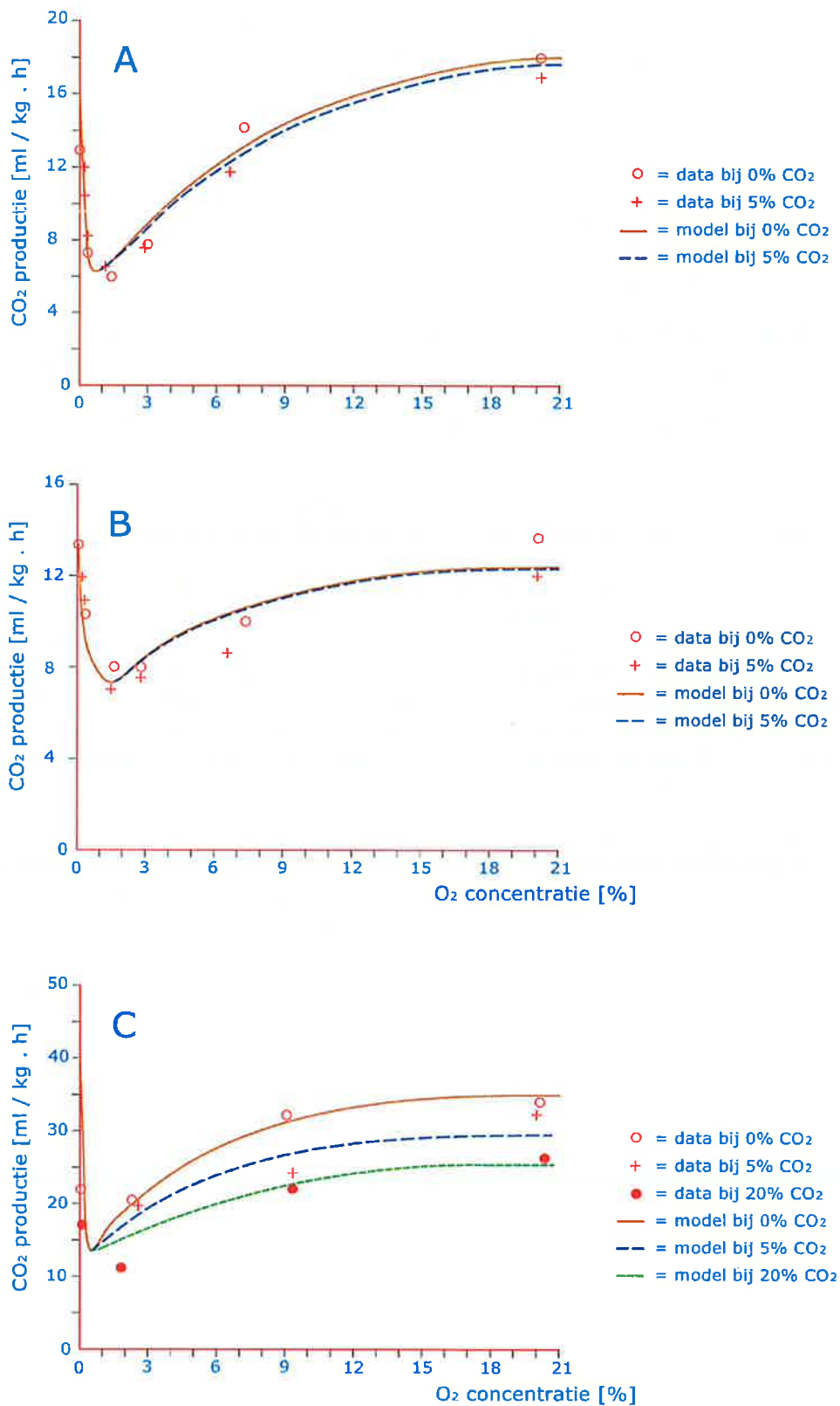
De glycolyse heeft geen zuurstof nodig en zet glucose om in pyruvaat. Ook als helemaal geen zuurstof aanwezig is loopt de glycolyse door, zelfs in versterkte mate om de cel aan (een beetje) energie te helpen voor zijn overleving. In dat geval wordt pyruvaat omgezet in alcohol (via acetyl), koolzuur en een beetje energie, echte gisting (fermentatie) dus. De citroenzuursyclus en de fosforylatie gebruiken zuurstof en verbranden het gevormde pyruvaat tot koolzuur en water, en produceren daarbij veel energie.

Een verhoogd koolzuurgehalte vertraagt de algemene stofwisseling maar dit is slechts een gering effect. Groter is de invloed van een laag zuurstofgehalte. Voor appels is dit goed onderzocht.

In een zuurstofvrije omgeving gaat het appelweefsel geheel over op de glycolyse. Suiker wordt versneld afgebroken. Alcohol hoopt zich op en er ontstaat relatief veel CO_2 . Bij 1,5 tot 2% O_2 is de fermentatie tot een kleine fractie verminderd en komen de oxidatieve processen weer op gang. Deze laatste nemen toe tot normale proporties naarmate de hoeveelheid O_2 van de omgeving stijgt tot het gehalte in normale lucht (20.95%). Dit wordt weergegeven in figuur 5.8. Bij ongeveer 1,5 % O_2 vertoont het geproduceerde CO_2 gehalte een minimum als resultante van sterk verminderde gisting en beginnende verademing. Dit is ongeveer het niveau van O_2 -gehalte waarop bij ULO-bewaring wordt gestuurd. Figuur 5.8 geeft ook de globale invloed weer van het koolzuurniveau.

Bij het afrijpen vertonen fruit (en soms groente) grote veranderingen in hun stofwisselingsprocessen, en onderling is hun gedrag soms sterk uiteenlopend. Iedere soort en zelfs cultivar vertoont hier een eigen uniek gedrag. In het algemeen is het gunstig om voor bewaring die temperatuur te zoeken waarbij de respiratie minimaal is maar nog geen LTB optreedt. Deze minimale temperatuur is meestal sterk afhankelijk van het klimaat waarin het product is gegroeid. Voor (sub)tropische producten ligt deze temperatuur gewoonlijk in de buurt van 12°C ; voor Nederlands groente en fruit meestal één of enkele graden boven het vriespunt.

Een algemene conclusie is dat koeling en voorkomen dat een product uitdroogt het grootste effect op verlenging van de houdbaarheid hebben. Wordt dit verder gecombineerd met CA-bewaring dan kunnen soms grote effecten worden bereikt, tot zelfs 11 maanden houdbaarheid toe voor appels onder ULO-bewaring.

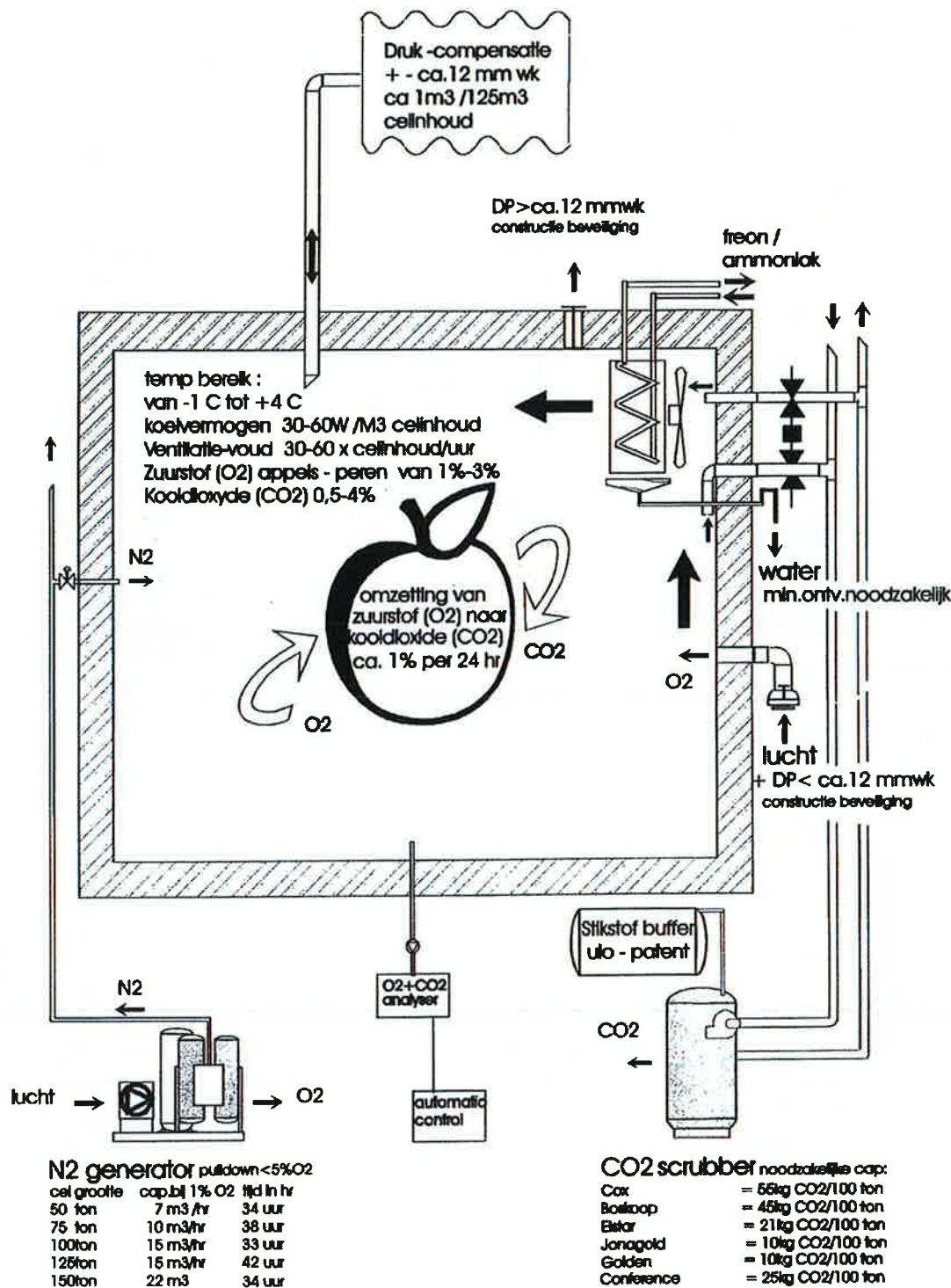


Figuur 5.8 Koolzuurproductie van tuinbouwproducten als functie van het zuurstofgehalte

RAS	TYPE BEWARING	TEMPERATUUR	CO ₂	O ₂	BEWAARDUUR (GLOBAAL)
		[°C]	[%]	[%]	
Alkmene	mech. koeling	4			1 maand
Benoni					niet bewaren
Cox's O.P.	mech. koeling	3,5			3 maanden
	CA-scrub	3,5	<1	3	4,5 maanden
	ULO	4	<0,7	1,2 tot 1,4	6,5 maanden
Delcorf	mech. koeling	3			1,5 maanden
Discovery	mech. koeling	4			enkele weken
Elan	mech. koeling	3			niet bewaren
Elise	mech. koeling	1			4,5 maanden
	CA-scrub	1	3	3	5,5 maanden
	ULO	1	3	1,2	7 maanden
Elstar	mech. koeling	1			3 maanden
	CA-scrub	1	3	3	4,5 maanden
	ULO	1 tot 2	2 tot 3	1,2	7 maanden
Fiesta	mech. koeling	3,5			3 maanden
	CA-scrub	3	3	3	5 maanden
	ULO	4	1 tot 2	1,2	6 maanden
Gala	mech. koeling	1			3,5 maanden
	ULO	1	1 tot 2	1,2	6,5 maanden
Gloster	mech. koeling	1			4,5 maanden
	CA-scrub	1	3	3	6,5 maanden
	ULO	1	3	1,2	7,5 maanden
Golden delicious	mech. koeling	1			3 maanden
	CA	1	5 tot 6	15 tot 16	4 maanden
	CA-scrub	1	4	3	6,5 maanden
	ULO		4	1 tot 1,2	8 maanden
James Grieve	mech. koeling	3			1,5 maanden
Jonagold	mech. koeling	1			3 maanden
	CA-scrub	1	4	3	6,5 maanden
	ULO	1	4	1 tot 1,2	9 maanden
Karmijn de Sonnevile	mech. koeling	4			3 maanden
	CA-scrub	4	1 tot 2	2	4 maanden
	ULO	4	1	1,2	5 maanden
Laxton's superb	mech. koeling	2 tot 3			4 maanden
	CA-scrub	2 tot 3	6	15	6 maanden
	ULO	2 tot 3	4	3	7 maanden
Lombarts Calville	mech. koeling	3 tot 3,5			3 maanden
	CA-scrub	3 tot 3,5	3	3	7,5 maanden
	ULO	3 tot 3,5	2	1,2	8 maanden
Melrose	mech. koeling	3			3 maanden
	CA	3	5	16	4,5 maanden
	CA-scrub	3	3	3	5 maanden
	ULO	3	<1	1,2	6 maanden
Schone van Boskoop	mech. Koeling	4 tot 5			3,5 maanden
	CA-scrub	4 tot 5	<1	3	4,5 maanden
	ULO	4,5 tot 5	<0,7	1,2	5,5 maanden

Tabel 5.5 Weergave bewaartijden voor appels en voorbeelden van de winst door appels in ULO te bewaren.

In het algemeen lijkt het voor een maximale bewaarduur nodig om de optimale gassamenstelling nauwkeurig te handhaven. Voor diverse fruitsoorten bij gasbewaring wisselen de gassamenstellingen enigszins en liggen de grenzen tussen gunstig en schadelijk voor verschillende producten uiteen, zelfs voor vruchten van dezelfde variëteit maar van verschillende herkomst kunnen ze belangrijk wisselen. Figuur 5.9 geeft het prinscipeschema van een ULO bewaarcel weer



Figuur 5.9 Prinscipeschema van een ULO bewaarcel

5.4.3 Modified Atmosphere Packaging (MAP)

Een ontwikkeling die mede onder invloed van het beschikbaar komen van betere verpakkingsmaterialen en supermarktlogistiek nu meer systematisch aandacht krijgt is de beïnvloeding van de gassamenstelling in consumentverpakkingen. Dit wordt wel gemodificeerde atmosfeer verpakking genoemd of *modified atmosphere packaging* (MAP). MAP is bewaring van het product in verpakkingsfolie van luchtdicht of gecontroleerd doorlaatbaar materiaal waarbinnen de atmosfeer een afwijkende samenstelling heeft.

Hierin zijn drie vormen te onderscheiden:

- vacuümverpakken;
- gasverpakken of gasvervangend verpakken;
- equilibrium modified atmosphere packaging EMAP.

Vacuümverpakken wordt reeds lang toegepast. Het product wordt in een impermeabele verpakking geplaatst, waarna de lucht wordt weggezogen en de verpakking hermetisch gesloten. Doordat geen zuurstof meer aanwezig is worden aërobe micro-organismen en oxidatiereacties onderdrukt. Koeling vertraagd het andere bederf en de mogelijke bewaarduur is met dagen verlengd. Een nadeel is dat het product in elkaar gedrukt en vervormd kan worden.

Door *gasverpakken* toe te passen wordt het nadeel van productvervorming voorkomen. Deze methode houdt in dat de lucht vervangen wordt door ander gas. Door een gerichte gaskeuze kunnen meer bederffactoren worden tegen gegaan. Over het algemeen worden drie gassen gebruikt: stikstof, koolzuurgas (koolstofdioxide) en zuurstof. De uiteindelijke gassamenstelling hangt af van het product en het doel van de conservering. Soms moet hiervoor gekozen worden tussen oxidatief of microbieel bederf tegengaan. Zie ook paragraaf 4.7.

Door het beschikbaar komen van andere en betere verpakkingsfoliën en meer zuivere gassen tegen betaalbare prijzen kon aan meer verpakkingswensen tegemoet worden gekomen. Met name is het concept van *actief verpakken* verder ontwikkeld. Hierbij zijn eigenschappen ingebouwd of ingrediënten mee verpakt waardoor de gassamenstelling binnen de verpakking actief wordt beïnvloed. Een alledaags voorbeeld is het zakje silicagel dat te vinden is in de verpakking van veel producten geïmporteerd uit China.

Ademende producten beïnvloeden zelf hun omringende atmosfeer zeker als die qua volume klein en afgesloten is. Bij ademhaling en uitdroging komen CO₂ en waterdamp vrij. Door nu de verpakking zo in te richten dat de gasatmosfeer binnenin slechts zeer beperkt door omgevingslucht wordt ververs, ontstaat een atmosfeer die arm aan O₂ en rijk aan CO₂ en H₂O. De hierdoor verlaagde respiratie en verminderde uitdroging geven het product een aanmerkelijke verlenging van de bewaarduur. De ontwikkeling van verpakkingsfoliën heeft het door inbouw van soort-gas selectieve permeabiliteiten mogelijk gemaakt. Hierdoor kan de gassamenstelling binnen de verpakking actief beïnvloed worden teneinde de mogelijke bewaarduur van de verpakte producten verder te verruimen. Dit concept wordt EMAP genoemd (Equilibrium Modified Atmosphere Packaging) verpakken waarbij een gestuurd evenwicht tussen de binnen- en buitenzijde van de verpakking ontstaat. Deze natuurlijke gasbewaring in het klein wordt door supermarkten bewust en niet zelden onbewust toegepast voor champignons, groenten, voorgesneden groente, soorten fruit, ed.

Niet alleen koolzuurgas en waterdamp kunnen voordelig zijn. Ook zuurstof wordt soms toegepast. Anaërobe micro-organismen worden zo goed onderdrukt. Ook afrijpingsreacties worden soms vertraagd. Druiven bijv. zijn langer houdbaar in verpakkingen met extra zuurstof.

5.5 Diepvriesproducten

5.5.1 Algemeen

Diepvriesproducten zijn (meestal levensmiddelen-) producten die na hun productie bij temperaturen van -18 °C of lager worden bewaard. Bij hogere temperaturen lopen diepvriesproducten het gevaar hun kwaliteit snel te verliezen. In de beginperiode van diepvriesbewaring zijn wel temperaturen van -15 °C (twee sterren) en -12 °C (één ster) toegepast. Voor korte bewaartijden is dit een mogelijkheid, maar zeker -12 °C ligt te dicht bij de kritische zone waar producten gevaarlijk snel hun kwaliteit verliezen. Ook kunnen temperaturen

rond van $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ rondt gevaarlijk zijn voor gemengde, suikerrijke producten met lage vriespunten, omdat in deze producten relatief weinig ijs gevormd wordt en $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ eigenlijk nog in de kritische zone van deze producten gelegen is. Als het hele levensmiddelen-in-de-diepvries panorama wordt overzien mag worden geconcludeerd dat de officiële bewaartemperatuur van $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, en compromis temperatuur is waarmee de meeste producten voldoende lang houdbaar zijn geworden. Als echter producten een langere bewaarduur dan een jaar behoeven, moeten ze bij lagere temperaturen bewaard worden; temperaturen van -30 of $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ worden hiervoor in de praktijk toegepast. Veel lagere bewaartemperaturen van $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ bijv. worden wel toegepast voor wetenschappelijk onderzoek. Voor de opslag van levensmiddelen echter wegen in de praktijk de extra kosten van veel lagere temperaturen dan $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ niet op tegen de voordelen, want het effect van nog diepere koeling neemt af voor veel producten.

Tabel 5.6 geeft een overzicht van de belangrijkste groepen diepvriesproducten en hun globale maximale bewaartijden bij $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (=ca. 0° Fahrenheit).

PRODUCTEN MET EEN BEWAARDUUR VAN MAXIMAAL 3 MAANDEN	
Roodvleesproducten	Varkenslever en -hart
	Hersenen
	Pens
	Speciale worsten en delicatessen zoals vleesbrood
	Voorgekookte bacon
	Gekookte <i>gesneden</i> ham
	Achterham
	Worstsoorten
Bakkerijproducten	Sponscake
	Kruidencake
PRODUCTEN MET EEN BEWAARDUUR VAN 3 TOT 6 MAANDEN	
Roodvleesproducten	Varkensgehakt en -worstsoorten
	Bacon
	Rund- en lamslever
	Rund- en lamshart
	Tong
	Nieren
	Gekookte hele ham
	Gekookte kalkoen
Gevogelte	Gekookte kalkoen
PRODUCTEN MET EEN BEWAARDUUR VAN 6 TOT 12 MAANDEN	
Roodvleesproducten	Rundergehakt, kalfsgehakt, klein gesneden delen
	Lamsgehakt
	Varkenskotelet en gerookte ham
	Voorgekookte vleespastei
Bakkerijproducten	Cakes en koek
Groenten	Asperge
	Sperziebonen
	Witlof
	Suikermaïs
	Patates frites
Vis	Vette soorten (paling)
	Rauwe en voorgekookte vis (6 tot 8 maanden)
	Rauw (10-12 maanden)
	Magere soorten
	Kreeft (10 tot 12 maanden)
PRODUCTEN MET EEN BEWAARDUUR VAN 12 MAANDEN EN LANGER	
Roodvleesproducten	Rundvlees, lamsvlees
Vis	Voorgekookte magere soorten
Gesuikerde vruchten	Abrikozen en perziken met ascorbine zuur
	Frambozen en aardbeien
Groenten	Lima bonen
	Broccoli
	Bloemkool
	Maïs
	Wortelen
	Groene erwten
	Spinazie
Eieren	Geheel, eigeel, eiwit
Bakkerijproducten	Voorgebakken brood
	Broodjes, wafels
	Koekdegen

Tabel 5.6 Bewaarduur van bevroren levensmiddelen in de diepvries(-18°C)
(Fennema, 1975)

5.5.2 Blancheren

Alvorens veel groentesoorten en sommige fruitsoorten te kunnen diepvriezen en vervolgens te bewaren gedurende vele maanden zonder groot kwaliteitsverlies, dient men deze te blancheren d.w.z. te verhitten bij 95-100°C gedurende korte tijd, meestal enkele minuten. Het plantaardig weefsel van deze producten bevat één of enkele enzymen uit de lipoxidase en peroxidase-groep die zelfs onder diepvriesomstandigheden nog een beetje actief zijn. Naast oxidatie van vetten worden ook carotenoïden door deze enzymen geoxideerd. Sterke verkleuringen kunnen daardoor optreden. Door deze werking worden bijv. bepaalde boonsoorten na enkele maanden in de diepvries donker van kleur, zeer taai en bitter en i.h.a. ongenietbaar als voedsel. Door verhitting worden de enzymen onwerkzaam (logaritmische afdodingskinetiek). In het algemeen wordt aangenomen dat enzymafdeling tot 10% van de oorspronkelijke activiteit voldoende is voor stabiele opslag van groente en fruit bij -18°C. In tabel 5.7 staan weergegeven door Tressler e.a. waargenomen blancheertijden:

GROENTESOORT	BLANCHEERTIJD IN KOKEND WATER [min]
Asperge	2 - 4
Bonen (tuin-en sperziebonen)	1 - 4
Bieten	3 - 5
Broccoli roosjes	2 - 3
Bloemkool roosjes	3 - 3,5
Maiskorrels	2 - 3
Mais aan de kolf	8 - 9
Doperwten	1,5
Spinazie	1 - 1,5
Snijbiet	2
FRUIT	
Perzik	0,5 - 1,5
Abrikoos	0,5 - 1
Nectarine	0,5 - 1

Tabel 5.7 Blancheertijden voor diverse groente- en fruitsoorten volgens Tressler

Bij de meeste rijpe fruitsoorten, die geblancheerd moeten worden om diepvriesbewaring goed te doorstaan, wordt wel aangenomen dat de schadelijke enzymen zich vooral bevinden in de schil, hetgeen betekent dat alleen dit buitenste deel van de vruchten voldoende moet worden verhit. In het algemeen is goed om ook hier niet blind te varen op literatuurwaarden maar om voor het eigen product de optimale bewaaromstandigheden zelf te controleren.

Op kleine schaal kan blancheren efficiënt worden uitgevoerd door onderdompeling in kokend water. Op industriële schaal wordt zowel gebruik gemaakt van kokend water, waarin het product ladingsgewijs wordt ondergedompeld, als wel van open stoom. In het laatste geval kunnen de bovengenoemde blancheertijden iets worden bekort vanwege de betere warmteoverdrachtscoëfficiënt. Populair voor industrieel blancheren zijn de continu werkende, schuin verticaal opgestelde transportschroeven waarin open stoom wordt geblazen. Echter ook band-type blancheurs met open stoom verhitting zijn in gebruik. Er bestaan immersietype blancheurs, bijv. toegepast voor spinazie, waarin wassen en blancheren worden gecombineerd.

In de praktijk wordt deze blancheerbewerking nogal eens gecombineerd met het schillen van fruitsoorten (stoomschillen).

De verliezen aan sommige voedingsstoffen, zoals mineralen en ascorbinezuur (vitamine C) die wateroplosbaar zijn, kunnen tijdens het blancheren aanzienlijk zijn; vooral bij bladgroenten met hun grote oppervlak. De verklaring hiervoor is dat de verliezen niet alleen optreden aan de snijoppervlakken van het weefsel maar ook door uitloging. In het temperatuurgebied tussen 73 en 80 °C gaat de semipermeabiliteit van het celmembraan verloren en verliest de cel zijn turgor. Door de nu open membraan kunnen oplosbare inhoudsstoffen naar buiten diffunderen.

Hoofdstuk 6. KOUDEBEHOEFTIGE PROCESSEN

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een globaal overzicht van zes van de meest koude behoeftige processen in de levensmiddelenindustrie. Het is een vervolg van wat hierover in het eerste vak A1 reeds is uiteengezet en gaat dieper hierop in. Tijdens de lessen zullen met de hulp van internet meer illustraties worden gegeven en besproken. In zijn algemeenheid voor schetsen van apparatuur en de werking daarvan voor alle eenheidsbewerkingen (zie A1 hoofdstuk 2) wordt verwezen naar het bekende Perry's Chemical Engineer Handbook.

6.2 Melk en zuivel

6.2.1 Melk

Mede door de koeltechniek kon de koemelk productie en verwerking in westerse landen met een gematigd klimaat en voldoende grasland uitgroeien tot een unieke moderne industrie, die in Nederland een kleine 30% van de totale levensmiddelenindustrie omvat. Het economische belang van de productie en verwerking van melk moge duidelijk zijn uit het feit dat bijna dertig procent van de huidige Nederlandse levensmiddelenindustrie gebaseerd is op de grondstof melk en de producten ervan. Omstreeks 2000 werd in Nederland ongeveer 12 miljoen ton melk geproduceerd. Dit is sindsdien wel iets toegenomen maar niet heel veel omdat de EG superheffingen op teveel geproduceerde melk een onnatuurlijke situatie van stilstand in de groei heeft opgeleverd. Rond 1979 was deze superheffing ingevoerd nadat een niet gezond EG subsidie beleid had geleid naar 'boterbergen' en andere overschotten. Onder druk van het EG-beleid heeft Nederland toegelaten dat zijn unieke mogelijkheden voor de concurrerende productie van koemelk en producten daaruit gekneveld werden en het aantal melkveebedrijven versneld werd teruggebracht. Goed nieuws voor de zuivelindustrie in Nederland is dat de EG superheffing binnenkort zal worden opgeheven, waarna een sterke toename van de melkproductie verwacht mag worden. Anticiperend hierop is in voorjaar 2014, voor het eerst sinds lange tijd, in Drachten weer een nieuwe zuivelfabriek van de Friesland-Campina coöperatie in productie gekomen. Een nieuwe fabriek met veel nieuwe technische snufjes en technologische verbeteringen; zo worden bijv. geen afvalwater en ook vrijwel geen afvalstoffen meer geproduceerd.

Melk komt van de koe. De koeien populatie is bijna geheel vrouwelijk. Een pas geboren koe heet een kalfje en na een jaar heet ze een pink. Nadat ze zwanger gemaakt is en haar eerste kalf is geboren heet ze een vaars en begint melk te produceren. Na de tweede keer kalven heet de koe een 'schot' en wordt dan pas beschouwd als een echte koe. Koeien leveren jaarlijks ongeveer 8000 kg melk gedurende zo'n 10 maanden, dus dagelijks 20 tot 33 kilo. Deze melk wordt in twee melkmalen 's-morgens en 's-avonds gewonnen met behulp van een melkmachine. Melkvee boerderijen zijn tegenwoordig grote bedrijven met zo'n 50 tot soms wel 1000 koeien. Vooral door economische randvoorwaarden en door strenge eisen van veecontrole en melkqualiteit zijn de kleine melkveeboeren na 1980 geleidelijk verdwenen. Koeien in Nederland zijn meestal ondergebracht in grote ligstallen waar gras, kuilvoer en veekoeken veelal worden aangevoerd. Ze staan gemiddeld nog maar een kwart van de tijd in de wei, de zgn. 'weidegang'; per bedrijf loopt dit sterk uiteen.

6.2.2 Winning en houdbaarheid van melk

Alle melk wordt machinaal gewonnen met melkmachines. Op grote melkveebedrijven zijn dit nu meestal compleet geautomatiseerde, met allerlei sensoren uitgeruste, melkrobots; ingewikkelde installaties die de koe automatisch melken, en per koe allerlei gegevens meten, bijhouden en online doorgeven, waardoor de moderne boer op de hoogte blijft. Deze melkrobots zijn koevriendelijk gebouwd; een koe kan de hele dag zijn melk kwijt en hoeft niet meer te wachten tot de boer eraan toe is te gaan melken. Hoog producerende koeien bezoeken de melkrobot niet meer twee maar vaak drie of vier maal per dag. Ook hier is goede hygiëne een kernaspect. Deze wordt bij iedere melkleverantie gecontroleerd door de fabriek via metingen van kiemgetal en verontreinigingen.

Voor alle bederfelijke voedingsmiddelen, maar voor rauwe melk toch wel in het bijzonder, geldt dat dit product zo hygiënisch mogelijk moet worden gewonnen en behandeld, de veldwarmte weg gekoeld, en daarna zo snel mogelijk verwerkt worden tot meer houdbare producten. Omdat melk vloeibaar is en ongeveer alle noodzakelijke voedingsstoffen bevat, vermenigvuldigen in dit medium bij gunstige temperatuur alle soorten micro-organismen zich razend snel. Omstreeks 1970, toen de koeltank op de boerderij en de RMO (rijdende melkontvangst) hun intrede deden, was het gebruikelijk om twee maal per dag, zodra de koeien gemolken waren, de melk zo snel mogelijk af te voeren naar de melkinrichting fabriek voor pasteurisatie en verdere verwerking. Als rauwe morgenmelk in de zomerdag niet snel wordt gekoeld of gepasteuriseerd is deze later in de middag al zuur, want van de m.o. die bij de winning onvermijdelijk in de melk terechtkomen zijn het bijna steeds de snelgroeiende melkzuurbacteriën die het winnen in de losbarstende ecostrijd van m.o. in de rauwe melk. Een indruk van de invloed van temperatuur op de bacteriegroei in rauwe melk geven de volgende meetresultaten van m.o. kiemgetallen.

Beginnend met melk die 300.000 kiemen/ml bevatte, werd nagegaan bij verschillende temperaturen hoe lang het duurde totdat het kiemgetal 500.000.000 kiemen/ml (globale bederfgrens) werd bereikt: Bij 30°C was dit ruim 10 uur, bij 25°C 15 uur, bij 20°C 21 uur, bij 15°C 30 uur en bij 4°C bijna 4 dagen.

In de praktijk moet de melk daarom na zijn zo goed mogelijk hygiënische winning snel worden gekoeld en bewaard bij maximaal 4°C tot deze wordt opgehaald door de RMO. De bewaarduur van rauwe melk bij 4°C is beperkt tot ca 80 uur. Een goede kwaliteit melk heeft minder dan 100.000 kiemen per ml. Ietwat afhankelijk van de hygiëne op het bedrijf wordt dit kiemgetal bereikt na ruim drie dagen. Het ophaalschema van de lokale RMO wordt hierop afgestemd. In vergelijking tot hogere temperaturen wordt bij 4°C de lag phase van de groei van het totaal aantal m.o. sterk verlengd. De nog langzaam groeiende, koudeminnende bacteriën komen opzetten en na drie dagen bestaat de flora bijna uitsluitend uit koudetolerante en koudeminnende m.o. (psychotroof en psychrofiel).

Naast m.o. komen enkele natuurlijk in de melk aanwezige enzymen voor, die nog langzaam kunnen doorwerken. Onder deze laatste is een belangrijke boosdoener voor geïperiseerde melk, het enzym plasmine, een eiwitsplitsend enzym, afkomstig uit de melkklier van de koe, dat eiwit in de melk ook bij deze lage temperatuur nog langzaam afbreekt. Dit protease probleem wordt verergerd door enkele koudeminnende bacteriesoorten zoals *Pseudomonas*, die in staat zijn zich langzaam te vermenigvuldigen en daarbij eiwitsplitsende enzymen in de melk af scheiden. Het verloop van bederf dicteert dat bij hogere kiemgetallen vaak bepaalde soorten m.o. de boventoon gaan voeren en voor specifieke problemen kunnen zorgen.

In verband met de goede regeling van opslagtemperaturen is het goed dat de lezer zich realiseert dat zolang het product niet bevriest één graad Celsius lagere bewaartemperatuur de houdbaarheid van melk ongeveer een etmaal kan verlengen. Veel bedrijven koelen rond de 2°C omdat dan veel minder kans bestaat op strafheffing wegens te hoog kiemgetal. Theoretisch is er speelruimte tot -0.51°C (het vriespunt van melk), echter hier speelt het gevaar van bevrozing, waardoor melk een vieze smaak krijgt. Hierom is het systeem van melkproductie afgestemd op maximaal 4°C en 3 dagen opslag in de koeltank op de boerderij.

Hygiënisch gewonnen melk, laag gepasteuriseerd op 73-80°C gedurende minimaal 20 seconden (geeft nog geen kookmaak), is ongeveer 12 dagen houdbaar bij 3°C. Sterilisatie is de klassieke verhitting bij 121°C gedurende 20-25 minuten. Dezelfde proces verhittingstijd wordt bereikt met de modernere kort-hoog verhitting, uperisatie genoemd. Hierbij heeft de melk een verbijftijd van enkele seconden bij 141°C. Deze warmtebehandeling doodt in principe alle m.o. (ook hun sporen) in het product en maakt de melk houdbaar bij kamertemperatuur gedurende ca 10 maanden, maar laat de kwaliteit veel beter intact (minder bruin-kleuring, kookmaak en vitamineverlies) dan met de klassieke sterilisatie mogelijk is.

Toch is het van belang om deze geïperiseerde (of UHT) melk te bewaren bij verlaagde temperatuur want niet zelden treedt bij te hoge bewaartemperaturen schifting van de melk op door een langzame eiwitafbraak. Deze is het gevolg van een restant nog actieve protease enzymen (zie boven) die deels behoren bij de rauwe melk en deels afkomstig zijn van de bacteriën die in de melk hebben geleefd. De bacteriën zelf zijn door de uperisatie afgestorven maar vanwege de lagere temperatuurcoëfficiënt voor inactiveren van

enzymen vergeleken met die voor m.o. is er bij de uperisatie een restant enzymactiviteit overgebleven die juist voldoende kan zijn om op de lange duur melkeiwit te doen uitvlokken.

6.2.3 Melkproducten

Afgezien van een klein aantal 'boeren'kaassoorten, worden melkproducten steeds bereid uit gepasteuriseerde melk. Dit wordt gedaan om kiemgetallen zo laag mogelijk te houden en de kans op bederf zo klein mogelijk, en de ziekteverwekkers, zoals de tuberkelbacil, geen kans te geven.

Een voorbeeld van een bereidingsprotocol voor traditionele karnemelk is als volgt: pasteurisatie van de rauwe melk gedurende 15-20 seconden op 90°C gevolgd door afkoeling tot 21°C. Enting met zuurselbacteriën en fermentatie (verzuring) gedurende ongeveer 18 uur tot de juiste zuurgraad is bereikt. Daarna koeling tot 11°C en traditioneel karnen van de zure melk tot karnemelk (vetgehalte 0.4-0.7%) en boter (vetgehalte ca. 85%). Het oorspronkelijke vetgehalte (4,2 – 4,6%) is bijna in de boterfase terecht gekomen. Door het karnen vormen de vetbolletjes trossen en daarna boterkluiten als meer en meer waterfractie wordt uitgedreven. Bij 11°C verloopt dit samenklonteren van de melkvetbolletjes het snelst. Traditioneel verloopt dit proces overnacht. Die laatste tijdrovende stap van het proces is in de moderne bereiding vervangen door centrifugeren. Na voldoende verzuring wordt hierbij de karnemelk afgecentrifugeerd en de natte botermassa van bovenuit de centrifuge wordt door een snelkarn gestuurd die de boter zijn goede structuur bezorgd.

6.2.4 Boter.

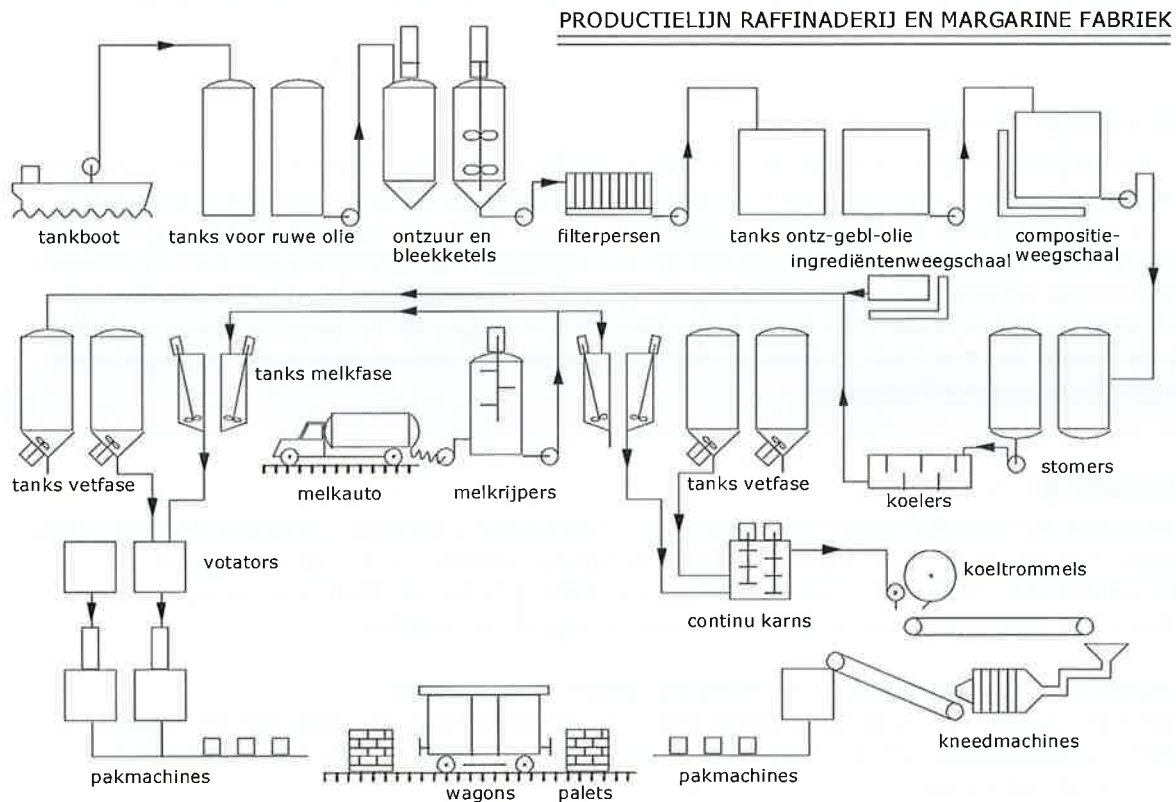
Zoals volgt uit de laatste passage is boter na het karnen geworden tot de omgekeerde melkemulsie met nog maar ca 15% waterfase, eigenlijk vetvrije karnemelk, in melkvet/olie als continue fase. Melkvet is een bij afkoeling langzaam kristalliserend vet met een smelttraject van 0-35°C met kleine variaties in zomer en winter. Traditioneel op de boerderij ontstaat boter door rauwe melk te karnen overnacht bij 10-12°C waarbij boter en karnemelk ontstaan. In het nieuwste proces wordt room al of niet snel verzuurd waarna de boter direct wordt bereid door omkering van de emulsie (o/w naar w/o type). Via kleine temperatuur fluctuaties van enkele graden en enkele pauzes is de structuur van de boter verder te verbeteren door vetkristallen te smelten en gericht te herkristalliseren (om- en nakristallisatie).

Zoete boter van goede kwaliteit is, indien verpakt en goed afgesloten van lucht, enige maanden houdbaar bij 12°C of lager en zelfs jarenlang bij -18°C. Een voorbeeld van de laatste was de bekende koelhuisboter uit de 'boterberg' tussen 1965 en 1980. De houdbaarheid wordt wat minder als de pH daalt (gezuurde boter) of zout (gezouten boter) en/of verontreinigingen zoals sporen koper (katalysator voor oxidatie → ranzigheid) aanwezig zijn.

6.2.5 Margarine.

Omstreeks 1870 was door de grote vraag vanuit de snel groeiende steden in NW-Europa de roomboter duur geworden. Margarine is het substituuut voor roomboter dat in 1875 door de fransman Mège Mourriez werd uitgevonden. De naam is afkomstig van de oliefase die tijdens de bereiding glanst als een parel (=margaretes). Voor de bereiding van margarine wordt olie/vetfase bij 40°C intens gemengd met licht zure ondermelk en emulgatoren (monoglyceriden en sojalecithine) tot een emulsie die bij een temperatuur van ca 31°C uiteindelijk het proces verlaat. Daarna volgt koeling op koelwalsen of in een geschraapte warmtewisselaar (votator), waardoor vetkristallisatie optreedt. Door met de juiste snelheid af te koelen en gericht te kneden wordt een homogene menging en de juiste range kristalgroottes bereikt. Deze laatste zijn erg belangrijk, niet alleen voor de handelbaarheid van margarine (verpakking, smeerbaarheid ed.) maar vooral voor de juiste mouthfeel tijdens consumptie.

Figuur 6.1 toont een schema van deze margarinefabricage. Hieruit blijkt dat margarine maar voor een klein deel uit melkproduct bestaat en daarom moeilijk als echt zuivelproduct ingedeeld kan worden. Het is een geheel gefabriceerd voedingsmiddel dat oorspronkelijk afgeleid is van echte roomboter. Margarine heeft ook ongeveer dezelfde houdbaarheid als roomboter.



Figuur 6.1 Processtroomschema van de margarine fabricage

6.2.6 Kaas

Kaas is een vele eeuwenoud product dat vaak een belangrijke rol speelde in de voedingseiwit voorziening. Als vaste stof kon het in de kelderkoelte lang bewaard worden en veilig eetbaar blijven. Voor de bereiding van één kg kaas is ongeveer tien kg melk nodig. De moderne bereidingswijze van Goudse kaas verloopt kortweg als volgt:

melk → pasteurisatie (of niet:: boerenkaas) → in het kaasvat stremmen (toevoeging van zuursel en stremsel bij 31 - 35 °C en even roeren) → (na ruim een half uur) de inmiddels vast geworden vloeistof snijden met roerende messen die melkgel veranderen in wrongeldeeltjes → wei aflaten en wrongeldeeltjes verzamelen en in kaasvorm brengen → persen (1 dag; dan is de zuurgraad gedaald tot pH ca 5,5) → pekelen in zoutbad gedurende 5 – 7 dagen → droog wrijven en plastic bescherm laag aanbrengen (vroeger lijnolie) → rijping/opslag (ca 13°C; 87-89 % RH) op schone planken in kaaspakhuis.

De tijdsduur van de kaasrijping is afhankelijk van de soort kaas die men wil maken: jong, belegen of oud; het kan tot ruim een jaar waardoor overjarige oude kaas verkregen wordt; ca 18 maanden voor pikante oude kaas). Parmezaanse kaas wordt wel tot 2 jaar in speciale kelders gerijpt. De licht drogende condities in het kaaspakhuis veroorzaken een langzame uitdroging van de kaas over de tijd (de eerste 10 dagen is er tot 2% gewichtsverlies, daarna neemt dit verlies langzaam af).

Maasdammer (concurrent van de franse gruyère) wordt na bereiding, waarbij een goede structuurvorming belangrijk is, gedurende 14 dagen wat warmer op 18-19°C bewaard. Hierdoor komt de gewenste propionzuurgisting op gang, die voor de opvallende smaak zorgt. Daarna wordt de kaas nog twee weken op 14°C bewaard voor zijn stabilisatie en tenslotte opgeslagen bij 6°C, klaar voor verzending.

Boerenkaas wordt direct bereid uit verse rauwe melk die nog de lichaamswarmte van de koe heeft. Door deze melk, die mits hygiënisch gewonnen nog een redelijk kiemgetal heeft, direct te stremmen en daarna te verkazen krijgen bederbacteriën vaak niet zoveel kans om tot grote aantallen uit te groeien. Wel dragen

deze laatste bij aan de smaak- en aromavorming van de typische boerenkaas waarvan de smaak begrijpelijkwijs vrij sterk kan variëren.

6.2.7 Andere zuivelproducten

Afgezien van consumptie-ijs dat in de volgende paragraaf wordt beschreven, hebben de andere zuivelproducten dan de hierboven genoemde allemaal hun aparte bereidingswijzen. Sommigen wat bewerkelijker dan anderen. Al deze producten zoals yoghurts, karnemelk, kwark, kefir, hüttekäse en andere zachte kaas-soorten kunnen worden ondergebracht en ingedeeld als een mogelijke uitwerking van één van de principe bereidingswijzen in het schema van melkverwerking in Figuur 2.2. Allen zijn verse producten die an sich zeer beperkt houdbaar zijn en alleen door koeling een bewaarduur krijgen en zo vermarkt kunnen worden. Kaassoorten die tussen zacht en hard in zitten vormen als voedsel een risicogroep omdat ze nogal eens korter houdbaar blijken dan wordt geclaimd.

6.3 Consumptie-ijs

Consumptie-ijs is ook een zuivelproduct maar verdient hier een aparte paragraaf. Vanwege zijn bijzondere fysische structuur met vier of vijf fasen kwam het reeds ter sprake gekomen in A1 als een typisch gefabriceerd levensmiddel. De literatuur over dit reeds eeuwenlang bekende product consumptie-ijs bevat allerlei recepten, maar steeds is er een kortere of langere rijpingstijd en vriestijd.

Een typisch recept voor *roomijs* uit de fabriek brengt als componenten bijeen:

botervet 11%, suiker 11.5%, magere melkpoeder 9%, glucosestroop als vaste stof 5%, eigeel 1.5%, stabilisator (viscositeitverhoging, structuur) 3%, water 58% en vanille, of vruchten of gewenste kleur-, geur- en smaakstoffen.

Het bereidingsproces van roomijs verloopt ongeveer als volgt: Na het goed mengen en oplossen van de ingrediënten wordt de mix verhit tot ca. 70°C en gehomogeniseerd (d.w.z. de vloeistof wordt onder hoge druk door een zeer kleine opening geperst) teneinde de boterolie nog beter te verdelen (emulgeren). Hierbij ontstaat een o/w emulsie met vetbolletjes in water. De grootte van de vetbolletjes is regelbaar is met de homogenisatiedruk (een grootte van maximaal 2 µm behoeft minimaal 10 MPa homogenisatiedruk). Het nieuw ontstane vetbolletjesoppervlak wordt hierbij gestabiliseerd door de uit de waterfase adsorberende oppervlakteactieve stoffen. Deze zijn zowel toegevoegd in de mix als oorspronkelijk aanwezig in de melk.

Hierna wordt gepasteuriseerd (bijv. 30 sec. op 82°C) en daarna afgekoeld tot ongeveer 5°C bij welke temperatuur het mengsel minimaal 3 en maximaal 24 uren wordt gehouden ('gerijpt'). Hierbij komen de ingrediënten met elkaar in evenwicht (structuur en smaak). Vervolgens worden kleur- en smaakstoffen (bijv. fruitpuree, vanille e.d.) toegevoegd. Na deze periode wordt het mengsel onder luchtdruk door een continue ijsmachine gevoerd. Dit is een votator, ook wel naar de uitvinder Vogt vriezer genoemd. Een votator is een van binnen geschraapte buisvormig vat warmtewisselaar die tegelijkertijd de fasen mengt, afkoelt en extrudeert. Het product is nu een bevroren mengsel bij ongeveer -5°C dat bestaat uit een viskeuze, luchtig geschuimde ijsmassa met een ongeveer verdubbeld volume. Deze volumetoename wordt 'overrun' genoemd en is hier dus 100%.

Tijdens deze eerste vriesstap wordt ca. 55% van het aanwezige water omgezet in ijs waardoor een sterke concentratieverhoging optreedt. De nu nog heel dik vloeibare ijsmassa wordt vervolgens verdeeld in porties en aan die porties wordt daarna een vorm gegeven. Dit kan door afvullen in bekertjes en vervolgens in vriescellen te harden. Andere vormen als sticks aan een houtje worden na het vóórvriezen via spuitgieten in vormen van een koelcarroussel diepgevroren, waarbij op het juiste moment de sticks worden ingestoken, zó dat ze niet meer scheef kunnen zakken, en als de ijsmassa hard genoeg is wordt verpakt. Ook worden hiervoor wel speciaal gevormde, gekoelde transportbanden toegepast. De ontstane lagen worden dan zijdelings voorzien van houtje en na harding in vorm gestanst, zoals bij Magnum, wat ietwat hogere productverliezen geeft. Nu worden de ijsjes in een tweede stap verder afgekoeld en bevroren tot zo'n -25°C (badtemperatuur in de vormmachines of -40°C koude lucht blazen over de band).

De vormvriezers zijn gewoonlijk varianten van twee hoofd uitvoeringen: de carrousel en de oneindige band die met vloeistofbaden of vloeistofjets worden gekoeld. Hierna is ongeveer 85 % van het aanwezige water bevroren. Lossen van de vormen geschiedt door deze snel op te warmen waardoor de buitenste laag ijs smelt en de ijsjes loslaten uit de vormen. Nabehandeling, bijv. dip in chocolademassa voor een mooi laagje, en verpakking volgen waarna het product kan worden opgeslagen. A en verder gehard bij lage temperatuur, vaak -25°C bij diepvriestemperaturen. De eerste dagen vaak wat kouder voor stabilisatie en harding van het product, vaak bij -25°C . Voor langdurige opslag van consumptie-ijs worden meestal lagere temperaturen gekozen in verband met de langzaam optredende herkristallisatie van ijs (ostwald vergroving).

De vorming van de fysische structuur van consumptie-ijs vindt vooral plaats tijdens de eerste vriesstap in de votator, waarbij ijs ontstaat en ca 50 vol % lucht wordt ingeslagen. Tijdens opslag en transport gaat een deel hiervan weer verloren, zodat het ijs dat u consumeert gewoonlijk zo'n 45 vol % lucht bevat.

6.4 Vis en visproducten

6.4.1 Inleiding

Evenals de zuivelindustrie hebben de visserij, vishandel en visverwerkende industrie sterk geprofiteerd van mechanische koeling. Tegenwoordig wordt waarschijnlijk geen verse vis meer verhandeld die niet op of in ijs heeft gelegen. Ruim een eeuw geleden was het nog een succesformule voor een ondernemend vishandelaar in havensteden om naast zijn vishandel een ijsdepot te runnen. Door koeling met ijs neemt de houdbaarheid van vis toe van 1-2 dagen tot bijna 2 weken. Dit was omstreeks 1890 zo nieuw dat de eerste lading zeevis op ijs die uit Triëst (nu Italië maar toen Oostenrijk) naar Wenen was gebracht, onverkoopbaar bleek te zijn omdat klanten zich niet konden indenken dat zulke verse zeevis mogelijk was.

In moderne visserij schepen wordt de vangst gewoonlijk zeer snel afgekoeld in de bun die vooraf gevuld is met een zeewater-ijs mengsel. De modernste schepen zijn zo ingericht dat uit de weerstand van het vangnet bij het binnenhalen de hoeveelheid vis kan worden afgeschat om daaruit met de zeewatertemperatuur de totaal af te voeren "veldwarmte" te berekenen. Hierop kan dan de hoeveelheid ijs in het zeewater-ijs mengsel in de bun worden aangepast. Verse noordzeevis wordt meestal aangevoerd door trawlers met een week cyclus van uitvaren en binnenlopen, d.w.z. zondag uitvaren en vrijdag, uiterlijk eindemorgen, terug zijn. In het vangstseizoen zijn de visafslagen in Scheveningen en IJmuiden op vrijdag en maandag dan ook heel druk. De laatste 20 jaar is er veel veranderd in de visserij onder druk van de teruglopende vangsten, de opgelegde vangstquoteringen, de loonkosten en allerlei technische ontwikkelingen, waaronder de verdere ontwikkeling van grote fabrieksschepen die lang op zee kunnen blijven doordat ze hun vangst onmiddellijk technisch conserveren door invriezen of ook wel op zee inblikken. In 2012 werd het aantal industriële schepen in de wereld geschat op 40.000.

De geregistreerde zeevisserij bereikte het einde van zijn groei omstreeks 1987, toen zijn hoogste opbrengst wereldwijd werd gevangen. Sindsdien is het langzaam met schommelingen gedaald. Grote scholen zeevis hebben inmiddels niet veel kans meer de moderne schepen te ontlopen; die zijn met nieuwe, zeer effectieve opsporingstechnieken uitgerust. In de eerste helft van de zestiger jaren in de vorige eeuw verdween grotendeels de ansjovis voor de Peruaanse kust nadat het unieke ecosysteem in het opwellingsgebied daar was vernietigd door zware overbevissing. In de jaren rond 1977 gebeurde hetzelfde met de kabeljauw voor de Canadese kust bij Newfoundland. Ook de haring in de Noordzee loopt gevaar sinds 1980, maar wordt nu door vangstquoteringen op een bepaald peil gehouden. Uit het verleden zijn meer dergelijke voorbeelden bekend. In de 19^{de} en de eerste helft van de 20^{ste} eeuw zijn de grote walvissen wereldwijd gedecimeerd, en op diverse tekeningen en vroege foto's van visafslagen uit het verleden ziet men vaak de karakteristieke, maar nu zeldzaam geworden, grote steurvissen.

De sterke opkomst in de laatste 20 jaar van visteelt in zoet en zout water, in vijvers, baaien en fjorden vormt een welkome ontwikkeling die de visjacht op zee ontlast. Hierdoor zijn belangrijke alternatieve aanvoerpatronen ontstaan omdat de meeste visteelt contractueel is, zonder tussenkomst van aanlanding, visafslag en veilingen. Omdat hierbij de stap van handel en bijbehorende handelingen in de keten ontbreken kunnen vangst, aanvoer en verwerking meer optimaal op elkaar worden afgestemd en de kwaliteit beter bewaakt.

6.4.2 Bederf in vis, hygiëne en houdbaarheid

Sinds 1919 bestaat er een keuring van vis en visproducten. In het Visbesluit van de Warenwet wordt onder andere bepaald op welke wijze de waar moet worden aangeduid, welke toevoegingen zijn toegestaan, dat de vis zich in deugdelijke toestand moet bevinden en vrij moet zijn van schadelijke stoffen, en dat in haring geen levende haringwormlarven aanwezig mogen zijn.

Deze haringworm (*Anisakis marina*) is een ingewandsworm die regelmatig voorkomt en ook bij de mens voor problemen kan zorgen, zoals darm penetratie en haringwormziekte. Diverse ingewandswormen komen in vis veel voor. Normaliter worden deze bij het leegmaken van de buikholte (strippen) afgevoerd. Ook bij het haringkaken (een variatie van strippen) wordt de haringworm verwijderd. Indien dit kaken uitgesteld wordt en pas aan de wal plaatsvindt, is de kans aanwezig dat de worm vanuit de darmen in het spierweefsel terecht komt, zich daar oprolt en blijft zitten. Het *Anisakis* probleem is in 1967 opgelost door de maatregel dat alle haring die rauw geconsumeerd wordt minstens 24 uur bij een temperatuur van -20°C moet verblijven. De parasiet overleeft deze behandeling niet.

Na de dood van de vis treedt rigor mortis (lijkstijfheid) in, de postmortem verstervings glycolyse; globaal hetzelfde patroon dat plaatsvindt in vlees van landdieren. Het in de spieren aanwezige glucose wordt omgezet in melkzuur waarbij de pH daalt en vleeseiwitten coaguleren. Bij vis gaat de rigor mortis minder ver door omdat het visvlees minder glucose (uit glycogeen) bevat vergeleken met dat van zoogdieren. Als gevolg hiervan is de zuurvorming wat minder en de resulterende pH-daling in visvlees kleiner dan in landdieren vlees. Bijgevolg door minder zuur is hierdoor ook de remming van bacteriegroei op het oppervlak wat minder. Mede hierom is bij veel vissoorten ook in gekoelde toestand, bacteriegroei de belangrijkste bederffactor.

Bij vis komt de verstijving meestal tot uiting in krimp ("shortening"); deze is het kleinst bij vis die kort na de vangst goed is gekoeld tot 0°C . Bij hogere temperaturen zijn krimp en gewichtsverliezen groter en deze kunnen aanzienlijk zijn voor bijv. een filet die in de pre-rigor toestand uit de vis gesneden is. Na korte tijd bij kamertemperatuur kan de filet spontaan kromtrekken en meer vocht afgeven.

In de praktijk is het daarom van belang vis snel te koelen liefst met ijswater omdat naast een snelle afkoeling en koel houden op de juiste temperatuur ook wordt bereikt dat de vishuid nat blijft en zijn glans niet verliest door uitdroging. Een glanzend vel is een belangrijk kwaliteitskenmerk van vis in de verkoelketen. Verse vis wordt onappetijtelijk qua aanzien en slecht verkoopbaar zodra het visvel door uitdroging zijn glans verliest. Het contact met ijs heeft hier als functies koelen en nathouden. Koelen met ijs ("opijzen") verlengt de houdbaarheid van verse vis op ijs van 1-2 naar ca 14 dagen.

Een ander verschil tussen visvlees en landdierenvlees dat van belang is voor de houdbaarheid is dat de vetsamenstelling van vis aanmerkelijk anders is; visolie in vette vis bevat een hoger aandeel meervoudig onverzadigde vetzuren. Hoewel dit varieert per vissoort en ook wordt beïnvloed door het dieet, de voedings-toestand en de fysiologische staat van de vis vlak voor de vangst, betekent dit dat vis, vooral vette vis, relatief sterk onderhevig is aan ranzig worden door auto-oxidatie. Dergelijke ranzigheid kan zich in vette vis al snel ontwikkelen voor het invriezen, maar het is vooral tijdens het bewerken en opslag bij lage temperaturen dat grote voorzichtigheid geboden is om een goede kwaliteit te behouden.

Andere factoren die van invloed kunnen zijn op de stabiliteit van vis tegen kwaliteitsverliezen zijn: fysiologische gesteldheid van de vis in zijn jaarcyclus (tijd van het jaar), visserijgronden, leeftijd, afmeting en soort vis.

Vette vissoorten zijn bijna altijd minder stabiel tijdens gekoelde en bevroren opslag als ze gevangen zijn tijdens hun foerageerperiode. In deze tijd hebben vissen hoge concentraties enzymen in hun spijsverteringssysteem. Tijdens koelen en bevriezen wordt deze enzymactiviteit wel veel lager maar is toch bij -20°C nog zo hoog dat zich in bijv. makreel gemakkelijk bederfgeuren kunnen ontwikkelen als gevolg hiervan.

Zoals vermeld is voor de bederfgeur en ranzig worden van vis in de diepvries is de vetfractie van visvlees verantwoordelijk, met name het relatief hoge aandeel onverzadigde vetzuren. Vette vis kan gaan 'tranen' doordat olie begint uit te treden. Ranzigheid kan vertraagd worden door de vrije toetreding van lucht te verhinderen. Toepassing van glaceren (bedekken met een laag ijs) of verpakken in vacuüm of gas in

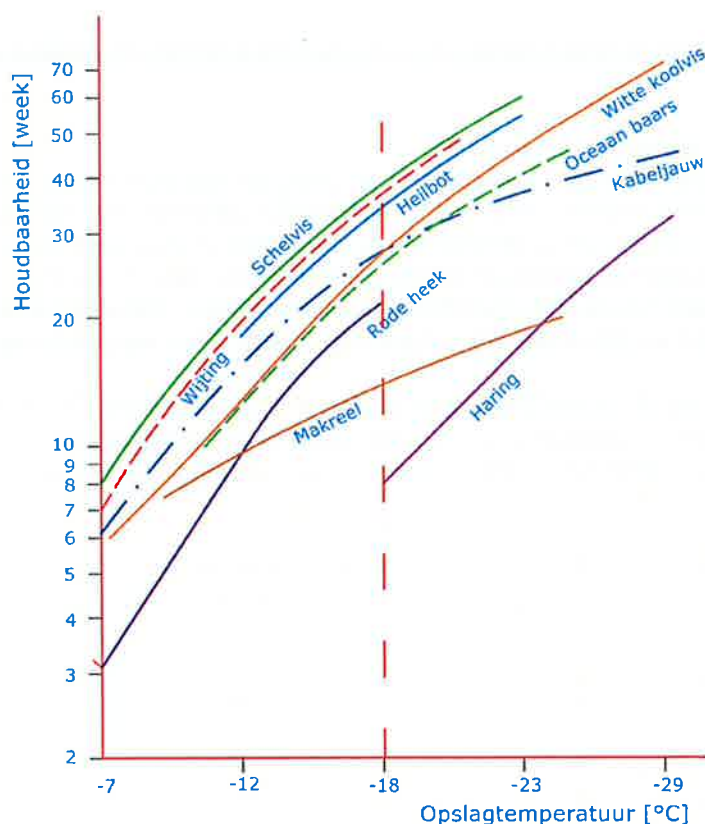
zuurstofondoorlatende folies kunnen effectief zijn. Een vrij goede indicator voor de gevoeligheid van vis voor dit bederftype is het zgn. *joodadditiegetal*. Hoe hoger dit getal voor de betreffende visoliefractie hoe sneller de ranzige geur en smaak zich in de vis zullen ontwikkelen.

De eiwitten van vis verschillen ook enigszins van die in vlees, speciaal in dit verband voor wat betreft hun grotere gevoeligheid voor beschadiging bij lage temperaturen. Bevroren opslag van vlees van zoogdieren en gevogelte veroorzaakt gewoonlijk relatief geringe afname in sappigheid en zachtheid, terwijl bij vis deze effecten sterker kunnen zijn.

Gedurende bevroren opslag is er een toenemend verlies van vocht tijdens ontdooien (drip) en een toenemende stijfheid van het visvlees leidt tot taaiheid en 'droogheid' na het koken evenals een toenemend verlies van de gewenste glans op het huidvlies bij het roken van vis. Deze eiwitveranderingen hangen nauw samen met de zgn. denaturatie van eiwit tijdens invriezen en koude opslag. Vooral het concentratie-effect tijdens het invriezen heeft grote invloed op afbraakprocessen in de myofibrilaire eiwitfractie die vooral de structuur vormen van visvlees. De sarcoplasmatische eiwitten schijnen stabiel te zijn ten aanzien van de effecten van vriezen en bevroren opslag. Verder is gebleken dat ook de uiteindelijke pH van visvlees, die het bereikt na de rigor, de textuur nogal beïnvloedt. Een lage pH in kabeljauw is geassocieerd met grotere taaiheid en een groter dripverlies bij het opdoeien.

In globale conclusie samengevat levert voor verse vis het microbiële bederf het meest gevaar, terwijl voor diepvriesvis vier soorten veranderingen de kwaliteit van vis kunnen verlagen: - ranzigheid en tranigheid vooral bij vette vis, - taai worden van het visvlees, - optreden van grote hoeveelheden drip na ontdooien, en - vriesbrand, onappetijtelijke uitdroging van de huid.

Figuur 6.2 (uit Amerikaanse literatuur) toont de houdbaarheidsgegevens in bevroren staat voor 9 soorten vis uit de Atlantische oceaan. Verder geeft Tabel 6.1 een globale indruk van de verschillen in houdbaarheid in de diepvries tussen vissoorten (IIF gegevens). Deze indeling in drie categorieën berust op ervaring maar is gerelateerd aan het vetgehalte van de vis. Ook binnen een kolom bestaan verschillen.



Figuur 6.2 Gemiddelde houdbaarheidsduur van enige zeevis soorten in bevroren staat, de kritische zone voorbij.

STABILITEIT		
GOED	MIDDELMATIG	LAAG
Bot	Alewife	Chub
Koningskrab	Buffalofish	Kreta Zalm
Schol	Karper	Gaapschelpsoorten
Kleine schelpdieren (mosselen e.d.)	Koningszalm (rood, zilver)	Makreel
Tong	Kabeljauwsoorten	Oester
	Rivierkreeft	Sardines
	Krab	Haring
	Schelvis	Forel
	Zeekreeft	Spiering
	Oceaanbaars	Tonijn
	Gele baars	Walvisvlees
	Wijting	
	Snoek	
	Garnalen	
	Pollock	
	Rode Poon	
	Witte Zeebaars	

Tabel 6.1. Stabiliteit (=bewaarbaarheid) van vissen en schelpdieren gedurende diepvriesbewaring.

6.4.3 Haring

Mede door de populariteit van maatjesharing in NW-Europa verloopt de verwerking van haring langs twee lijnen.

Allereerst als vanouds de verwerking op zee via:

sorteren → kaken (evisceratie, verwijdering van maag en ingewanden en schoonspoelen) → licht pekelen → verpakking in emmertjes → zo snel mogelijk aanlanden en op weg gaan naar de consument als *maatjesharing*. Toen ijs en daarna koelmachines economisch werden kon de vangstketen over langere tijd worden uitgesmeerd. Sinds 1967 is er een extra bewerking aan land bijgekomen, nl 24 uur in de diepvries om de haringwormziekte te voorkomen. Kleinere trawlers met een week-schema van uitvaren en binnenkomen volgen nog steeds deze vangst en aanland werkwijze.

De meeste andere haring wordt onmiddellijk na de vangst in bulkverpakking (20-25 kg) ingevroren in plaatvriezers → in kunststoffolie gewikkeld en verpakt in dozen → opgeslagen bij -20°C en getransporteerd naar de wal voor verdere verwerking tot zure haring, rolmops, gerookte haring en bij voldoende kwaliteit ook tot maatjesharing.

De grondstof voor deze verdere verwerking is een niet meer vers product. Bevriezen, bewaren en ontdooien tasten de structuur van visvlees irreversibel aan. Verblijftijd in de kritische zone tussen -8°C en het vriespunt kan dit aanmerkelijk verergeren. Hierom moet haring (en andere vis) snel en bij lage temperaturen worden ontdooid. Ontdooid haringvlees dat bij temperaturen boven 16°C in water heeft gelegen is voor verdere verwerking meestal niet meer geschikt omdat het te zacht is geworden.

6.4.4 Ontdooien van vis

Veel gevangen vis wordt direct na de vangst op zee diepgevroren. Dit gebeurt meestal in verticale plaatvriezers (zie hfdst. 7) of ook wel in grote blokvriezers. De laatste leveren blokken van ongeveer een kubieke meter ijs gevuld met vis, bestemd voor de verwerking tot visproducten aan land. Voor zijn verdere

verwerking moet dus ontdooid worden. Deze verwerking kan mogelijk inhouden dat het visproduct aan het eind van de verwerking opnieuw ingevroren wordt, bijvoorbeeld na schoonmaken, filteren en verpakken in gebruiksklare verpakkingen.

In vergelijking tot rood vlees doorstaat visvlees veel minder goed de cyclus van bevriezen en ontdooien, zeker als deze herhaald plaatsvindt. De oorzaak is het verschil in structuur tussen beiden. Vergelijkt men de kooktijden om vis en rundvlees te garen dan blijkt bijvoorbeeld dat draadjesvlees 2 uur nodig heeft en de meeste vissen ongeveer 10 minuten. Dit weerspiegelt het verschil in fysische structuur van de vlees-samenstellingen van vis en rund. Met name de taaie structuur component collageen, die tijdens het koken overgaat in het oplosbare gelatine, is in visvlees minder aanwezig. Voor het waterdier vis is niet zo'n stevige structuur nodig want het medium water dat de vis tijdens zijn leven omhult ca duizend maal zwaarder is dan lucht waarin landdieren leven. Voor het behoud van optimale kwaliteit is het *goed ontdooien* van even groot of groter belang is dan het eerdere invriezen. Door de interne ijsvorming is de weefselstructuur van vis reeds ondermijnd en door creëren van meer spanning in het weefsel zal dit gemakkelijk uiteen kunnen vallen.

Goed ontdooien van bevroren vis kan onder meer met behulp van op juiste wijze aangestuurde microgolven. De op de meeste huishoudmagnetrons aangegeven ontdooi-stand is zo ingesteld dat de ingebrachte temperatuurverschillen tijdig kunnen vereffenen en niet te hoog kunnen oplopen en zodanig grote spanningen veroorzaken in de structuur van het product. Bij onoordeelkundig gebruik van de magnetron is dit laatste moeilijk te vermijden in producten waarin water en ijs naast elkaar voorkomen. De absorptie van microgolf energie is afhankelijk van de diëlektrische constante van het product. Die van water is ca 20 maal zo hoog vergeleken met die van ijs. Hierdoor is na een flinke microgolf energiestoot in het product het aanwezige water aan de kook terwijl het ijs pas begint te ontdooien. Het beste is dan ook om kleine energiepulsen te geven gevolgd door voldoende wachttijd om de temperatuur effecten te vereffenen. Het is verstandig om voor ieder type product met zijn specifieke afmetingen het microgolf ontdooiproces te optimaliseren.

Omdat de warmtegeleidingscoëfficiënt van ijs bijna vier maal zo hoog is als van water duurt ontdooien langer dan invriezen. Hierom is het moeilijk te vermijden dat er enige mate productafbraak optreedt in de kritische zone en de verse productkwaliteit hierdoor verder daalt. Snel ontdooien met gerichte warmte input verdient sterk de voorkeur boven ontdooien door laten liggen bij kamertemperatuur gedurende een half of heel etmaal. Dit laatste geeft aantoonbare kwaliteitschade.

Resultaten uit een onderzoek (Andersen cs 1966 in Literatuur1) naar de invloed van herbevriezen op de smaak van kabeljauwfilets laten aantoonbaar zien dat herbevriezing de smaak doet dalen, en dat tijdens bewaring na de tweede maal vriezen de smaak ook sneller daalt dan wanneer de vis éénmalig ingevroren is.

Ontdooimethoden, die in de praktijk gebruikt worden, zijn:

- ontdooien met lauw water, meestal opgewarmd door de condensor van de koelmachines; praktisch, energiezuinig, eenvoudig te mechaniseren, oppassen voor direct contact tussen product en besmet water;
- ontdooien met vacuümstoom (uit ketels die koken bij onderdruk); zeer effectief vanwege de hoge latente warmte en zeer goede warmte-overdracht, nodig is een luchtdicht systeem met een goede vacuüm installatie;
- ontdooien met geconditioneerde lucht; vaak kan afvalwarmte hiervoor worden gebruikt, nadeel is de stankoverlast die makkelijk kan ontstaan;
- ontdooien in magnetrons met behulp van microgolven; snelle vrijwel ontdooiing in enkele minuten naar bijv. -3°C, dure installatie, energetisch vrij duur, ander nadeel is dat in het visweefsel gare plekken kunnen ontstaan (zeker als het microgolfveld onvoldoende homogeen is), verder moet er enige tijd na-ontdooiing en temperatuurvereffening plaatshebben;
- ontdooien bij omgevingstemperatuur; nog steeds vrij veel toegepast, is niet ideaal vanwege de lange duur 12-24 uur; de buitenkant van een ijsblok met vis ontdooit en de oppervlakkige vissen worden aanvankelijk nat (→ bacteriegroei) en later droog (→ uitdroging) terwijl de binnenkant nog bevroren is en daardoor lang in de kritische vrieszone verblijft. Ook het langdurig aflopende productwater (smeltwater, drip en condens) kunnen erg onhygiënisch zijn en onaangenaam ruikend.

6.5. Vlees

zie ook figuur blz 41 A1

6.5.1 Inleiding

Evenals andere eiwitrijke producten als melk en vis bevat vlees ongeveer alle voedingsstoffen en is daarom ook een zeer bederfelijk voedingsmiddel. Strengere hygiëne bij de bereiding is ook hier een eerste vereiste voor voedselveiligheid. Iedere zomer stijgt het aantal diarree en andere klachten, waarvan is aangetoond dat onvoldoende verhitte of te lang bewaarde vleesproducten, er de oorzaak van zijn. De te langzaam afgekoelde gehaktbal die bewaard is in de koelkast is in dit verband berucht.

Een aantal wettelijke maatregelen voorziet in een strenge controle op de kwaliteit van slachtvlees en vleesproducten en de belangrijkste delen van de productieketen daarvoor:

transport van dieren, aanvoer en slachten, uitbenen en snijden, verwerken en opslag, transport van vlees en vleesproducten, alsook de afvoer van oneetbare resten: botten naar gelatinefabricage, zachte delen naar de destructie.

Deze maatregelen zijn ingevoerd om een maximale voedselveiligheid en een minimaal risico voor de volksgezondheid te waarborgen. Zo moet volgens de EG-richtlijn vlees na het slachten zo spoedig mogelijk worden gekoeld en pas als een inwendige temperatuur van ten hoogste 7°C is bereikt mag het worden getransporteerd. Bij hogere temperaturen is vervoer van vlees verboden. De richtlijn voor vlees geeft echter geen aanwijzingen over de snelheid van afkoelen. Ook bij zeer langzaam afkoelen voldoet men strikt genomen nog aan de norm, mits maar direct na het slachten met de koeling wordt begonnen.

De volgende wettelijke regelingen zijn op de vleesproductie van toepassing:

- de vleeskeuringswet (1919), de warenwet (1935), de destructiewet (1957);
- de landbouw kwaliteitswet (1971), de gezondheids- en welzijnswet voor dieren (1980);
- de diergeneesmiddelenwet (1986), en enige verordeningen van productschappen en bedrijfschappen.

Verwarrend is dat een deel van deze regelingen inmiddels achterhaald zijn door nieuwere EG-richtlijnen. De Nederlandse vleesexport is door de Europese regelgeving gestimuleerd maar de EG regelgeving is in enkele gevallen minder strikt als een aantal oudere regels en niet zelden minder goed afdwingbaar doordat de Voedsel en Waren Autoriteit er minder vat op hebben en internationale keuringen vaak nog niet effectief georganiseerd zijn.

Daarnaast is het goed om bewust te zijn van het feit dat in andere landen vooral buiten de westerse wereld gewoonlijk minder of geen controle op vleesproducten plaats heeft. Ook kunnen slachten en slachtvlees verwerking geheel anders verlopen. In Singapore werd omstreeks 1980 een modern slachthuis met koelhuis naar Duits ontwerp neergezet. Kort na ingebruikname ervan bleek het koelhuis veel te groot te zijn. Het werd zo weinig gebruikt omdat men in het warme ZO-Azië gewend is vlees niet te laten versterven maar slachtwarm uit te snijden, te verhandelen en zo snel mogelijk te koken (hetgeen overigens heerlijk mals vlees oplevert, omdat het vlees nog niet lijkstijf geworden is).

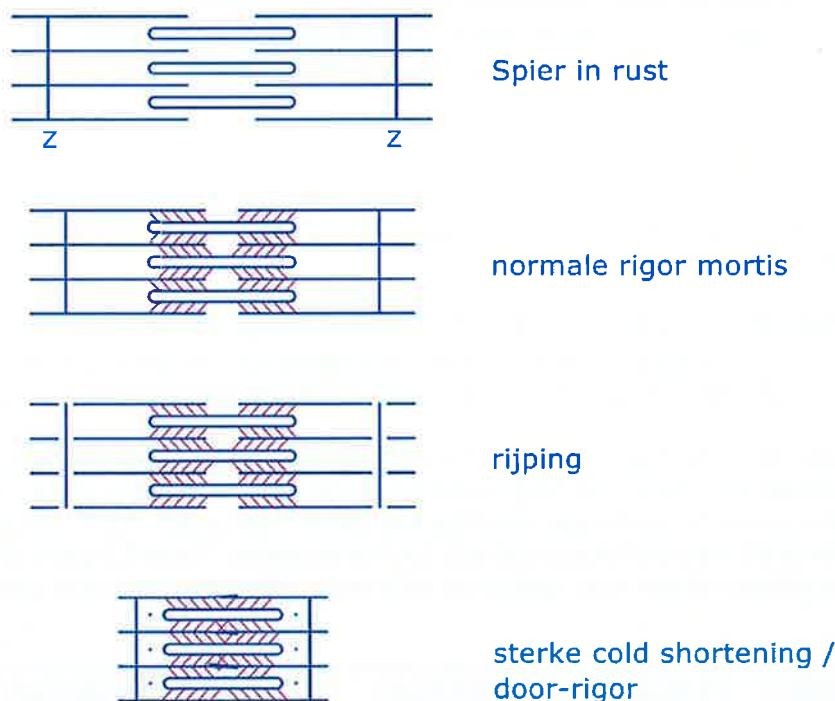
6.5.2 Slachthuisbewerkingen, rigor en meer

Nadat een varken drie tot vier maanden is en voldoende aangezet gaat hij gewoonlijk naar het abattoir. Daar worden de dieren gewassen en vervolgens een diepe gang, gevuld met koolzuurgas (zwaarder dan lucht) ingedreven. Dit werkt sterk verdovend. De dood volgt door een kopschot met een zwaar metaal patroon waarna het dier aan de achterpoten wordt opgehangen. Slachting geschiedt door het openen van de aorta, waardoor leegbloeding volgt in één of twee minuten. Vervolgens wordt de huid geïmpaleerd met een omhullende gasvlam; dit brengt het kiemgetal van het grootste deel van de huid sterk omlaag, waardoor het opensnijden en uitbenen minder besmet vlees oplevert. Het volgende blokschema geeft de volgorde van de bewerkingen weer :

Aanvoer → Wassen → Verdoven → Slachten → Flamberen → Openen en schoonmaken buikholte → Halveren → Uitbenen → Koelen, Verstijven → Verwerken tot vlees en vleesproducten → Nakoelen → Opslag → Transport beneden 7°C

Per diersoort variëren de stappen in de tweede helft van dit blokschema naar behoefte en bestemming van de vleesproducten. In warme klimaten is men meestal gewend het gedode dier onmiddellijk uit te benen, te verwerken en te verhandelen binnen enkele uren zodat het vlees nog slachtwarm in de keuken toe bereid kan worden. In koelere klimaten is het gewoonte het gedode dier te laten versterven, waarbij de spieren zich aanspannen (rigor mortis of lijkstijfheid) en daarna weer ontspannen.

Door de dood van het dier is de aanvoer van vers zuurstofrijk bloed naar de spieren gestopt, en wordt het fysisch-chemisch milieu in de spier langzaam anaëroob, de redox potentiaal daalt richting waterstof. De nog in de spier aanwezige chemische energie wordt snel verbruikt door allerlei processen en als alle ATP op is nemen de spieren de stand in met het laagste energieniveau. Dit is de stand van de maximale spierverskorting. De actine- en myosinefilamenten, die binnen de sarcomeren de normale spierwerking uitvoeren, schuiven zo ver mogelijk ineen, terwijl de pH daalt van 7 naar 5,5 doordat het ontstane zuur (uit de energie - leverende reactie van glucose naar melkzuur) niet meer wordt afgevoerd. Indien niet gehinderd kan deze spierverskorting maximaal 20% bedragen. Figuur 6.4 geeft dit schematisch weer wat er plaats heeft in een sarcomeer. Na enige tijd treedt door rijping (spieraafbraak) ontspanning van het spierweefsel op, die wordt veroorzaakt doordat de zgn. Z-lijnen deels los komen.



Figuur 6.4 Invloed van postmortale processen op de sarcomeer structuur binnen de spiervezels; de afstand tussen de verticale Z-lijnen wordt gevormd door één sarcomeer, die het contractiele element van een spiervezel vormt.

6.5.3 Houdbaarheid van vlees

Tabel 6.2 vermeldt de conventionele TTT-gegevens voor vers vlees van goede kwaliteit afkomstig van rund, kalf, varken en lam. Bij temperaturen beneden -10°C zijn optredende veranderingen aan het product altijd van fysische en/of chemische aard, zoals kleurveranderingen en indroging- of oxidatieverschijnselen. Varkensvlees is gevoeliger voor oxidatie dan rundvlees. De maximale bewaartijd voor varkensvlees in de diepvries is dan ook aanzienlijk korter.

GEKOELD			
Soort vlees	Temperatuur	R.V.	Bewaartijd
	[°C]	[%]	[weken]
Rund	-1,5 – 0	90	3 tot 5
Kalf	-1,5 – 0	90	1 tot 3
Varken	-1,5 – 0	90-95	1 tot 2
Lam	-1,5 – 0	90-95	1 tot 2
BEVROREN			
			[maanden]
Rund	-18		12
	-25		18
	-30		24
Kalf	-18		9
Varken	-18		6
	-25		12
	-30		15
Lam	-18		9

Tabel 6.2. Houdbaarheid van diverse vleessoorten onder koelverse en diepvries-omstandigheden.

Er hebben zich de laatste decaden diverse technologische ontwikkelingen voorgedaan en als gevolg daarvan zijn er belangrijke veranderingen geweest in koeling en bewaring van vlees. De gewenste veranderingen konden in veel gevallen versneld worden doorgevoerd door de uitbreidingen en fusies van slachterijen en abattoirs.

Afhankelijk van de gewenste productlevenscyclus wordt veel vlees tegenwoordig vacuüm verpakt en juist boven het vriespunt bij -1°C bewaard. Naast individuele verpakking van willekeurig grote vleesstukken zijn ook gasdichte hang- of legkasten met gasflessen op wielen in gebruik om CA bewaring uit te voeren.

Uitsluiting van lucht door vacuüm of koolzuurgas geeft ruwweg een verdubbeling van de mogelijke bewaarduur van vers vlees. Een belangrijk punt hierbij is ook dat de kleur van het vlees beter gehandhaafd blijft. Belangrijk is hierbij een accurate temperatuurregeling (beslist niet onder -1.5°C omdat bevriezing, hoe oppervlakkig ook, belangrijke schade (vriesbrand ed.) kan veroorzaken. Tabel 6.3 geeft de praktische gegevens weer voor de houdbaarheid van rund, varken en lamsvlees onder veel gebruikte omstandigheden:

VLEES	VACUÛM VERPAKKING		KOOLZUURGAS
	Temp. 0°C	Temp. -1.5°C	Temp. -1.5°C
	[weken]		
Rund	10	14	-
Varken	6	8	-
Lam	7	10	>12

Tabel 6.3. Invloed van vacuüm- en koolzuurgasverpakking op de bewaarduur (bron R.D.Heap).

6.5.4 Vleeskwaliteit

Eisen voor behandeling en verwerking, die uit de vleeskwaliteitsaspecten voortvloeien, zullen niet altijd gelijklopend zijn. Zo zal men, ten behoeve van de microbiële gesteldheid van het vlees, ongewenste bacteriëngroei dienen te voorkomen. Dit kan door het vlees zo snel mogelijk af te koelen bij een lage temperatuur, een hoge luchtsnelheid en een relatief lage relatieve vochtigheid. Dit komt echter de factor gewichtsverlies niet ten goede en voor bepaalde vleessoorten evenmin de kwaliteit, in het bijzonder de malsheid. Men zal dan ook naar een compromis moeten zoeken.

Zonder voldoende kennis van vleeskunde en een goed programma van eisen van de gebruiker zal een koeltechnisch installatiebedrijf de nadruk leggen op de beste koeltechnische oplossing, zonder zich hierbij af te vragen of in vleestechnologisch opzicht de resultaten ook optimaal zullen zijn. Belangrijke effecten van een hoge koelsnelheid, vergeleken met langzaam koelen, zijn:

- de gewenste eindtemperatuur van 7°C in de kern wordt eerder bereikt, waardoor verwerking en transport eerder kunnen beginnen;
- minder gewichtsverlies door uitdroging;
- betere bacteriologische gesteldheid;
- vlees van rund, kalf, lam en schaap kan taaier worden dan gewenst; vlees van varken en pluimvee zijn minder gevoelig hiervoor en kunnen dus snel gekoeld worden;
- vaak wordt de kleur van het vlees wat lichter door snel koelen.

6.5.5 Koeling van versgeslacht vlees → *geen tentamen*

Het koelen van vers geslacht vlees heeft een lange ontwikkeling doorgemaakt. Vooral omdat de relatie tussen lijkstijfheid, temperatuur en taai worden van vlees uiteenloopt voor verschillende vleessoorten, was het moeilijk de bewerkingen te optimaliseren.

Tegenwoordig streeft men naar een duidelijke scheiding tussen een snelle voorkoeling en een afzonderlijke gekoelde bewaring. Voor varkensvlees waar de vleeskwaliteit minder gevoelig is voor het verloop van de rigor mortis wordt vrij algemeen snelkoeling toegepast. Met goede kwaliteit rundvlees is men voorzichtiger omdat hier het voornaamste deel van de cyclus van verstijving en ontspannen boven 11°C moet verlopen en zijn volle tijd (ca 20 uren) moet krijgen. Anders loopt het vlees gevaar zeer taai te worden.

Vele onderzoeken zijn verricht over de meest geschikte temperaturen, luchtsnelheden en relatieve vochtigheden in verband met kwaliteit en gewichtsverlies. Als resultaat daarvan is men voor het voorkoelen naar steeds lagere temperaturen gegaan (0-3°C, in het begin van de koeling nog lager) en hoge relatieve vochtigheden van omstreeks 90% (daarbij ontstaat toch nog een dun, droog huidje, dat nuttig is ter vertraging van oppervlakkig bederf) en hoge luchtsnelheden (ca 2-3 m/s). Onder zulke omstandigheden bereikt het vlees van varkens in de diepe delen gemiddeld in 10 à 12 uur en dat van runderen in 16 à 18 uur een temperatuur van 4°C. Werd vroeger nog aangeraden het vlees niet te laten bevriezen, tegenwoordig wordt tijdens snelkoeling bewust de buitenste dunne laag van het vlees bevroren om gewichtsverlies door uitdroging nagenoeg te voorkomen en groei van psychrofiële m.o. te voorkomen. Hierdoor kunnen naast een vermindering van het gewichtsverlies nog enkele uren afkoeltijd worden gewonnen.

Voor het afkoelen van vlees (halve of kwart karkas, ook wel 'voet' genoemd) worden vier methoden onderscheiden, respectievelijk langzaam koelen, snel koelen, zeer snel koelen en (ontwikkeld in de 90-er jaren) het ultra snel koelen.

- **langzaam koelen** vindt plaats bij celtemperaturen tussen 0 en 2°C en een lage luchtsnelheid (minder dan 1 m/s) om uitdroging zo veel mogelijk te voorkomen;
- **snel koelen** is een systeem waarbij het slachtwarme vlees van bijna 40°C bij celtemperaturen van 0°C en een hoge RV en in het begin een sterke luchtcirculatie (luchtsnelheden 2.5-3 m/s) een kerntemperatuur van 7°C wordt gebracht. De afkoeltijd voor halve varkens bedraagt hierbij 10 - 12 uur. Gewoonlijk is de *recirculatie* van de lucht (ventilatorcapaciteit in m³/uur gedeeld door de inhoud van de koelruimte in m³) in het begin van de koelperiode honderdvoudig en geleidelijk dalend tot aan het eind van de koelperiode ongeveer veertigvoudig;
- **zeer snel koelen**, hierbij wordt gedurende hoogstens 4 uur het vlees afgekoeld bij een

luchttemperatuur lager dan -6°C en een hoge luchtrecirculatie (ca. tweehonderdvoudig) en daarna in dezelfde of een aparte ruimte bij temperaturen tussen -1 en $+2^{\circ}\text{C}$ en RV 80 - 90 % met een lage luchtcirculatie doorgekoeld;

- **ultrasnel koelen** gaat hierin nog verder en past een op soort product geoptimaliseerd koelregiem toe. Voor halve varkens is dit: koelen bij temperaturen tussen -20 en -30°C met zeer hoge luchtsnelheid gedurende een half uur, daarna 2 uur bij -5°C ; de kerntemperatuur is nu dichtbij 7°C gekomen en verdere temperatuurvereffening kan in rust plaatsvinden in de opslagruimte.

Bij varkensvlees heeft de toepassing van lage temperaturen bij het snel koelen geen nadelige gevolgen voor het vlees. In het geval van PSE-vlees kan een snelle afkoeling zelfs de minder gewenste eigenschappen van dit vlees beperken.

In tabel 6.4. staan enkele resultaten van een vergelijking tussen snel en langzaam afkoelen voor de vleeskwiteit van varkensvlees:

ASPECT	LANGZAAM KOELEN	SNEL KOELEN
Bacteriologische conditie	-	+
Uiterlijk aanzien	-	+
Kleur uitwendig	(+)	(-)
pH-daling	(-)	(+)
Gewichtsverlies	-	+
Drip	(+)	(-)
Gewichtsverlies tijdens afkoelen en bewaren		
na 1 dag	2.7%	1.5%
na 3 dagen	3.4%	2.2%
na 6 dagen	4.0%	2.9%
Verloop van kiemgetallen uitgedrukt als fractie van het aanvangskiemgetal		
na 1 dag	2.6 x	0.85 x
na 3 dagen	10.5 x	0.86 x
na 6 dagen	803 x	83 x

+ gunstig effect; - ongunstig effect; () gering effect

Tabel 6.4 Vergelijking aspecten varkensvlees bij snel en langzaam koelen

Het is gebleken dat door snel koelen en vriezen van rund-, kalfs- en lamsvlees in het prerigor stadium een afwijkende vleeskwiteit kan optreden doordat in de koelperiode spierverschorting (cold shortening) optreedt. Het pre-rigor stadium bij deze dieren is veel langer dan bij varkens. Bij varkens is de cold shortening dan ook niet geconstateerd. Omdat men sneller wil afvoeren in verband met economische aspecten, waarbij de wettelijke eis van 7°C in acht genomen moet worden, gaat men steeds meer over tot snel koelen. Bijkomende voordelen bij snellere koeling zijn minder gewichtsverlies, en het fraai opkleuren van de wervelkolom in het geval dat de varkens overlangs zijn doorgezaagd.

Voor het berekenen van de afkoeling van geslachte dieren zijn op basis van eindig element rekenmethoden en vergelijkbare numerieke methoden, door TNO en anderen, zoals CSIRO (Australië), goede rekenprogramma's ontwikkeld.

6.5.6 Koelen en vriezen bij vleesverwerking

Bij het verkleinen van vlees voor diverse worstsoorten maakt men gebruik van een cutter. Hierbij wordt het vlees vernalen door sneldraaiende messen in een roterende kom. Dit verkleinen van vlees geeft het beste resultaat bij lage temperatuur. Om die te bereiken voegde men vroeger vaak ijs toe in de cutterkom. Het

vochtgehalte stijgt hierdoor hetgeen meestal niet gewenst en ook niet toegestaan is om vleesvreemd water toe te voegen. Door in plaats van ijs, of eventueel samen met weinig ijs teneinde de verdamping tijdens processing te compenseren, vaste of vloeibare koolzuur of vloeibare stikstof te gebruiken kan men de temperatuur laag houden zonder dat het vochtgehalte stijgt. Hierdoor wordt het mogelijk vlees veel intensiever te verkleinen, waardoor de bindkracht toeneemt.

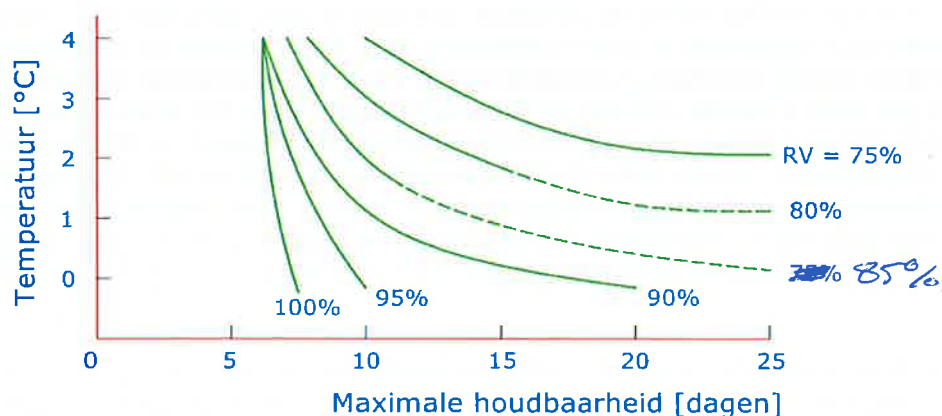
Ook grondstoffen die bij het verkleinen in de cutter gemakkelijk aan elkaar kleven en 'versmeren', zoals gekookt zwoerd en spek, kunnen met vloeibare stikstof worden verkleind, waardoor losse korrels ontstaan. Ook bij het mengen van aan elkaar klevende vleesgrondstoffen kan cryogeen worden gekoeld om de temperatuur laag te houden en het materiaal in losse korrels. Cryogeen invriezen van gehaktballetjes, spekblokjes, shoarmavlees ed. in een draaiende trommel kan er ook voor zorgen dat deze vleesproducten niet aan elkaar vast vriezen, wat lastig kan zijn voor verdere verwerking. Bij deze toepassingen ligt het cryogeen koudemiddel verbruik ongeveer tussen 0,3 en 0,5 kg koudemiddel per kg vlees.

Ook bij het vriezen van vlees is de snelheid waarmee wordt ingevroren van groot belang. Als vlees langzaam wordt ingevroren kunnen de spiercellen beschadigen door de vorming van grote ijskristallen die zich vooral in het temperatuurtraject tussen -1 en -6°C kunnen vormen. Van belang is om deze *kritische zone* snel te doorlopen. Zoals eerder vermeld ontstaan bij snel invriezen kleine, gelijkmatig verdeelde ijskristallen, waardoor de kans op deformatie van het weefsel van spiercellen en vezels kleiner is. Om een goede kwaliteit te garanderen wordt gestreefd naar een invriessnelheid (ijsfront-voortschrijding) groter dan 2 cm/uur.

In de praktijk wordt opgeslagen bij ruimtetemperaturen tussen -18 en -40°C .

6.5.7 Relatieve vochtigheid tijdens bewaring → *leuke vraag voor klanten.*

In een bewaarkoelhuis van onverpakt vlees worden gewoonlijk temperaturen omstreeks 0°C en een relatieve vochtigheid van ca 90% of iets lager toegepast met weinig luchtbeweging ("stille" koeling) om uitdroging te beperken. Dit illustreert dat bij de gekoelde opslag van vlees RV en met name de verhouding tussen temperatuur en RV een belangrijke rol speelt. Anders dan bij fruit wordt bij vlees niet gestreefd naar een zoo hoog mogelijke RV om uitdroging te voorkomen. Dit laatste is wel belangrijk echter als het relatief vochtige, en niet beschermde vleesoppervlak wordt omgeven door hoge RV (95% en hoger) dan zal ook in de kou de houdbaarheid van het vlees teruglopen vanwege de relatief sterke groei van bacteriën die een zichtbare slijm laag op het vleesoppervlak vormen. In de praktijk zal men dan de voorkeur geven aan een lagere RV om bacteriegroei te remmen en zo de houdbaarheid op te voeren. Figuur 6.3 geeft de invloed weer van temperatuur en RV op de maximale houdbaarheid van mager rundvlees.



Figuur 6.3. Invloed van temperatuur en RV op de maximale houdbaarheid van mager rundvlees. Gegevens uit Shaw (1972).

In koelcellen voor onverpakt vlees is de capaciteit van de koelinstallatie in belangrijke mate mede bepalend voor het bereiken van een gunstige R.V. Indien de koelcapaciteit te groot is in verhouding tot de koelruimte en de hoeveelheid te koelen product wordt de gewenste ruimtetemperatuur en een lage dampspanning snel bereikt. Tijdens de dan relatief lange stilstandsperiode van de installatie kan vocht uit het warmere vlees

verdampen, waardoor een te hoge R.V. optreedt. Deze R.V. wordt pas lager als de installatie weer in bedrijf treedt doordat de temperatuur in de cel is opgelopen. Het teveel aan vocht condenseert dan namelijk op de verdamper. Een te hoge R.V. kan worden voorkomen door de compressor langer door te laten lopen. Bij een te kleine koelcapaciteit echter is de installatie te lang in bedrijf en zal gedurende die periode constant vocht aan het vlees worden onttrokken. Dit resulteert in een sterkere uitdroging van het product.

6.5.8 Enkele bedrijfsaspecten

Afhankelijk van de bedrijfsvoering kan het raadzaam zijn om verschillende kleinere koelunits naast elkaar te bouwen. Reinigen is dan ook eenvoudiger en storingen worden minder problematisch. Gebleken is al dat de achteruitgang van de organoleptische kwaliteit teniet wordt gedaan door de verdere beperking van de gewichtsverliezen. Deze overwegingen worden belangrijker als men installaties ontwerpt waarin men varkens én andere diersoorten wil koelen. Hiernaast dient men zich af te vragen of het zinvol is de afkoeltijd korter te stellen dan de tijd die het vlees in de bewaarruimte blijft. Bijv. als transport gewoonlijk 24 uur na slachting plaatsvindt, is mogelijk zinloos duur om de afkoeltijd op 12 uur te stellen. Snelkoeling vraagt tevens een aanzienlijk groter te installeren koelvermogen, waarop ook de energievoorziening dient te worden aangepast.

Voor snelkoelen gebruikt men vaak twee of meer afzonderlijke ruimten. Hierbij wordt het eerste deel van het koelproces, het snelkoelen zelf, meestal uitgevoerd in een koeltunnel en het tweede deel, de temperatuurvereffening in de koude opslagruimte.

6.6. Brood en banket

In de traditionele bakkerij was uiteraard geen koeling nodig. Vanaf ca 1960 zijn brood en andere niet houdbare, gebruiksklare producten zoals gebak, vlaai ed. met succes diepgevroren om hun houdbaarheid te verlengen. Ook worden tegenwoordig in grote industriële bakkerijen cryogene koelmiddelen zoals vloeibare koolzuur ingezet voor de koeling van biscuit- blader- en korstdegen. Deze vrij droge degen warmen tijdens de deegbereiding vaak op tot ca 60°C; door op het eind van het kneden vloeibare koolzuur te injecteren kan de temperatuur naar 30°C worden teruggebracht om snel door te kunnen werken. Doordat koolzuur ook bij gisting ontstaat wordt door deze contactkoeling geen vreemde stof in het deeg gebracht.

Op warme dagen kunnen ook andere deegtemperaturen te hoog oplopen waardoor het rijzen in gevaar kan komen. Gebruikelijk is dan te koelen met kleine hoeveelheden scherfij; bewaking van de juiste water – meel verhouding behoeft hierbij aandacht.

Het gerichte gebruik van koeling binnen de bakkerij is pas echt op gang gekomen omstreeks 1975 toen de zgn. rijsonderbreking als tussenstap in de broodbereiding werd ingevoerd om het proces overnacht te laten verlopen. Door deze slimme toepassing van koude op het juiste moment van het bakkerijproces behoeven warme bakkers niet meer 's nachts voor dag en dauw op te staan om op tijd, zodra de bakkerswinkel opent, voor vers brood te zorgen. Hiermee werd een oud probleem opgelost. Reeds in 1912 loofde de toenmalige minister van LVV (landbouw, visserij en voedselvoorziening) een prijs uit om het bakkerijproces te kunnen veranderen op zodanige wijze dat er geen nachtarbeid voor bakkers (toen nog vaak kinderarbeid) meer nodig was. Interessante onderzoeken op het gebied van oudbakken worden van brood en retrogradatie van zetmeel werden gesubsidieerd en leidden tot de eerste belangrijke kennis over zetmeel (ruim $\frac{3}{4}$ van de tarwe).

Toepassing van deze *rijsonderbreking* door koeling betekent voor het versbrood proces, dat in totaal zo'n twee en half uur duurt, de narijs onderbroken wordt en stopgezet tot de volgende dag. Deze werkwijze is ideaal voor de warme bakkers die geen extra afstanden of wachttijden moeten overbruggen. Het arbeidsintensieve en tijdrovende deel van de broodbereiding wordt de vorige dag en automatisch tijdens de nacht uitgevoerd. De bereidingsstappen van het normale versbrood proces zijn achtereenvolgens: kneden (ca 28°C) → verdelen/opbollen → voorrijzen ruim 30 min bij ca 33°C → opmaken, vormen → narijs (ca 36°C) → bakken → koelen naar kamertemperatuur → verkoopklaar.

Bij de toepassing van rijsonderbreking wordt het broodproces tot halverwege de tweede rijs normaal uitgevoerd op de vorige werkdag. Het voorbereide en grotendeels gerezen brood wordt dan in de

rijskasten gebracht en gekoeld tot ca 0°C, waarin het overnacht blijft staan. De volgende dag laat de rijskast op de juiste tijd de temperatuur weer stijgen waardoor de gist verder kan gaan met zijn gasvorming en het brood juist goed gerezen is op het moment dat de bakker de volgende morgen zijn oven begint op te stoken. Wil men het weekeinde overbruggen dan is een bewaartemperatuur van -10°C gewenst. Uit onderzoek is gebleken dat zelfs een maand onderbroken kan worden terwijl dit toch nog een redelijk brood oplevert; de bewaartemperatuur van -15°C of lager moet hierbij worden gehandhaafd.

Van deze laatste mogelijkheid, die nu bekend is als de *bake-off* variant, wordt sinds ca 1990 veel gebruik gemaakt binnen de industriële broodbereiding. Door het broodbakproces te onderbreken na het 'vormen' voordat de 'narijs' echt op gang komt, het deeg in te vriezen en naar de plaats van verkoop te vervoeren, het daar zijn narijs te geven en te bakken, kregen supermarkt winkelketens de mogelijkheid om vers afgebakken brood in de winkel te verkopen. Voorheen moest het verkoopklare brood meestal over lange afstand aangevoerd worden vanaf de broodfabriek, waardoor het vers-brood karakter vaak verloren ging. Nu wordt in de supermarkt afgebakken waardoor echt vers brood in de schappen komt en vaak ook de aangename broodbakgeur in de bakkerijhoek van de winkel waarneembaar is. Dit laatste is een bekende verkoopstimulus.

Zoals ook het voorbeeld van de croissant bereiding (zie hoofdstuk 1) en zijn mogelijke variaties laat zien biedt het broodproces meerdere mogelijkheden waarop ingegrepen kan worden en het vervolg uitgesteld.

De beide werkwijzen rijsonderbreking en *bake-off* produceren uiteindelijk vergelijkbare producten; receptuur en aanvankelijke deegbereiding kennen geen verschillen. Ook het bakproces is vergelijkbaar, zij het dat de tweede werkwijze gebruik maakt van de *bake-off* bakkerij in de keten. *Bake-off* bakkerijen zijn ingericht om gebruik te maken van diepgevroren deeg als basis voor hun bakproducten. Speciale aandacht verdient hierbij de ontdooistap omdat het hier deels gerezen deegproducten betreft met een gevoelige structuur en die levende gist bevatten, welke zijn taak nog moet voortzetten. Ontdooien gebeurt meestal langzaam overnacht in cellen van 5°C overnacht. Gesteld wordt dat hierdoor de bevroren gist zich beter herstelt. Samengevat zijn de verschillen tussen beide werkwijzen als volgt:

WERKWIJZE	RIJSONDERBREKING	BAKE-OFF
Deegbereiding	op locatie, warme bakker	centrale broodfabriek
Deegtemperatuur	normaal	vaak iets lager
Voorproces	alleen bolrijs	bolrijs vaak korter
Bewaartemperatuur	0°C	tussen -15 en -20°C
Maximale bewaartijd	enkele dagen	enkele maanden
Ontdooiperiode	niet	noodzakelijk
Brood bakken	op locatie	in <i>bake-off</i> bakkerij

Tabel 6.5 Verschillen tussen rijsonderbreking en *bake-off*

Een andere ontwikkeling die hier genoemd kan worden is het zgn. *freeze-flo* gebak. Dit zijn taarten met vulling waarin relatief weinig ijs wordt gevormd bij diepvriestemperaturen. Omdat ontdooien aanzienlijk langer duurt dan invriezen is de gebruiksgereedheid van diepvriestaarten flink vertraagd ten opzichte van vers gebak. Om hieraan tegemoet te komen is *freeze-flo* gebak ontwikkeld. Hierbij wordt in de receptuur de suiker als disaccharide vervangen door de monosaccharide glucose en/of fructose en vaak aangevuld met glycerol (C3 suiker) dat ook zoetig smaakt. Hierdoor is het vriespunt van de vulling laag komen te liggen, ongeveer tussen -10 en -15°C. Bij diepvriestemperatuur -18°C wordt hierdoor slechts weinig ijs gevormd. Dientengevolge zijn ontdooitijden van deze taarten relatief kort. Onterecht en juridisch aanvechtbaar is het feit dat hierop patenten voor originele werkwijze zijn verleend (beruchte Rich patent).

6.7 Bier

Tijdens de bereiding van licht bier van het pilsener type (lager) is veel koude nodig. Bij een modern geïntegreerd proces gaat het hierbij niet alleen om het bierproces maar ook is koude nodig voor de koolzuur recuperatie, het afvangen en vloeibaar maken van dit tijdens de gisting ontstane koolzuurgas dat zelf weer nodig is voor het wassen en carboniseren van het jonge bier en tijdens het afvullen onder overdruk van het gerijpte lagerbier in fusten en flessen. Dit biertype dat ontwikkeld is in de ijsgrotten nabij Pilsen in Bohemen, kon pas op grotere schaal worden geproduceerd nadat koelmachines economisch beschikbaar kwamen. Gerard Heineken begon ermee omstreeks 1875 nadat een Boheemse brouwer bereid was gevonden hem hiermee te helpen. De klassieke bereiding van dit biertype verloopt globaal als volgt:

Aanvoer van Mout en reinigen ervan → {Brouwerij proces tot aan wortkoeling}: → grof malen en mengen met water (schroten) → beslag → mengen met warm water (juiste recept verhouding) → verwarmen in stappen (infusie of decoctie methode) met wachttijden → filtreren van het beslag bij ongeveer 75°C en naspoelen met heet water → afvoer bostel / bliezen; extract gaat door → verwarmen (stoom) → mengen met hop (gedroogde blaadjes of hopextract) en koken, 100°C → {Wortbehandeling}: → afscheiden uitgevlokke delen en evt blaadjes bij ca 95°C → wortkoeling tot ca 6 °C → enten met gist en beluchten → gisting bij 10°C gedurende 10 dagen (koolzuurgas ontstaat, wordt opgevangen) → gist verwijderen → jong bier → doorblazen van koolzuur; wassen en carboniseren → lageren, waarbij rijping en een lichte nagisting optreedt, bij 0°C gedurende 3 maanden → pilsbier → filtreren → bottelen in flessen en afvullen in fusten → opslag (2-4°C).

Het koolzuurgas dat ontstaat bij vergisting wordt gewoonlijk opgevangen. Afhankelijk van de hoeveelheid geproduceerd bier kan het hierbij gaan om zeer grote hoeveelheden; zo produceert een vergistingsvat van 400 hl tijdens de hoofdvergisting ca 1280 kg koolzuurgas. Stoichiometrisch levert 1 molecule glucose 4 andere moleculen: 2 moleculen ethanol plus 2 moleculen koolzuur.

Het rauwe opgevangen koolzuurgas, ontdaan van schuim, wordt gereinigd door → wassing met water → comprimeren (17,6 ato) → drogen door afkoeling en afvoeren van condensaat → (meestal) deodoriseren met stoom en afscheiding condensaat → vloeibaar maken (-30°C) → vloeibaar koolzuuropslag. Voor gebruik wordt het weer verwarmd en gereduceerd tot de juiste gebruiksdruk. Het gebruik betreft het onder lichte overdruk houden van de lagertanks, en het afvullen van bier in fusten en flessen. Goed pilsbier is altijd verzadigd van koolzuur; goede schuimkraag, frisse prikkelende smaak en uitsluiting van zuurstof.

Traditionele bieren zoals de engelse 'ales', gebruiken vanouds geen koeling en moeten meestal snel genuttigd worden vanwege hun beperkte houdbaarheid. Alleen voor hun opslag wordt tegenwoordig gekoeld om de houdbaarheid te verlengen. Een moderne variant van het hierboven beschreven proces, is het Heineken pilsbier dat in een weekritme geproduceerd wordt. Hier wordt de wort vergist bij 12,5°C in hoge tanks; binnen 7 dagen wordt dan de vergistte wort afgescheiden van de uitgezakte gist en overgepompt in lagertanks, waar het 3 maanden (in carnavaltijd korter) wordt bewaard en gerijpt bij ca 1°C. In de laatste zin is met opzet de term 'vergistte wort' in plaats van 'jong bier' gebruikt, want een zichzelf respecterende Boheemse brouwer zal weigeren dit product 'jong pilsbier' te noemen omdat wordt afgeweken van het traditionele recept en werkwijze, waarover (lokaal) wettelijke regels zijn vastgelegd.

Hoofdstuk 7 TECHNISCHE UITVOERING

7.1 Inleiding

Er bestaat een grote variatie in technische koelapparatuur voor voedingsmiddelen waardoor het niet mogelijk is alle technische uitvoeringsvormen van de koudeconservering van levensmiddelen grondig te behandelen. Ook is bij de behandeling van diverse levensmiddelen in vorige hoofdstukken is reeds aandacht gegeven aan technologische aspecten van specifieke producten en hun verwerking. In dit hoofdstuk zal worden volstaan met het bespreken van principes en het weergeven van de meest voorkomende types uitvoering en voorbeelden daarvan, een aantal voorbeelden, het aanduiden van mogelijkheden en het signaleren van voordelen, nadelen en problemen. Het spreekt voor zich dat aan de technische uitvoering lagere eisen worden gesteld als het gaat om koelen van producten voor de versketen dan aan het invriezen en bevroren bewaren van producten. Ditzelfde geldt voor verpakking die gezien de aard van de producten meestal zowel beschermende als conditionerende kenmerken dient te hebben.

Samenvattend, kunnen lage temperaturen rondom voedingsmiddelen op de volgende wijzen worden verkregen:

- Door mechanische koeling; hierbij is vaak de warmteoverdracht, die indirect plaatsvindt, de beperkende factor;
- Door gebruik van ijs en ijswater. Smeltend ijs is een effectieve koudebron met zeer goede warmteoverdracht. Nadeel is dat er water vrijkomt, hetgeen voor veel producten ongewenst is. Ijswater, dwz water van 0°C met of zonder zwevende ijskristallen, is populair om tuinbouwproducten te koelen en als algemene koudedragers voor indirecte koeling. Met de hoeveelheid ijs in het water is de beschikbare koude-enthalpie regelbaar;
- Door cryogene koude. Evenals bij ijs is hierbij een zeer goede warmteoverdracht, en een ander voordeel is er niets aan het product wordt toegevoegd: zowel vaste of vloeibare kooldioxide als vloeibare stikstof verdampen volledig en laten alleen maar koude in het product achter. Door dit laatste punt is het mogelijk met deze cryogene middelen bepaalde koelbewerkingen uit te voeren die anders niet of met grote moeite kunnen worden gerealiseerd. Door verbruik van het koudemiddel is de methode meestal duur ten opzichte van mechanische koeling;
- Door koude-accu's, zoals eutectische platen die in staat zijn koude-enthalpie op te slaan en gedurende langere tijd af te geven. Effectief als koudebuffer, warmte-overdracht naar het product is indirect en kan beperkend zijn.

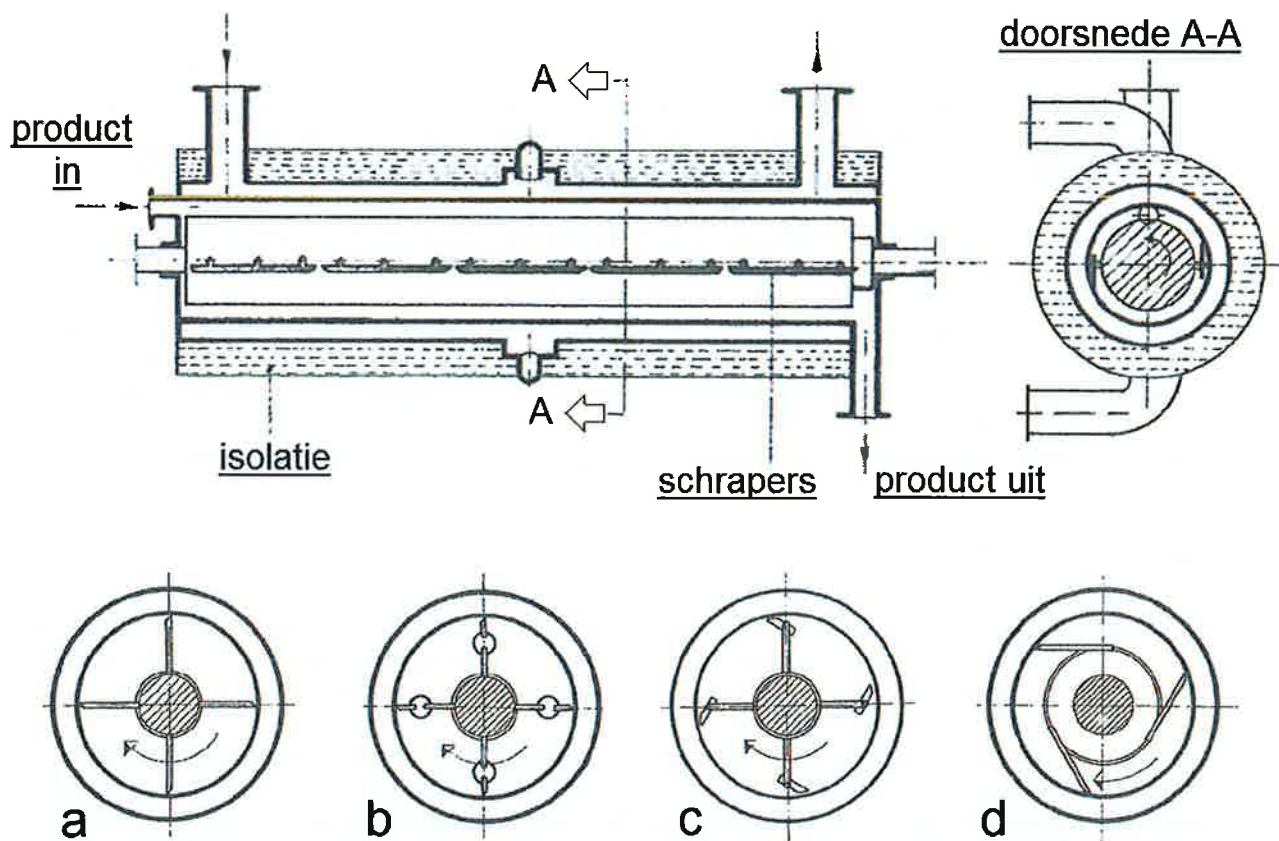
7.2 Vloeistoffen

7.2.1 Inleiding

Vloeibare producten worden meestal gekoeld in doorstroom warmtewisselaars. Soms wordt menging met grotere hoeveelheden reeds koud product toegepast. Ook worden waterige oplossingen afgekoeld door flashkoelen, dit is gedeeltelijke verdamping van het oplosmiddel door versproeiing want water heeft een relatief hoge verdampingswarmte. Wanneer men in staat is de aan de koeling te stellen eisen goed te formuleren, biedt de keuze van technische uitvoering geen principiële moeilijkheden. In de zuivelindustrie zijn platenwarmtewisselaars veel in gebruik zowel voor koelen als verwarmen. In het laatste geval worden deze apparaten ook wel pasteurs genoemd omdat de meest algemene bewerking het pasteuriseren van melk is. Deze apparaten bestaan uit een stevige behuizing waarin geprofileerde platen zijn aangebracht waartussen om en om koude en warme compartimenten bestaan waarin het product in tegenstroom met het koelmiddel loopt. Bij een pasteurisatieproces wordt de koude inkomende melk in tegenstroom verwarmd met de afkoelende warme melk die het pasteurisatiesegment verlaat.

Een bijzondere warmtewisselaar voor vloeibare systemen is de reeds eerder genoemde votator, een doorstroom warmtewisselaar met geschraapte binnenzijde. Dit vanwege zijn flexibiliteit en snelle warmteoverdracht populaire apparaat wordt vaak gebruikt voor vloeistofkoeling gevolgd door invriezen (consumptie-ijs) of stolling (margarine). Figuur 7.1 geeft het schema van een votator en toont doorsneden van enkele technische uitvoeringen. Dit apparaat, dat ontworpen en voor het eerst gebouwd werd door Mr

Vogt in 1928, maakte mogelijk dat de batchgewijze fabricage van consumptie-ijs nu continu kon worden uitgevoerd.



Figuur 7.1 Principe van een votator en doorsneden van enkele rotor uitvoeringen.

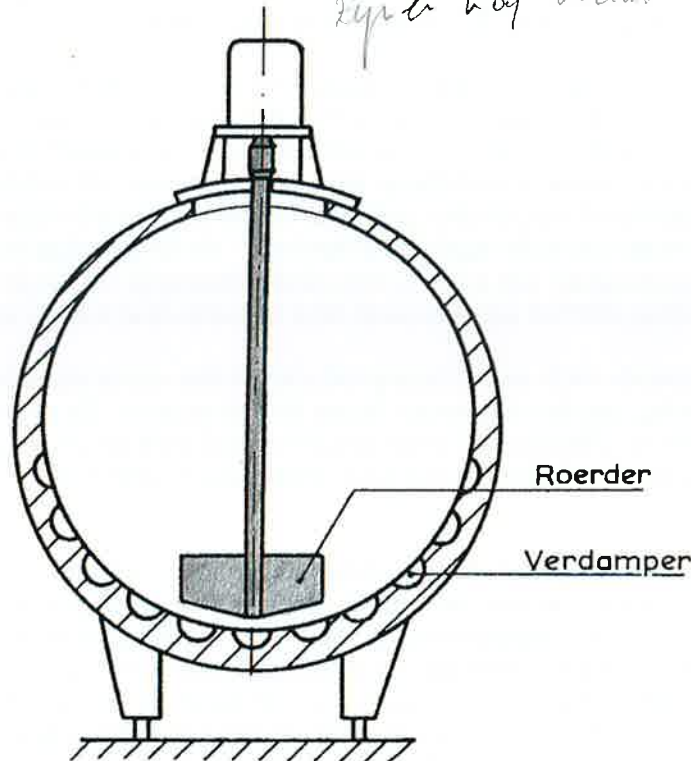
7.2.2 Boerderijkoeling van melk

Er is één product dat hier afzonderlijke vermelding verdient, namelijk *het gekoeld bewaren van melk op de boerderij*. De afvoer van de veldwarmte van pas gewonnen rauwe melk (37°C) geschiedde vroeger veelal primitief, gewoon aan de lucht of de met melk gevulde bussen korte tijd met water te bespuiten of te hangen in een sloot, maar sinds ca 1970 staan goede apparaten ter beschikking, melktanks, meestal uitgerust met een langzame roerder, waarin de melk via de gekoelde wand op lage temperatuur wordt gebracht en gehouden. De koeling geschiedt of met koud water (of ijswater, met eventueel meer of minder ijs) dat op zijn beurt in een warmtewisselaar met een verdampend koelmiddel wordt gekoeld of direct met het koelmiddel in de gespiraliseerde warmtewisselaar rond de melktank. Deze laatste werkwijze geeft twee temperatuur pieken per dag, wat ongunstig is voor het kiemgetal in de rauwe melk. Omdat de melk twee maal daags binnenkomt en dan veel koeling vereist zijn veel installaties voorzien van een ijsbank koudebuffer

Een voorbeeld van een melk koeltank is geschetst in figuur 7.2. Door technologie ontwikkeling en schaalvergroting (veel boeren hielden op nadat hun bedrijf niet meer rendeerte) is de koeling van rauwe verse melk op de boerderij algemeen geworden omstreeks de eerste helft van de 70er jaren van de vorige eeuw. Vaak wordt hierbij gebruik gemaakt van een ijsbankbuffer om de melk voor te koelen en zo de geïnstalleerde koelcapaciteit optimaal te benutten voor de twee dagelijkse melkgiften. De koude melk wordt opgeslagen in een grote tank die de melk van ca 4 dagen kan bevatten. In de praktijk wordt de melk eens per ongeveer drie dagen naar de fabriek afgevoerd door de zgn. RMO (rijdende melkontvangst). Dit betekende een zeer grote vooruitgang ten opzichte van de oude situatie waarin twee maal daags de melk moest worden afgevoerd naar de fabriek. Deze ontwikkeling maakte tevens mogelijk dat niet alleen het aantal boeren sterk verminderde maar ook is er een sterke concentratie opgetreden van het aantal zelfstandige melk verwerkende zuivelbedrijven. Dit verliep van ca 200 bedrijven omstreeks 1950 tot

momenteel 3 heel grote coöperaties, een vijftiental kleine bedrijven, en enkele bedrijven die specifiek biologische melk verwerken.

↓
almaal samen
gegaan.



Figuur 7.2 Schets van boerderij koeltank voor rauwe melk.

7.2.3 IJswater

IJswater wordt in de industrie veel gebruikt voor allerlei afkoelsituaties, bijvoorbeeld de direct contact koeling van verse producten die niet mogen bevriezen en goed tegen water bestand zijn. Verse tuinbouwproducten zijn een goed voorbeeld hiervan. Op veel veilingen zijn hiervoor ijswater installaties werkzaam. De meeste hiervan bestaan uit lange waterbakken waarin een buizenstelsel is aangebracht, waarin ammoniak verdampt; op de buizen gaat ijs aangroeien. De grootte van de bakken is aangepast aan de benodigde koelcapaciteit. Opgemast moet worden op een goede hygiëne, door bijv. voldoende verversing bij recycling, zodat het gebruikte ijswater de verse producten niet besmet en aldus de mogelijke houdbaarheid aantast of het te koelen product anderszins vervuult.

7.3 Vaste stoffen.

Bij het koelen van vaste stoffen als aardappelen, groente, fruit, bakwaren, vlees, vis en eieren, zijn er diverse mogelijkheden.

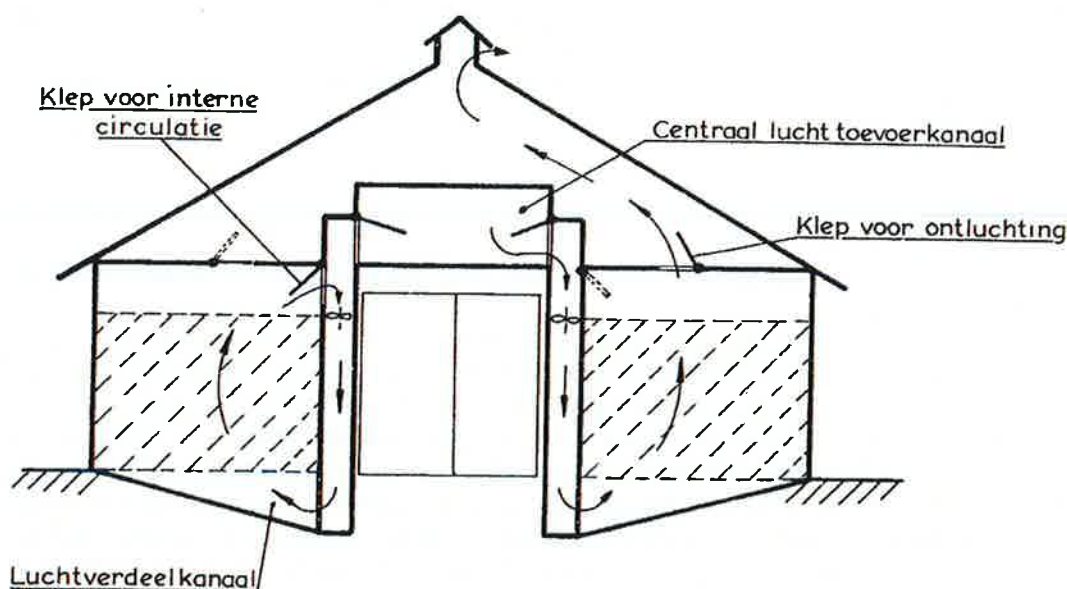
Een klassieke methode die energiezuinig is en vanouds wordt toegepast is de koeling met buitenlucht in *lichtgekoelde bewaarplaatsen*, die algemeen worden toegepast voor landbouwproducten als aardappelen, uien, kool, winterpeen, en soms voor bieten, knolselderij en enkele fruitsoorten. Het principe hiervan is het volgende. Men brengt de te bewaren producten in een goed geïsoleerde ruimte en blaast hierdoor buitenlucht wanneer en zolang de temperatuur daarvan lager is dan van het product. Wanneer de buitenlucht warmer is en niet geventileerd kan worden, zorgt de isolatie voor beperking van in het lage temperatuurgebied slechts gering is. De producten zullen dus in de perioden dat niet geventileerd kan worden slechts weinig in temperatuur stijgen. Door afwisselend ventileren in daartoe gunstige perioden en afsluiten van de bewaarruimte in ongeschikte perioden (wat gemakkelijk automatisch geregeld kan worden) is het mogelijk de producten te brengen en te houden op een temperatuur die ligt tussen de gemiddelde temperatuur en de gemiddelde minimum temperatuur van de buitenlucht. Te lage temperaturen (bevriezing)

kunnen worden voorkomen door niet te ventileren wanneer de buitenlucht te koud is. In Nederland zijn de klimatologische omstandigheden vanaf eind oktober vrij gunstig voor deze buitenluchtkoeling. De nachttemperaturen dalen dan gemiddeld tot 5°C en lager en wordt het mogelijk de producten langdurig te houden op voldoende lage temperaturen om houdbaarheid te garanderen.

Een bezwaar van het beschreven systeem bij toepassing voor fruit is dat de temperaturen in het najaar tijdens de oogst vanaf half september nog vrij hoog kunnen zijn. De afkoeling van de producten gaat te langzaam en het fruit rijpt dan sneller na dan in een kunstmatig gekoelde opslagruimte, hetgeen de bewaartijd beperkt. Verder veroorzaakt de soms betrekkelijk lage vochtigheid van de lucht een groter gewichtsverlies dan in een geconditioneerde mechanisch gekoelde ruimte (om hieraan tegemoet te komen kan (liefst koud) water worden verstoven in de ingelaten buitenlucht - zie Mollier diagram). Bij aardappelen is het snel koelen tot de bewaartemperatuur van 3 à 4 °C wat minder belangrijk vanwege het kiemruststadium na de oogst, terwijl de verdamping effectief wordt beperkt door het verkurken van de schil.

Bij koudeopslag van voornoemde land- en tuinbouwproducten zullen vooral de verliezen tijdens opslag, en de kosten van de koudeopslag, worden afgewogen tegen de opbrengsten. De prijs van het product speelt hierbij een doorslaggevende rol. Uiteraard zal meer moeite worden gedaan om een partij consumptieaardappelen à 35 cent per kg goed te houden dan een partij fabrieksaardappelen die maar 10 cent per kg opbrengt.

De inmiddels wat ouderwetse, met buitenlucht gekoelde bewaarplaatsen kunnen gedurende een groot deel van het koude seizoen worden gebruikt voor wortels en knollen uit de landbouw en minder gevoelige tuinbouwproducten. Ze gebruiken relatief weinig energie. De constructie ervan is in principe simpel. Echter sterkte, isolatie, waterdichtheid en ventilatiemogelijkheden zijn hierbij punten van aandacht. Een voorbeeld van een aardappelbewaarplaats is geschetst in Figuur 7.3. Aardappelen worden hierin meestal los gestort bewaard (soms in zakken); de bodem van de silo is uitgerust met een luchtverdeelsysteem, bijv. een holle roostervloer. Om een gelijkmatige temperatuur te verkrijgen dient de lucht ook intern gecirculeerd te kunnen worden, met name wanneer de buitenlucht ongeschikt is voor ventilatie. De k-waarde van de wanden moet zorgvuldig gekozen worden i.v.m. de omstandigheid dat de buitentemperatuur te laag of te hoog is vergeleken met de producttemperatuur. Ook dient rekening te worden gehouden met de warmteontwikkeling door ademhaling (bij aardappelen is dit bij vier graden boven nul nog ca. 15 W/ton). Als een goede k-waarde geldt 0,5 W/m².K of lager. Bij strenge vorst moet bijverwarmd kunnen worden. Voor aardappelen rekent men met luchthoeveelheden van ongeveer 80 m³ per m³ aardappelen per uur, hetgeen betekent dat de lucht in de hoop ongeveer 250 x per uur vervangen wordt; in geval van fruit in dergelijke bewaarplaatsen gebruikt men 10 tot 15 m³ lucht per uur per 100 kg product.



Figuur 7.3 Met buitenlucht gekoelde aardappelbewaarplaats.

Bewaarplaatsen, als weergegeven in figuur 7.3 worden in Nederland waarschijnlijk niet meer gebouwd. Vooral voor de bulkopslag van knollen en bollen (aardappelen, suiker- en voederbieten, rapen en uien) worden meer simpele *tijdelijke opslagplaatsen* met succes gebruikt. Deze bestaan uit holle bodems met lage zijwanden waarin ca twee en halve meter hoge ruggen (aardappelen, voederbieten ed.) los gestort product liggen, die zijn afgedekt met isolerende dekkleden en via centraal aangeblazen bodemroosters worden belucht. Een goede luchtverdeling is hierbij essentieel om voldoende luchtverversing te garanderen. Een groot voordeel van een dergelijke opzet is de flexibiliteit (een verrijdbare luchtkoeler) en lage investering. In ons klimaat voldoen deze opslagplaatsen tenzij er langere periodes van zware vorst optreden.

Bij elke kunstmatig gekoelde ruimte doet zich de vraag voor of deze tot taak moet hebben het product te koelen en daarna koud te bewaren of alleen het laatste, waarbij dan dus de voorkoeling afzonderlijk dient te geschieden. Een fruitkoelhuis bevat in de regel een groot aantal cellen. Vult men een cel met een vers product en wil men dit snel op lage temperatuur brengen dan moet de koelcapaciteit veel groter zijn dan voor de koude bewaring alleen noodzakelijk is. Dit geldt dan uiteraard voor alle cellen. Dit heeft naast economische ook verschillende technische bezwaren.

Men kan hieraan tegemoet komen door enkele *voorkeelcellen* te bouwen, die speciaal zijn ingericht voor snelle afkoeling; na de voorkoeling wordt het product hieruit overgebracht naar de *bewaarcellen*. Een algemeen geaccepteerde werkwijze is dit niet geworden omdat het verplaatsen van het product een weer een extra handeling met zich brengt. Begrijpelijkerwijs is voorkoeling van grotere betekenis gekregen slecht houdbare groente- en fruitsoorten. De bewaarduur daarvan kan alleen aanzienlijk worden verlengd wanneer de veldwarmte snel wordt afgevoerd dus de temperatuur onmiddellijk snel en sterk verlaagd. De voorkoeling is dan een voorbereiding voor gekoeld transport of gekoelde opslag van voor directe consumptie of bewerking bestemde producten. De voorkoeling wordt gewoonlijk uitgevoerd met behulp van een koude luchtstroom of in vacuüm. De specifieke vacuümkoeling is reeds in Hoofdstuk 5 behandeld.

Vacuümkoeling, koelt het product door verdamping van water onder vacuüm en koelt daardoor heel snel. De methode komt alleen in aanmerking voor producten die gemakkelijk water afstaan, een groot oppervlak en een kleine inwendige weerstand tegen warmtetransport hebben. Voorbeelden zijn bladgroenten zoals sla, spinazie, gesneden groenten en champignons. Het proces wordt batch uitgevoerd in grote, horizontale, cilindrische, of soms ook wel vierkante, ketels. Een principeschets van een vacuümkoelinstallatie geeft figuur 5.7. Een werkcyclus ziet er bijv. als volgt uit:

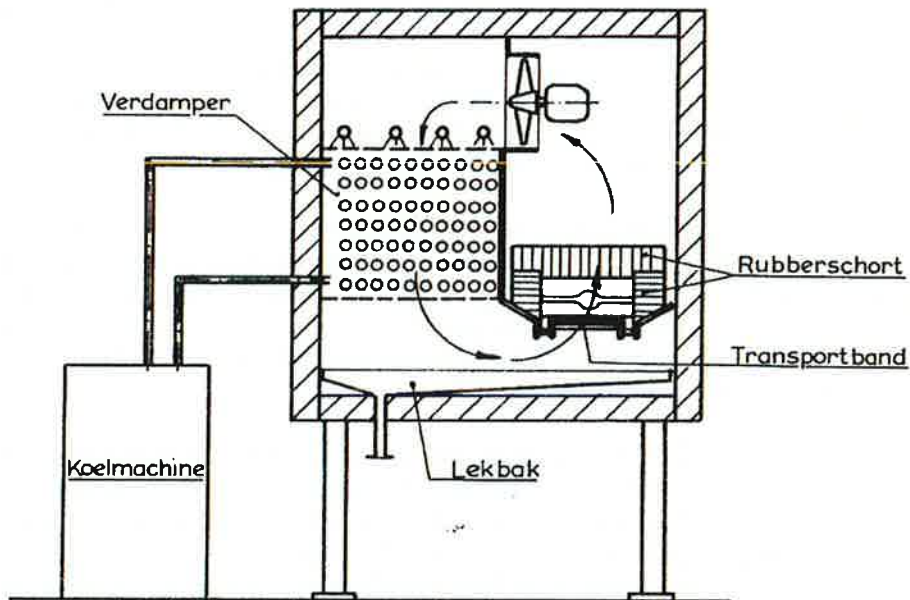
- laden 5 min;
- evacueren tot de verzadigingsdruk van het water is bereikt 5 min;
- koelen 15 - 25 min;
- lucht inlaten en lossen 5 min.

Het gewichtsverlies is klein, ongeveer 1% per 6°C afkoeling. Een ongewenste gewichtsvermindering door het vochtverlies kan worden gecompenseerd door vooraf besproeien van het product met schoon water. De beperkende factor van het proces is de zuigsnelheid van de pompinstallatie (vaak een rootspomp), die aan technisch-economische grenzen is gebonden. De gewenste hoge afkoelsnelheden eisen grote pompcapaciteiten in verband met het enorme gasvolume van het verdampende water in vacuüm. Het efficiënt verwijderen van de waterdamp is daarom een van de grootste problemen.

Wanneer men de verschillende mogelijkheden vergelijkt blijkt het de voorkeur te verdienen een mechanisch gekoelde condensor te gebruiken met daarachter een mechanische vacuümpomp. Deze laatste zorgt voor het verwijderen van de niet condenseerbare gassen (lucht). Als goedkoop over scherfijls kan worden beschikt, wordt dit in verband met zijn grote oppervlak ook wel toegepast om de waterdamp te condenseren.

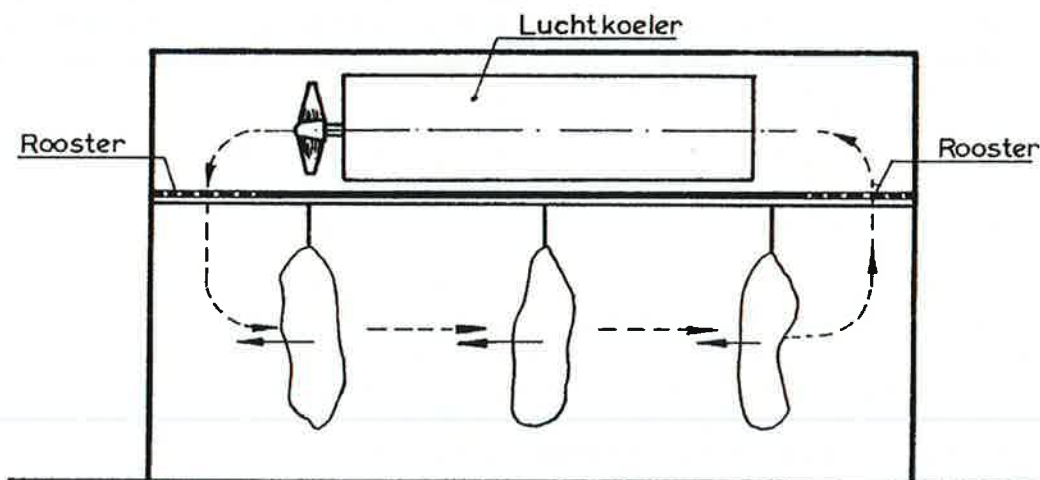
Voor meer massieve producten zoals tomaten, appels, peren en komkommers is het gunstiger *koeling met koude lucht* toe te passen. Het beste is dan de lucht verticaal door een laag van het product te laten stromen. Een technische uitvoeringsvorm is geschetst in fig. 7.4 (tunnel waar doorheen kratten met fruit worden getransporteerd op een kettingband). Voor (kleine) tomaten (afkoeling tot 12 °C) bedraagt de benodigde verblijftijd ca 10 minuten; in het eerste gedeelte kan lucht met een temperatuur beneden 0 °C

gebruikt worden, in het tweede gedeelte van ca. 0 °C (bevriezen van het oppervlak van de plantaardige producten moet worden voorkomen).



Figuur 7.4. Kettingbandkoeler.

De technische uitvoering van de (voor)koeling hangt sterk samen met schaalgrootte en organisatorische aspecten en loopt daarom nogal uiteen. Om koelvermogens optimaal te benutten wordt vaak een tegenstroomprincipe toegepast door product en koude lucht tegen elkaar in te bewegen (figuur 7.5).



Figuur 7.5. Principe van koeling in tegenstroom.

Vis, die vers wordt verhandeld, wordt direct na de vangst gekoeld door menging met grof gemalen ijs of scherfijns (gewichtverhouding vis:ijs 3:2). De koeltijd van de vis en het ijsverbruik zijn afhankelijk van begintemperatuur en omgevingstemperatuur. Een redelijk hoge omgevingstemperatuur is nodig om het ijs snel te doen smelten en daardoor de vis behoorlijk snel af te koelen (het ijswater heeft door het betere contact meer effect dan ijs).

Uit een oogpunt van economie moet er echter ook niet te veel ijs smelten. Normaal bedraagt de temperatuur in een visruim in trawlers op de Noordzee 4 à 6 °C, bij welke temperatuur een aanvaardbaar

compromis wordt bereikt. De ruimten zijn met een of meer luchtkoelinstallaties uitgerust, die nuttig is om te voorkomen dat de voorraden ijs te snel smelten en die ook worden gebruikt om het geheel gevulde ruim op temperatuur te houden. Vissen van ca 1,25 kg gewicht en met een dikte van 5,5 cm koelen in ongeveer 1 uur van 20 tot 5 °C en in 2 uur van 20 tot 1 °C. Op deze wijze kan men vis gedurende 12 dagen in redelijk verse toestand houden.

Zoals eerder vermeld heeft het smeltwater nog andere functies zoals het enigszins schoon spoelen (exudaten, bacteriën, door het slepen van het visnet over de bodem wordt vis soms flink beschadigd) en het vochtig houden van de vis voor zijn glanzende vel.

Een andere methode is het koelen en bewaren van vis in tanks met gekoeld zeewater of een pekeloplossing (-1 à -2 °C). Ook wordt wel gebruik gemaakt van ijs uit zeewater of zoutoplossingen vervaardigd (hierbij is mogelijk ijs te fabriceren met een smeltpunt tussen 0 en -6 °C). Het gaat er bij deze werkwijze om de vis te bewaren bij een temperatuur die ongeveer gelijk is of iets hoger dan het vriespunt van vis (ca -1,25 °C). Ook wordt deze methode gebruikt om vis sneller af te koelen door het mengen van de verse vis met ijshoudend zeewater (enkele graden onder 0 °C) in de bun, waarbij de hoeveelheid ijs is afgestemd op de 'veldwarmte' van de gevangen vis.

Vers geslacht *pluimvee* wordt eveneens snel gekoeld (tot ca 2 °C). De oudste methode is koelen in lucht (8 à 12 uur, gewichtsverlies 1 à 2%); tot voor kort werd doorgaans gebruik gemaakt van water en ijswater (in 1-2 uur tot beneden 5 °C). Bijkomend is dat door opname van water enkele procenten gewichtsvermeerdering optreedt. Vroeger werd deze koeling simpel uitgevoerd in tanks waarin de karkassen vrij in water zweven en waarin met perslucht werd geroerd. Echter in verband met de toegenomen kwaliteitseisen aan hygiëne worden nu kipkarkassen individueel in zgn. *spinchillers* gekoeld met schoon ijswater om kruisbesmetting te voorkomen. In deze koelers, opgesteld in een koele productiehal, hangen pluimveekarkassen aan hun poten aan een ketting zonder eind terwijl ze van alle zijden worden besproeid.

7.4 Gekoelde bewaar ruimten

Wat nu de technische uitvoering van gekoelde bewaar ruimten betreft doen zich bij ruimten van alle voorkomende grootten voor alle producten in wezen dezelfde problemen voor. Er is een zeer grote verscheidenheid aan gekoelde ruimten, van de kleinste huishoudkoelkasten tot compleet gekoelde verdeelcentra.

De uitfasering van freonen en het beschikbaar komen van nieuwe koelmiddelen zoals koolwaterstoffen en hernieuwd gebruik van ammoniak en koolzuur heeft de laatste decaden geleid tot grote investeringen. Fabrikanten van vers en diepvries moesten vervangingen plegen ofwel zich afvragen of het op den duur niet rendabeler zou zijn compleet nieuwe koelinstallaties en bijbehorende ruimten te bouwen.

Huishoudkoelmeubels zijn de kleinste. In winkels voor levensmiddelen treft men grotere koelkasten aan en allerlei typen van koelmeubelen, zoals vitrines waarin de waren goed zichtbaar zijn, koeleilanden, open koeltroggen, verkooptoonbanken, efficiënt samengebouwde complete wanden van kasten met glazen deuren waarin verschillende temperaturen heersen zodat koelvers en diepvriesproducten naast elkaar te vinden zijn, ed. Vervolgens zijn er koelhuizen in allerlei afmetingen, gespecialiseerde ULO pakhuizen en meer. De gekoelde ruimten voor transport (volgende paragraaf) zoals koelcontainers, scheepsruimen, spoorwagens, vrachtauto's, speciale vliegtuigrummen die alle in wezen dezelfde functie hebben.

In al deze gevallen krijgt men bij ontwerp en installatie te maken met de volgende factoren: apart voor koelen in andere ruimte of het afvoeren van veldwarmte uit het product; de warmteontwikkeling van het product gedurende de bewaartijd; warmte ontwikkeld door mensen, lampen en apparaten; warmtetoevoer uit de omgeving door de isolatie; afkoeling en ontvochtigingswarmte van toegevoerde verse lucht; condensatie- en stollingswarmte van door de producten afgegeven en door de isolatie komend vocht dat op de koelelementen neerslaat.

Afhankelijk van locatie en randvoorwaarden moet met al deze posten gerekend worden. Samenhangende onderwerpen als: keuze van isolatie; regeling van de relatieve vochtigheid, welke samenhangt met het te accepteren gewichtsverlies; ontdooien van de koelelementen worden elders in de opleiding behandeld.

Tenslotte nog enkele opmerkingen over de technische uitvoering van enkele typen van gekoelde ruimten :

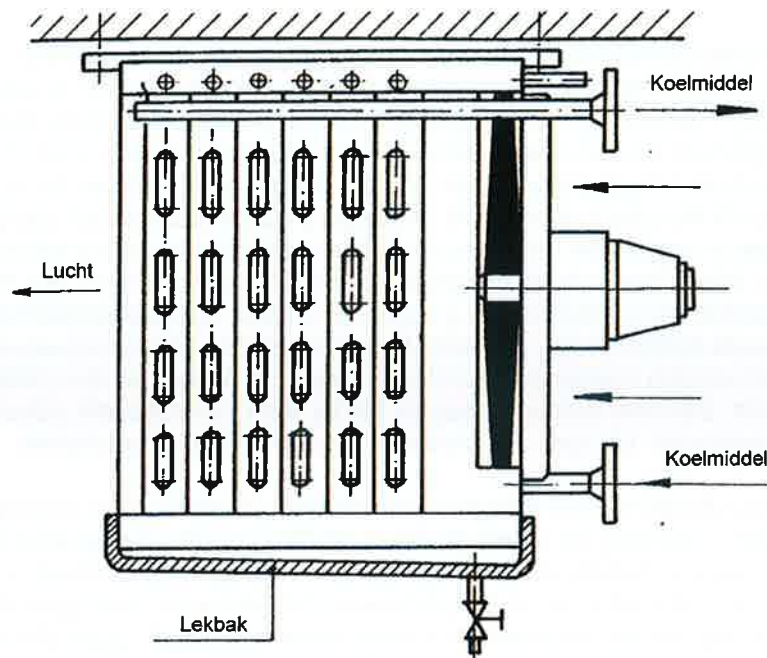
De meeste *huishoudkoelkasten* hebben globaal nog steeds de vorm en afmeting van de ijskasten die ruim een eeuw geleden in gebruik waren, waaruit weer blijkt dat de mens de maat van alle dingen is. Belangrijke eisen zijn: dat de isolatie zo goed moet zijn dat op de buitenzijde geen condensatie optreedt; de koelmachine moet voldoende capaciteit hebben dat bij een buitentemperatuur van 32 °C een binnentemperatuur van 5 °C gehaald wordt; in de regel is dit in de buurt van 2 à 3 °C. Men rekent vaak met een warmtebelasting door producten en openen van de deur van ongeveer 10 W per 100 l netto inhoud. Met het oog op de invloed op de relatieve vochtigheid moet de verdampingstemperatuur niet te laag gekozen worden (meestal tussen -15 en -20 °C). Veel koelkasten hebben tegenwoordig een diepvriescompartiment waarin een temperatuur van -18 °C moet heersen in geval van een driersterren kast, en -12°C in een tweesterren kast. In grotere kasten wordt vaak kunstmatige luchtcirculatie toegepast om de optredende temperatuurgradiënten beter te vereffenen. Voor huishoudkoelkasten is er de laatste jaren een sterke toename in gebruik van natuurlijke koudemiddelen.

Koelmeubelen voor winkelbedrijven zijn er in veel variaties. Een voorbeeld van een open koeltrog is getekend in figuur 7.6. Bij dit soort apparaten doen zich verschillende moeilijke problemen voor, zoals het voorkomen van de menging van de koude luchtstroom met de omgevingslucht en de te kiezen methode van ontdooiing van de verdamper. Helaas werden in het verleden bij dit soort apparaten de koeltechnische eisen vaak als ondergeschikt beschouwd. Zo is in een open koeltrog de relatieve vochtigheid vaak hoog wat hoge eisen stelt aan de verpakking van de geëtaleerde artikelen. Om aan de kwaliteitseisen (voor de meeste producten maximaal 7°C in koelvitruines en -15°C in diepvriesmeubelen) zijn er nog steeds veel ontwikkelingen gaande in ontwerpenverbetering van winkelmeubelen.

Koelcellen, dus grote koelkasten voor winkels of grote keukens, worden vaak gebouwd om uiteenlopende artikelen (vleesproducten, zuivel, gegaarde maaltijden, left-overs e.a.), in te bewaren. Men streeft dan naar een temperatuur van 1-3°C en past een verdampingstemperatuur toe die ongeveer 10°C lager ligt. Onder zulke omstandigheden wordt automatisch een voor het product geschikte RV bereikt.

Er bestaat een grote verscheidenheid op het gebied van *grotere gekoelde bewaar ruimten*. Hier alleen enkele opmerkingen over de hierbij toegepaste luchtkoelers. De meest gebruikte systemen zijn:

- **verdampers** in de vorm van al of niet van lamellen voorziene buizen of platen die gewoonlijk aan het plafond hangen; in dit geval zorgt vrije convectie voor het warmtetransport;
- **luchtkoelers** bestaande uit lamellen- of ribbenbuizen waarmee de lucht gekoeld wordt door middel van een tussenmedium (pekkel).
- **natte luchtkoelers** waarbij de lucht in direct contact wordt gebracht met de pekkel; er zijn diverse uitvoeringsvormen, deze werkwijze biedt nog een extra mogelijkheid om de relatieve vochtigheid te regelen (concentratie van de pekkel);
- **koelunits** bestaande uit een verdamper en ventilator; hierbij wordt in tegenstelling tot de vorige werkwijzen gebruik gemaakt van gedwongen convectie; vaak worden deze koelers aan het plafond gehangen (zie figuur 7.6), soms worden ze tegen de wand gebouwd.
- **grote koelhuizen**. Hierin geschiedt de koeling van de lucht vaak buiten de koelcellen en wordt de koude lucht via een stelsel van luchtkanalen gecirculeerd.



Figuur 7.6 Koeleenheid van ventilator en verdamper voor ruimtekooling.

Op de overwegingen die tot de keuze van het systeem moeten leiden gaan wij hier niet in, evenmin als op de talrijke andere koeltechnische problemen bij het ontwerpen en bedienen van koelhuizen.

Over *gascellen* voor diverse vormen van *CA-bewaring* van nog levende verse producten is in hoofdstuk 5 reeds een en ander verteld. Figuur 5.9 is een schets van een ULO gascel. Deze worden om de gewenste gassamenstelling te kunnen handhaven van een gasdichte bekleding voorzien, die ook eenvoudig en goed gereinigd moet kunnen worden. Voor sommige typen van *CA-bewaring* geschiedt de regeling van de gassamenstelling soms eenvoudig door aanvankelijk het CO_2 -gehalte op te laten lopen door de ademhaling van de producten en het daarna constant te houden door een bepaalde hoeveelheid verse lucht toe te voeren, soms door CO_2 uit te wassen met loog in een "scrubber"(gaswasser) en de ontstane onderdruk te compenseren door toelating van verse lucht. In het eerste geval wordt het CO_2 -gehalte verhoogd en het O_2 -gehalte verlaagd, terwijl het N_2 -gehalte gelijk blijft, bij de gescrubde gasbewaring wordt de som van CO_2 en O_2 verlaagd en het N_2 -gehalte verhoogd. Een voor deze industrie belangrijke ontwikkeling van de laatste jaren is de generatie van bijna zuivere gassen met behulp van relatief goedkope membraantechnieken. In figuur 5.9 is een stikstofgenerator werkzaam.

Gascellen worden soms extern gekoeld door koude lucht die rondom de gascel, dus aan de buitenzijde van de gasdichte (metalen) bekleding, circuleert. Ook de gewone, interne koeling wordt wel toegepast. Tenslotte treft men ook combinaties aan. De externe koeling heeft o.m. het voordeel dat deze alle warmte die door de isolatie komt opvangt. Een kleine koelunit in de cel behoeft dan bij deze gecombineerde werkwijze slechts de in de ruimte geproduceerde warmte weg te nemen. Zodoende kan ook gemakkelijk een zeer hoge relatieve vochtigheid worden gehandhaafd.

Een bijzondere vorm van gascellen zijn installaties voor de afrijping van bananen en soms andere climacterisch fruit dat van ver wordt aangevoerd en daarom vroeg wordt geplukt. Bananen worden groen aangevoerd en bewaard bij ca 13°C . Bananen zijn erg gevoelig voor te koele temperaturen. Enige tijd beneden ruim 11°C geeft vrijwel meteen bruin- en wat later grijskleuring vlak onder de schil. Zodra de bananen nodig zijn voor verkoop gaan ze naar afrijpcellen waar ze een ethyleenstoot krijgen gedurende ca 12 uur en worden onderworpen aan een opwarmcyclus van ca 6 dagen. Hierbij laat men de temperatuur langzaam oplopen tot 19°C en worden de bananen langzaam geel en komen op smaak.

7.5 Koeltransport

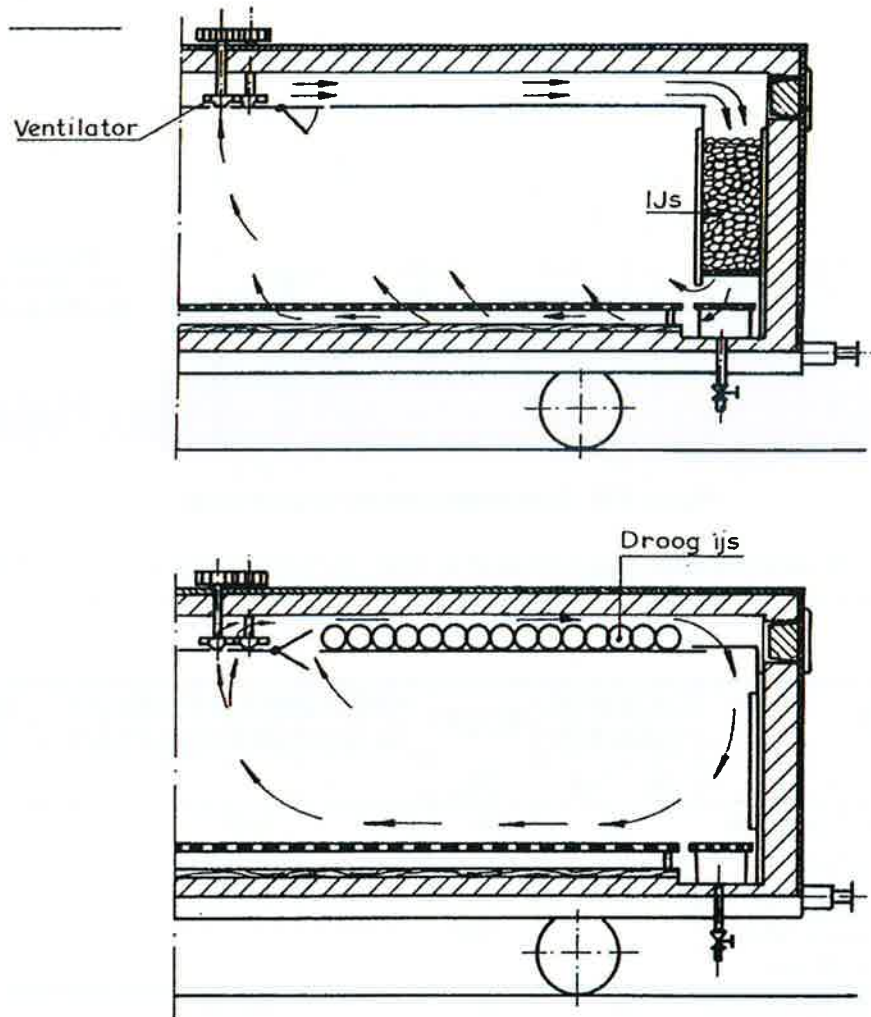
Zeer veel onderzoek en ontwikkelingswerk is verricht op het gebied van gekoeld transport. Het inmiddels tot enorme omvang en economische belang nationaal en internationaal uitgegroeide koudetransport rechtvaardigde deze inspanning. Het resultaat is een veelheid van technische mogelijkheden die in de loop der jaren ook in praktijk zijn gebruikt en soms weer verlaten. Het veld is nog steeds sterk in beweging. Over de laatste decade echter heeft de schaalvergroting en de technische ontwikkelingen het aantal toepassingen voor bulkproducten transport drastisch verminderd. Duidelijk is dat de mechanisch aangedreven koelmachine op de meeste terreinen gewonnen heeft van de andere koeltechnieken. Vooral door verbeterde *geluidsarme* uitvoeringen (bijv. Thermo-king) in combinatie met *containers* en andere '*swap-bodies*' (losse koelpanelen, speciale vormen van containers e.d.) wordt het meeste bulkkoelvervoer van levensmiddelen aldus uitgevoerd. Een goede toekomst lijkt weggelegd voor genoemde koelcontainers en swapbodies die relatief eenvoudig kunnen worden overgezet op andere transportmiddelen, en dus mobiel zijn op de weg, spoor, water, en in de lucht. Een zeer belangrijk aspect hierbij is de internationale standaardisering van afmetingen voor containervervoer. De zgn. ISO container heeft veel terrein gewonnen.

In het algemeen zijn in koeluitvoering voor transport beschikbaar: vrachtwagens, spoorwegwagens, containers en andere '*swapbodies*', vliegtuig en scheepsruimen (reefers). Vele types ervan bestaan. Vrachtwagens variëren van bestelauto's, via trucks tot grote trailers en containertrailers. Grotere wagens zijn gewoonlijk uitgerust met autonoom diesel-aangedreven koelmachines; koeling van kleinere wagens kan elektrisch of hydraulisch aangedreven zijn door de vrachtwagenmotor. Voor locale distributienetwerken met een dagcyclus word nogal eens opgeslagen koude in *eutectische* platen gebruikt. De oudere met een ijsvat gekoelde wagens ziet men niet meer. Een klein aantal wagens gebruiken nog cryogene koudemiddelen (vloeibare stikstof, vaste koolzuur). Vaste koolzuur is ook populair als top-icing koelmiddel voor kostbare luchttransporten in dikwandige dozen.

In dit verband bestaat er enige discussie over de verdienste van voorkoeling van laadruimtes en containers voorafgaand aan de verlading of overslag. Als deze verlading gaat plaatsvinden in een temperatuurgeregeld laadstation met goede aansluiting tussen wagen en laadstation, dan moet voorkoeling worden geprefereerd. Echter indien verlading plaats heeft in een laadstation op kamertemperatuur dan heeft voorkoeling in het algemeen twee negatieve effecten: (i) de binnenzijde van de laadruimte zal nat en slipperig worden hetgeen de handelingen bemoeilijkt, en (ii) nadat de deuren gesloten zijn zal het gecondenseerde vocht ijs gaan vormen op de verdamper die daardoor koelcapaciteit verliest en ontdooit moet worden en dus de eigenlijke lading in het begin niet kan koelen juist als dat nodig is om eventueel door verlading opgelopen temperatuurstijging terug te koelen.

Hieronder volgt een korte bespreking van populaire transportmiddelen.

Gekoelde spoorwegwagens (nog vooral populair in Oost-Europa, voormalige USSR, en China) lopen wat hun constructie betreft in verschillende landen nogal uiteen, doch worden vaak gekoeld met ijs, soms met droog ijs (vast CO_2), producten bij ca -20°C . Een voorbeeld van de uitvoering is getekend in fig. 7.7. De wagens worden zo gebouwd dat de k-waarde omstreeks $0,35 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ bedraagt. Als koelmiddel kan ook vloeibare N_2 gebruikt, in welk geval een zeer goede isolatie noodzakelijk is.

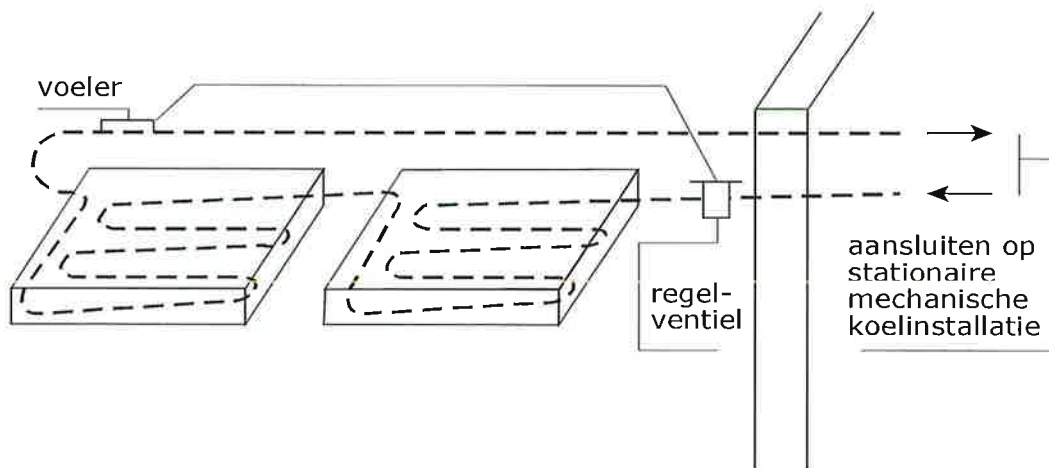


Figuur 7.7 Spoorwegwagens gekoeld met ijs of koolzuurijs.

Gekoelde scheepsruimen zijn vanwege hun grootte meestal uitgerust met luchtverdeelkanalen die worden aangeblazen door koelers met zware ventilatoren. De lucht wordt gerecirculeerd, terwijl verse lucht wordt gesuppleerd; bij transport van fruit is een 60-voudige circulatie per uur gangbaar en een 3-voudige luchtverversing per uur. De uitvoering van de installaties hangt er o.m. van af of steeds dezelfde lading wordt vervoerd, bijv. bananen (12°C) of vlees (0°C), dan wel dat de ruimte voor alle producten geschikt dient te zijn.

Vrachtauto's konden vroeger het eenvoudigst met ijs worden gekoeld, toen dit nog in depot of lokale ijsfabriek kon worden gehaald. In sommige landen (Indonesië) werkt dit nog steeds. Aan de voorzijde van de wagen is dan een ijsbunker aangebracht, terwijl een ventilator zorgdraagt voor circulatie van de lucht. Voor isolatie gebruikt men combinaties van schuimkunststoffen en aluminium- of kunststofplaten. In Europa voor regulier transport over langere afstanden zijn alleen nog maar mechanisch gekoelde laadruimtes in gebruik.

Voor bezorgdiensten in een bepaald rayon die een 24 uur ritme handhaven, dwz. dat de wagens altijd de nacht overblijven op een locatie, zijn vaak koude-accu's in de vorm van eutectische platen in gebruik zie figuur 7.8. Soms als zeer lage temperaturen nodig zijn wordt wel vloeibare stikstof toegepast om de ladingsruimte te koelen.



Figuur 7.8 Eutectische platen in laadruimte.

De meeste eutectische platen worden geproduceerd in Italië. Ze worden afgeleverd met 6 verschillende verzadigde zout-water mengsels. Onderstaande tabel geeft technische details hiervan.

TEMP.	ZOUT	LATENTE WARMTE	ZOUT	NATRIUMDICHROMAAT IN ALLE ZOUTEN PLUS	DICHTHEID KG/LITER
[°C]		[kcal/kg]	[%]		[kg/l]
- 4	Magnesiumsulfaat	58	38	NaOH	1,150
-11	Kaliumchloride	70	19,5	KOH	1,110
-23	Natriumchloride	70	30	NaOH	1,160
-26	Natriumchloride en Natriumnitraat	60	20,5 22,4		1,270
-33	Magnesiumchloride	55	46	NaOH	1,190
-18	Natriumnitraat	50	34,5		1,253

Tabel 7.1 Technische gegevens van zoutmengsels in eutectische platen, in gebruik voor koeltransport.

Alle zoutmengsels bevatten 1% Natriumdichromaat en meestal een kleine hoeveelheid Natrium- of Kaliumhydroxide, effectief tegen corrosie.

Containers zijn zeer populair en lijken inmiddels uitontwikkeld te zijn. Globaal zijn 3 soorten koelcontainers te onderscheiden:

- goed geïsoleerde containers zonder koeleenheid voor relatief korte transporten waarbij een geringe opwarming van de lading door warmte-inlek wordt geaccepteerd;
- geïsoleerde containers met een autonoom werkende koeleenheid;
- geïsoleerde containers met een electrisch aangedreven koeleenheid die moet worden aangekoppeld zodra dit mogelijk is tijdens transport of stilstand.

In alle gevallen zijn belangrijk een goede stapeling van de lading en een goede luchtverdeling over de laadruimte. In veel containers zit de temperatuursensor in het aanvoerluchtkanaal vóór de koelmachine. Voor ladingen waarbij een nauwkeurige temperatuurregeling is vereist bijv. om te voorkomen dat de lading bevriest wordt deze sensor in het kanaal voorbij de verdamper vóór de lading ingebouwd.

7.6 Invriezen

7.6.1 Inleiding

Het vriezen van voedingsmiddelen is omstreeks 1929 ingevoerd toen Clarence Birdseye zijn eerste fabriek opende. De technologie van invriezen heeft sindsdien een lange ontwikkeling achter de rug. Zoals al eerder uiteengezet werd, is men geleidelijk tot het inzicht gekomen dat snel vriezen in het algemeen de voorkeur verdient; praktisch streeft men in de meeste gevallen naar een lineaire vriessnelheid van minstens 2 cm/h. De technische ontwikkeling heeft dit inzicht op de voet gevolgd. In het begin van de vriesindustrie werd gewoonlijk gevroren in de opslagruimten, waarin de temperatuur zelden lager was dan -12°C, terwijl er weinig luchtbeweging was. Later is men de temperatuur gaan verlagen en de luchtsnelheid gaan verhogen om sneller te kunnen vriezen. Dit heeft vanzelf geleid tot afzonderlijk vriezen en bewaren van de gevroren producten. Tegenwoordig is het buiten de privé-huishoudingen een uitzondering wanneer gevroren wordt in de bewaarruimten.

Gevroren worden, fysisch gezien:

- (i) vaste stoffen van zeer uiteenlopende afmetingen (bij kleine afmetingen is de warmteovergangscoëfficiënt aan de buitenzijde bepalend voor de vriessnelheid, bij grote afmetingen daarentegen wordt de temperatuurvereffeningscoëfficiënt van het product doorslaggevend);
- (ii) verpakte of onverpakte vaste stoffen (de verpakking speelt een heel grote rol, hij veroorzaakt een extra warmteweerstand en maakt van kleine voorwerpjes als erwten en bonen een veel groter voorwerp met een relatief slechte warmtegeleiding, tenzij in een opgietsel wordt gevroren);
- (iii) vloeistoffen van uiteenlopende consistentie.

Gezien al deze variabelen spreekt het vanzelf dat er vele mogelijkheden en technische uitvoeringsvormen zijn.

Vaste stoffen, verpakt of niet, worden ingevroren met behulp van *koude vloeistoffen* of met *koude lucht*. In geval van koude vloeistoffen kunnen hierbij twee varianten worden onderscheiden: direct contact met de koude vloeistof en indirect contact. In verband met de contaminatie en veiligheid van levensmiddelen komen voor direct contact slechts de koudedragers die in par. 4.6 genoemd zijn in aanmerking.

7.6.2 Vriezen met niet-cryogene koude vloeistoffen

Feitelijk is vriezen in koude vloeistoffen een zeer oude werkwijze. Bijvoorbeeld vis wordt al 130 jaar gevroren door *onderdompeling* in koude pekelplossingen en later ook wel door verstuiving ermee rond het product (om de koudecapaciteit van de omringende lucht te vergroten). Bij deze methode worden goede warmteoverdrachtscoëfficiënten en dus vrij hoge vriessnelheden bereikt. Veel onderzoek is verricht over de keuze van temperatuur en pekconcentratie in verband met het binnendringen van zout in en het tegelijkertijd onttrekken van water aan de vis. Verschillende toevoegingen aan de pek, als suiker en glycerine werden aanbevolen. Voor vis wordt deze methode niet veel meer toegepast, mogelijk nog steeds in Canada.

Het onderdompelen in koude vloeistoffen is ook wel toegepast voor gevogelte. Experimenten met freonen, methanol/water of propyleenglycol zijn beschreven maar vonden geen ingang. Men heeft het in deze richting gezocht ter vergroting van de vriessnelheid in een tijd toen andere methoden van snel vriezen nog onvoldoende waren ontwikkeld. Tegenwoordig wordt weer geëxperimenteerd met ijswater met zeer fijn verdeeld ijs waardoor ijs en water beter gemengd blijven. Door de concentratie ijs te variëren wordt ook de koude-inhoud gevarieerd.

Een andere belangrijke mogelijkheid die nu veel wordt toegepast, vooral vanwege zijn gunstige warmteoverdrachtscondities, is het *besproeien* met een koude vloeistof. Werd hier vroeger vooral koude pek voor gebruikt, tegenwoordig zijn dit vooral ijswater en cryogene middelen als vloeibare stikstof en kooldioxide en een enkele keer ook vloeibare lucht, alhoewel dit laatste brandgevaarlijk kan zijn. Voor de koeling van kipkarkassen met koud water of ijswater zijn aparte machines, zgn. *spinchillers* ontwikkeld. Hierin worden versgeslachte kippen gekoeld met schone waterstralen die bij recycling gedesinfecteerd zijn.

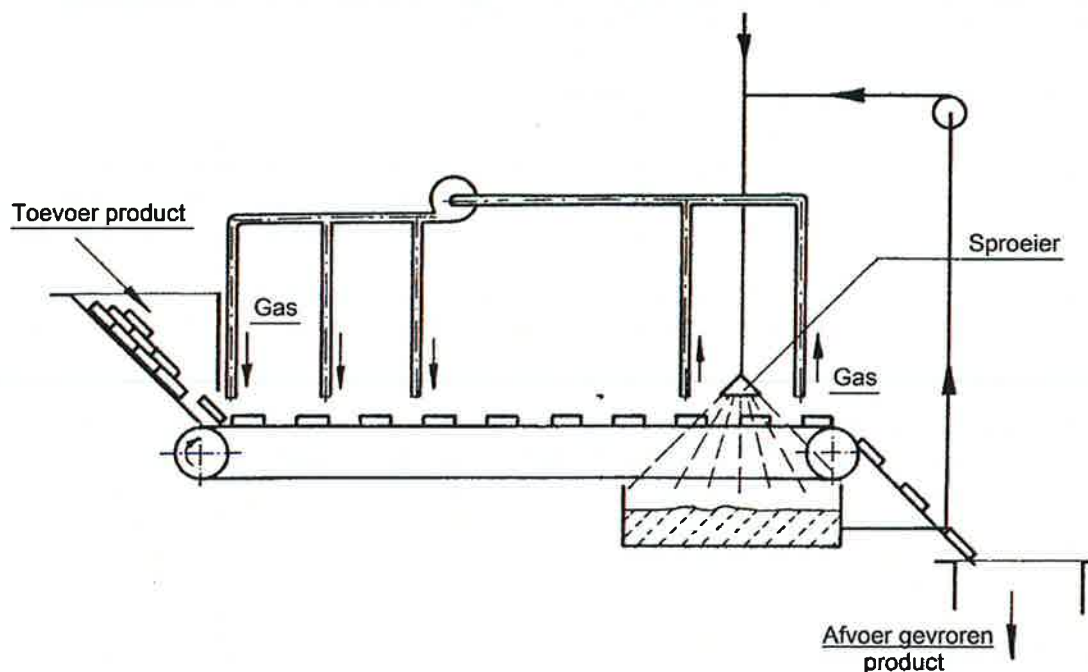
Dit was noodzakelijk om kiemgetallen laag te houden. Voordien werd de veldwarmte van kipkarkassen afgevoerd door onderdompeling in een koudwater bak, waardoor zich een sterke kruisbesmetting voordeed en kiemgetallen hoog waren.

Indirect kan men vriezen met een koude vloeistof door de producten in smalle, metalen cellen of ondiepe pannen te doen en deze in de koude vloeistof te dompelen. Dit is vroeger veel toegepast bij vis, waaraan nog wat water werd toegevoegd zodat ijsblokken met vis werden verkregen. Zoals eerder vermeld beschermt het ijs de vis tegen mechanische schade en snel ranzig worden. In latere jaren is deze werkwijze technisch vervolmaakt. Er zijn thans volledig automatisch werkende apparaten met verticale gekoeide platen, waartussen vis wordt gestort die tot blokken wordt bevroren. Deze ladingsgewijs werkende *verticale plaatvriezers* worden veel aan boord van schepen toegepast, zowel voor het vriezen van hele vissen als van filets. Zij worden eveneens toegepast voor het vriezen van andere materialen als stukjes wortelen; deze kan men tot grote blokken vriezen om ze later te ontdooien en verder te verwerken. De hier bedoelde vriezers zijn in zekere zin ook afgeleid van de belangrijke horizontale plaatvriezers, die dienen voor het vriezen van verpakte voedingsmiddelen en die hieronder nog nader zullen worden besproken.

7.6.3 Cryogeen vriezen

Als echte cryogene koudemiddelen worden gebruikt vloeibare stikstof (-196°C) en vloeibare kooldioxide (-28°C bij 15 bar). Vloeibaar kooldioxide gaat bij expansie naar 1 bar over in koolzuursneeuw, dat een temperatuur heeft van -79°C . Vrijwel steeds is cryogene koude duurder dan mechanisch opgewekte koude, daarom is de toepassing hiervan alleen zinvol als er specifieke voordelen te behalen zijn.

Tegenwoordig wordt besproeiing met *vloeibare stikstof* op grote schaal toegepast vooral voor seizoenproducties (piekbelastingen) doordat het (niet overal) relatief goedkoop is geworden. Vloeibare N_2 (kookpunt -196°C) is niet toxisch, wel eist de veiligheid een goede ventilatie van de ruimten waarin stikstof vrij komt. Het verdampt (kookt) op het oppervlak van te koelen voorwerpen en maakt een snelle afkoeling en bevriezing mogelijk. In principe kan met relatief eenvoudige apparatuur van kleine afmetingen een hoge capaciteit worden bereikt bij een relatief lage investering. Dit is gunstig voor bederfelijke land- en tuinbouwproducten die in korte tijd beschikbaar komen en snel verwerkt moeten worden.



Figuur 7.9 Schema transportband en installatie voor invriezen met vloeibare stikstof.

De technische uitvoering van het vriezen met vloeibare N_2 is eenvoudig. Het meest in aanmerking lijkt te komen de werkwijze, schematisch aangegeven in figuur 7.9 waarbij het product wordt besproeid, de overmaat vloeistof wordt gerecirculeerd en de damp wordt gebruikt voor voorcoeling. Als het product gevoelig is voor zeer lage temperaturen (brandvlekken) wordt de stikstof eerst volledig verdampt en het koude gas als koelmedium gebruikt. Onderdompeling komt voor grotere productafmetingen minder in aanmerking vanwege de ongelijke uitzetting (structuurschade) als gevolg van te snelle koeling. Echter mits zorgvuldig uitgevoerd kan het vriezen met vloeibare N_2 producten van zeer goede kwaliteit opleveren.

Een variant op deze werkwijze is het gebruik van vast koolzuur waarmee het product wordt bestrooid (top-icing). Hier geldt het voordeel van een vaste stof die zijn koude afgeeft op de plaats waar dit nodig is. De zeer lage temperatuur van vast CO_2 kan een nadeel zijn (lokale verbranding).

Globaal samengevat zijn de voor- en nadelen van cryogeen vriezen versus mechanisch vriezen de volgende:

Cryogene installaties:

Voordelen:

Lage investeringskosten
Hoge piekbelastingen mogelijk
Eenvoudige regeling, weinig storing gevoelig
Geluidsarm
CFK-vrij
Lage elektrische aansluitwaarde

Nadelen:

Hoge variabele kosten (koudemiddel verbruik)
Verbruikt koudemiddel bij nullast door warmtelek
Regelmatige aanvoer van koudemiddel nodig

Mechanisch:

Voordelen:

Lage variabele kosten (energie)
Verbruikt geen energie bij nullast

Nadelen:

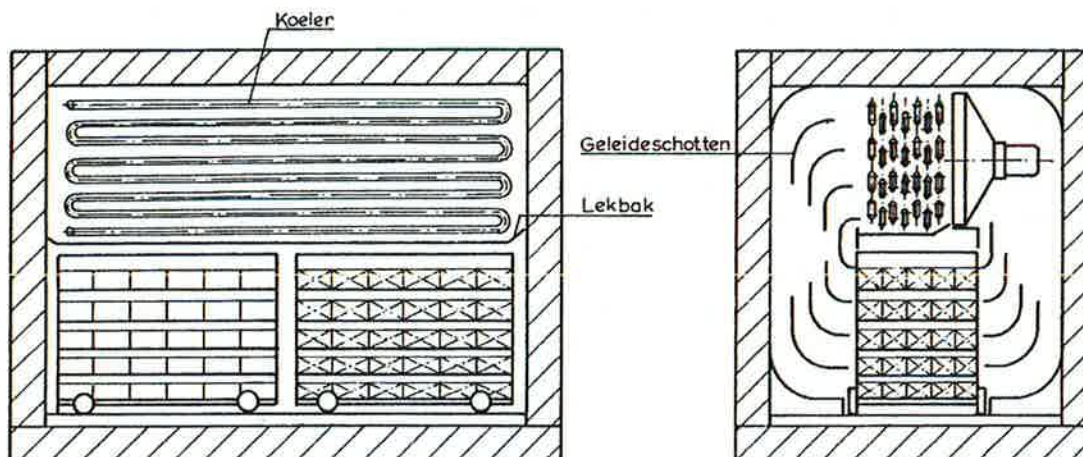
Hoge investeringskosten
Capaciteitsegeling beperkt mogelijk
Hoge elektrische aansluitwaarde

Afweging van voor- en nadelen in relatie tot de totale vrieskosten leidt tot de conclusie dat bij lage jaaromzet cryogeen vriezen goedkoper is en bij hoge jaaromzet mechanisch vriezen.

7.6.4 Vriezen met koude lucht

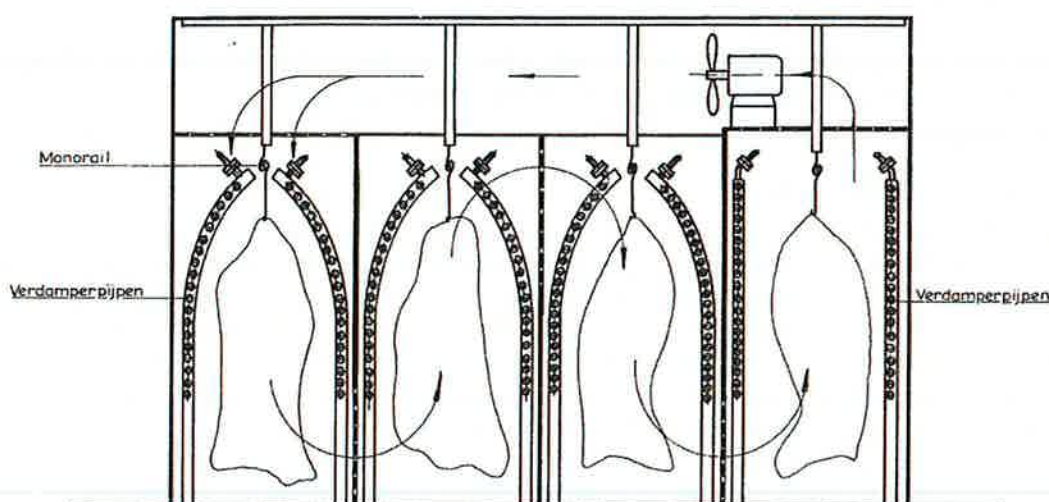
Veel levensmiddelen worden gevrozen met *koude lucht*. Afhankelijk van de producteisen en technische mogelijkheden bestaan er vele uitvoeringen, die allen gemeen hebben dat het fysische proces verloopt via het vast-gas contactoppervlak dat maximaal dient te zijn. De aandacht wordt gevestigd op de volgende werkwijzen en uitvoeringen. Over vlees is reeds veel vermeld in par. 6.3. Als op ouderwetse wijze vlees bij temperaturen van ongeveer -20°C en een flinke luchtcirculatie wordt behandeld vriezen rundervoeten in 3 tot 5 dagen tot een kerntemperatuur van -7 à -8°C , en varkenshelften in 3 à 4 dagen. Zoals eerder vermeld wordt het vriezen in de opslagruimte nauwelijks meer toegepast.

Bij het streven naar sneller vriezen is men naar steeds lagere luchttemperatuur gegaan (tot ca -50°C) en naar steeds hogere luchtsnelheden. Bij deze laatste is men echter duidelijk beperkt. De stromingsweerstand is immers ongeveer evenredig aan het kwadraat en het vermogen van de ventilatoren aan de derde macht van de luchtsnelheid. Dit extra vermogen moet door de koelmachine worden afgevoerd. Bij een bepaalde vriestijd is er een luchtsnelheid waarbij het energieverbruik minimaal is. Luchtsnelheden in de orde van grootte van 3 à 5 m/s zijn gebruikelijk. Onder de geschetste bedrijfsomstandigheden bereikt men bij bijv. varkenshelften een vriestijd van ruim 10 uur, bij kippen van enkele uren. Het spreekt vanzelf dat de technische uitvoering sterk afhankelijk is van de aard van het te vriezen product (vorm, afmetingen, vriestijd) en voorts van de keuze discontinu of continu vriezen.



Figuur 7.10 Ladingsgewijs werkende vrieskast.

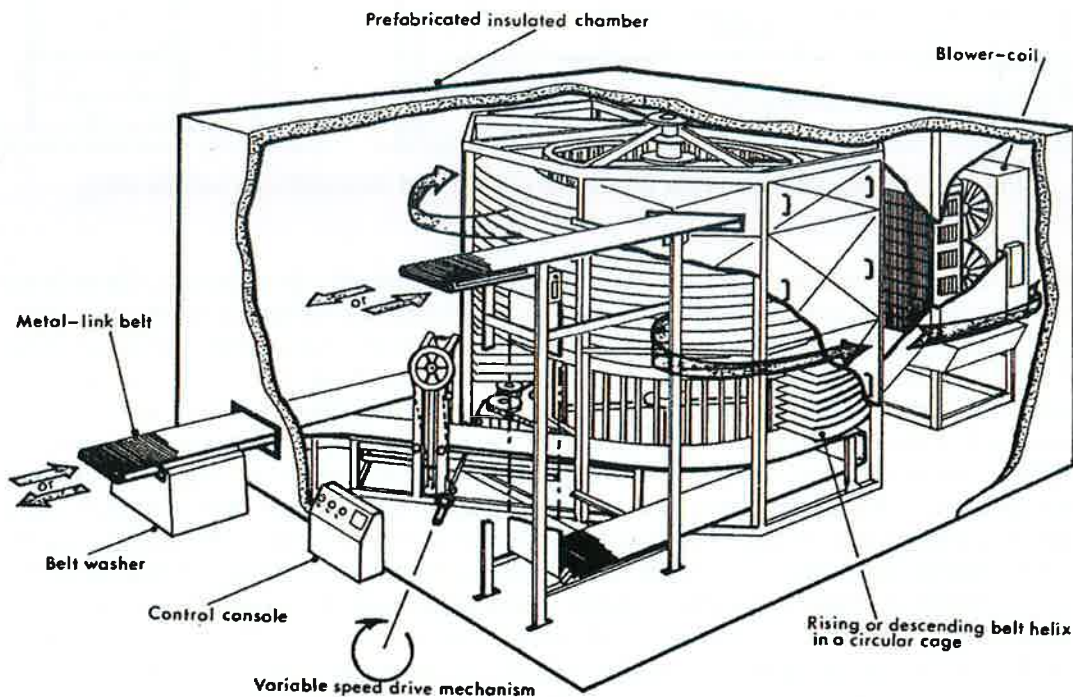
Ladingsgewijs werkende vriezers kunnen ingericht zijn als geschetst in figuur 7.10. De vrieskast is voorzien van koelelementen en een ventilator. De producten kunnen hangen, op hordenwagens uitgespreid zijn o.i.d. Belangrijk is dat de producten goed omspoeld worden door de koude lucht. Interessante varianten worden gevormd door vriezers waarin de producten zijn uitgespreid op en dus in contact zijn met de koelelementen, zodat een combinatie ontstaat van warmteoverdracht door convection en door geleiding. Dit soort vriescellen wordt veel toegepast voor brood en andere bakkerijproducten. Ook door straling naar wanden van lage temperatuur kan de vriessnelheid enigermate worden verhoogd, zie bijv. figuur 7.11 van een vriestunnel voor runderhelften.



Figuur 7.11 Vriesinstallatie voor halve varkens en runderen.

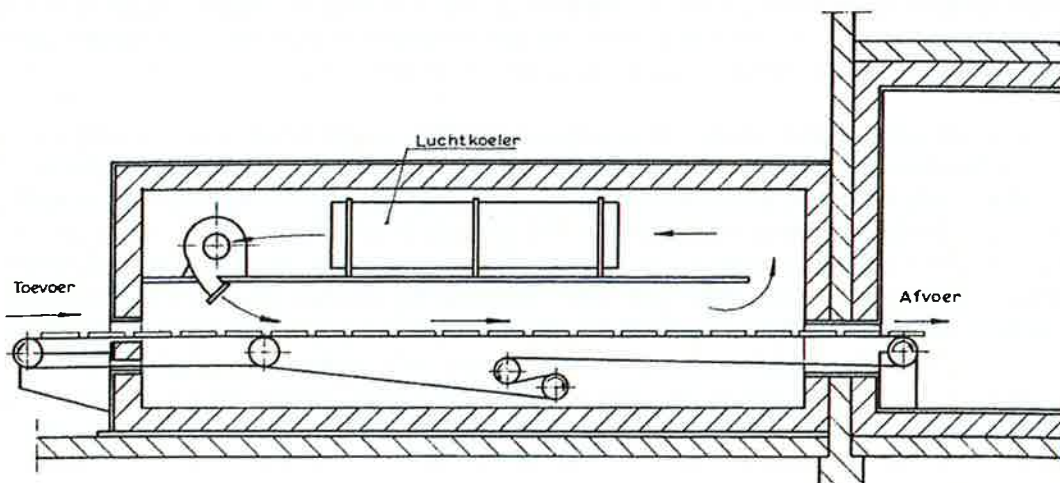
Door schaalvergroting zijn *continu werkende vriezers* van groot belang geworden. Hierbij treft men vooral variaties aan in de wijze van transport van de te vriezen producten door het apparaat, de richting van de luchtstroming en de plaatsing van de koelelementen. Wat het eerste punt aangaat treft men voor onverpakte artikelen voornamelijk twee uitvoeringen aan. Producten van grote afmetingen (vlees, grote vissen) worden meest hangend aan een plafondrail vervoerd. Voedingsmiddelen van kleine afmetingen zoals groenten en fruit worden meest los gestort op transportbanden, en minder vaak uitgespreid op meer bewerkelijke hordenwagens die vervolgens door een vriestunnel worden gevoerd. De luchtcirculatie kan in de dwars- of de lengterichting worden gekozen, in het laatste geval is tegenstroom uit een oogpunt van het koudeverbruik het gunstigst. De plaatsing van de koelelementen wordt voornamelijk door de hoogte van de installatie bepaald. Zo mogelijk bouwt men de koelers boven de tunnel waar de transportband doorheen loopt. Zou deze te hoog worden dan worden ze naast de tunnelruimte aangebracht.

Voor grote capaciteiten is meestal een spiraalbandvriezer geïnstalleerd. Dit apparaat dat producten in tegenstroom behandelt (vriest of koelt) neemt door zijn compacte bouw relatief weinig ruimte in, zie figuur 7.12. De totale afmetingen van de apparatuur worden vooral bepaald door koel- en vriestijd die bij gekozen afmeting de bandsnelheid bepaalt, de breedte (capaciteit) van de transportband en de draaicirkel die de rvs transportband in zijn omloop kan maken.

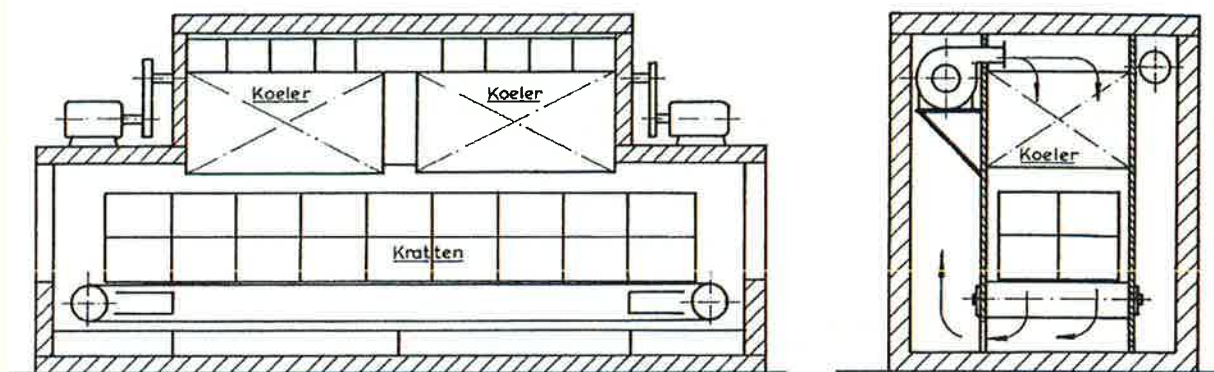


Figuur 7.12. Spiraal bandvriezer of -koeler voor voedingsmiddelen.

Ter illustratie van het voorgaande geven wij in de volgende figuren enkele voorbeelden. Figuur 7.13 laat een flexibele bandvriezer zien met langs stromende koellucht. Figuur 7.14 toont een bandvriesapparaat waarin de lucht in dwarsstroom door het op de band liggende product stroomt. Er bestaan apparaten met meer banden boven elkaar, waarin het product bijv. heen en weer en van boven naar beneden wordt getransporteerd. Het aantal mogelijke variaties is groot. Door slim gebruik te maken van combinaties van horizontaal en vertikaal transport kunnen de afmetingen van de apparatuur in de hand gehouden worden. Zulke bandvriezers worden o.a. gebruikt voor verpakte en onverpakte groenten en vruchten, voor vleeswaren en visproducten (evt. voorgekookt of voorgebakken), voor garnalen en bakkerijproducten.



Figuur 7.13 Bandvriezer met langsstroom luchtkoeling.



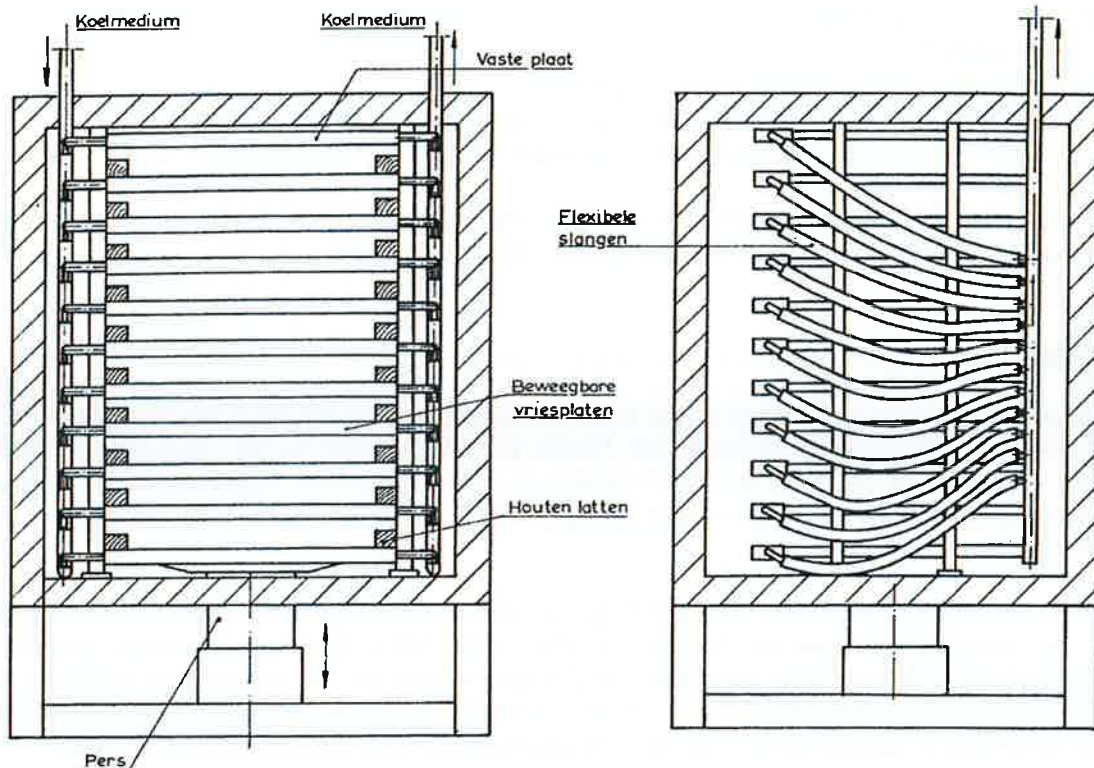
Figuur 7.14 Bandvriezer voor kraten of pallets met dwarsstroom luchtkoeling.

Een belangrijke variatie luchtvriezers zijn bandvriezers die met *fluïdisatie* zijn uitgerust. Alle artikelen die goed gefluïdiseerd kunnen worden, kunnen in principe in gefluïdiseerde toestand worden gevoren. Voorbeelden zijn doperwten, stukjes wortelen, aardbeien, garnalen en chips. Omdat de productdeeltjes in een gefluïdiseerd bed aan alle zijden flink worden omspoeld met de koude lucht ontstaat een uitstekende warmteoverdracht, welke resulteert in zeer korte vriestijden. De heftige beweging van de deeltjes voorkomt het aan elkaar vriezen (en aan de band vriezen), wat bij vriezers zonder fluïdisatie een hinderlijk probleem vormt. Producten van een fluïd bed (soms *vloeibed* genoemd) vriezer zijn daarom goed stromend en zeer geschikt voor opslag in bulk en verpakking op een later tijdstip. In principe kan men met dikke lagen product werken, zodat de vriezer ook voor grote capaciteiten, mede in verband met de korte vriestijd, klein van afmetingen blijft. Hier ligt echter wel een probleem; de lucht wordt immers zowel voor het fluïdiseren als voor de koeling gebruikt en beide processen moeten overeenstemmen. Korte vriestijden zijn uiteraard alleen bereikbaar bij deeltjes van kleine afmetingen. Voor producten van grotere afmetingen zou trouwens de voor de fluïdisatie benodigde luchtsnelheid een bezwaar worden. De technische uitvoering van de fluïdisatievriezers is in wezen eenvoudig, een goed gedimensioneerde gaasband waarop het product ligt, wordt vanonder aangeblazen door koude lucht zo dat het product gaat zweven. Dit apparaat wordt vaak gebruikt om kleine producten los te vriezen en pas daarna te verpakken.

Het vriezen van *verpakte* vaste stoffen is ongunstiger doordat door de verpakking een extra warmteovergangswaerstand is ontstaan en de afmeting van het product is toegenomen. Naarmate de extra weerstand groter wordt neemt de vriestijd toe en wordt het van minder belang welke waarde de warmteovergangscoefficiënt aan de buitenzijde van de verpakking heeft. Dit is in B1 ook reeds ter sprake gebracht. Uit een oogpunt van warmtetransport zijn zeer goed aansluitende verpakkingen het best, vooral krimpfoliën bewijzen hier goede diensten. Deze hebben echter weinig zin bij losgestorte materialen of producten die veel luchtholten bevatten.

Verreweg het meest worden losgestorte levensmiddelen in doosjes gevoren. De vriessnelheid wordt in hoge mate bepaald door de factoren die invloed hebben op het warmtegeleidingsvermogen van het poreuze, heterogene materiaal. Het spreekt vanzelf dat de vriessnelheid bijzonder ongunstig wordt beïnvloed wanneer een aantal kleine doosjes verpakt wordt in een grotere doos.

Wat de technische uitvoering betreft doen zich principiële dezelfde mogelijkheden voor als bij onverpakte materialen. Het indirecte vriezen met koude vloeistoffen is bij verpakte waren de meest toegepaste methode. Dit vindt plaats in de zgn. *plaatvriezers*, die al door Birdseye omstreeks 1930 zijn ontwikkeld. De meest gebruikte plaatvriezers werken ladingsgewijs. Het principe is getekend in fig. 7.15. Ze worden thans in allerlei variaties door meerdere firma's geconstrueerd. De werking is als volgt. De doosjes met te vriezen producten worden tussen horizontale platen gebracht, die inwendig worden gekoeld met een pekeloplossing of een verdampende vloeistof. De bovenste (of onderste) plaat is gefixeerd; nadat de vriezer is beladen worden de platen hydraulisch naar boven (resp. beneden) verplaatst totdat een matige druk op de doosjes wordt uitgeoefend. Op deze wijze ontstaat dus een redelijk goed contact tussen de doosjes en de gekoelde platen. Na afloop van het vriezen, laat men de platen weer zakken (resp. omhoog gaan) en kunnen de doosjes worden verwijderd. Een bijzondere uitvoering van de horizontale plaatvriezer is de vriesdroger waarover meer in par. 9.3.



Figuur 7.15 Horizontale plaatvriezer.

De plaatvriezers hebben t.o.v. vriezers met lucht als voordelen: de k-waarde kan aanzienlijk gunstiger zijn zodat een kortere vriestijd kan worden bereikt bij minder lage verdampingstemperatuur (vooral wanneer met verdampende vloeistoffen in de platen wordt gewerkt); er hoeft minder warmte te worden onttrokken omdat bij een luchtvriezer grotere verliezen aan koude optreden en het aanzienlijke vermogen van de ventilatoren moet worden afgevoerd; plaatvriezers vergen minder plaatsruimte; ook leveren ze mooie pakjes product af.

Daartegenover moet een plaatvriezer zeer goed afgewerkt zijn en dient men er zorgvuldig mee werken om te grote warmteovergangsweerstanden te vermijden. Bovendien werken de beschreven vriezers ladingsgewijs en kan het transport van de producten en het laden en lossen omslachtig zijn. Vandaar dat er allerlei constructies zijn bedacht om een en ander te mechaniseren en te automatiseren. Onder meer zijn plaatvriezers ontstaan die eenvoudiger te laden en te lossen zijn maar niet voor alle producten geschikt zijn. Ook ingewikkelde, volledig continu werkende plaatvriezers zijn ontworpen. Het is begrijpelijk dat zulke constructies vrij kostbaar zijn.

Over het vriezen van *vloeibare* producten kunnen wij kort zijn. Vruchtensappen (bijv. geconcentreerde citrussappen) worden in blik, in glas of soms zelfs in karton gevoren. Het ligt voor de hand vóór te koelen of zelfs vóór te vriezen in een of andere warmtewisselaar. Daarvoor worden meestal Votators en Vogt-vriezers gebruikt. Na het vullen van de verpakkingen moet worden nagevoren. Dit kan in principe op vele manieren. Direct contact met een koude vloeistof komt het meest in aanmerking. Men kan onderdompelen of besproeien. De continue sterilisator van de FMC, wordt bijv. wel als continu vriezer toegepast.

Zoals reeds genoemd is de Votator (figuur 7.1) een bijzondere uitvoering van een continue werkende geschraapte warmtewisselaar waarin vloeibare stoffen snel kunnen worden afgekoeld. In de levensmiddelenfabricage wordt hij toegepast voor margarine en consumptie-ijs, en ook in het uitvriesproces, par.9.3. Vloeistoffen die hoog viskeus zijn geworden na de bewerking worden zo getransporteerd. Het warmtewisselende gedeelte waar het product doorheen stroomt, is in wezen een dubbele pijp die aan binnenzijde (holle as) en buitenzijde (dubbele wand) wordt gekoeld, bijv. met verdampend koelmiddel om een hoge α te bewerkstelligen.

Samenvattend kan worden gesteld dat de volgende typen vriesapparatuur in de levensmiddelenindustrie het meest gebruikelijk zijn:

- plaatvriezers met horizontale of verticale platen;
- gekoelde votator en carrousselblokvriezers zijn in gebruik voor consumptie-ijs;
- koude lucht vriezers (air blast freezers), uitgevoerd als tunnel-, transportband- of gefluidiseerd bedvriezer;
- immersievriezers werkend met vloeibare (of gasvormige) stikstof, koolzuur, (niet zelden voor vis) pekkel en vroeger (tot eind 1992) dichloor-difluor-methaan (freon).

7.7 Vriesopslag

Na hetgeen over koelhuisen ed. gezegd is nog enige opmerkingen over het *bewaren van gevroren producten*, dus over vrieshuizen, vrieskasten etc. Eerder werd al gewezen op de noodzaak van een constante temperatuur, die meestal -18 à -20°C bedraagt, doch in geval van langdurige opslag, vooral van vetrijke producten, vaak aanzienlijk lager wordt gekozen (-30 à -40°C). Het is duidelijk dat de temperatuur ook gelijkmatig dient te zijn.

De opzet van een vrieshuis is uiteraard vergelijkbaar met die van een koelhuis. De voornaamste, graduele verschillen zijn: de isolatie van een vrieshuis is zwaarder; omdat het waterdampspanningsverschil tussen binnen en buiten groter is moet meer aandacht geschonken worden aan de dampdichte afwerking aan de warme zijde. Deze graduele verschillen t.o.v. gekoelde ruimten zijn ook herkenbaar in vriescellen, vrieskasten, vriesmeubelen in winkelbedrijven en in transportmiddelen voor gevroren levensmiddelen.

Er is een belangrijke ontwikkeling geweest naar centrale vriesopslagplaatsen van grote capaciteit: vriesvemen, z.g. Locker plants (vriesboxencentrales) e.d. Dit zijn inrichtingen waarin men een vriesbox (loket, kluis, kamer of zaal) kan huren voor de opslag van levensmiddelen in allerlei hoeveelheden, ook voor direct huishoudelijk gebruik. In het laatste geval hebben de boxen hebben bijv. een grootte van 100 à 200 liter, het aantal boxen bedraagt bijv. 200 . Deze ontwikkeling is echter gestopt doordat diepvrieskasten en -kisten voor huishoudelijk gebruik relatief goedkoop geworden zijn.

Grotere vriesvemen en locker plants zijn voorzien van een voorbereidingruimte en een invriescel of zelfs een vriestunnel. De verpakte gevroren artikelen worden daarna in de gekoelde boxen opgeslagen. In kleinere inrichtingen vriest men in de boxen. De vele variaties op het gebied van locker plants hebben slechts ten dele een technologische achtergrond; logistiek en organisatorische factoren spelen doorgaans de hoofdrol.

7.8 Ontdooien

Tenslotte wordt wil deze paragraaf melding maken van twee nauw met het vriezen verband houdende problemen. Ontdooien van levensmiddelen zonder het product bloot te stellen aan hoge temperaturen, die nadelig kunnen zijn voor de kwaliteit, is meestal een langdurig proces. Aan vrieshuizen zijn vaak *temperercellen* verbonden, dit zijn droge ruimten waarin de uit het vrieshuis komende artikelen geleidelijk een wat hogere temperatuur krijgen. Men maakt van deze cellen gebruik om te voorkomen dat *condensatie* uit de buitenlucht plaatsvindt op de zeer koude producten. Ten tweede is het kundig *ontdooien* van gevroren halffabrikaten als vlees, blokken vis en bijv. bakkerijwaren een probleem op zichzelf vanwege de relatief lange duur (waarom?). Op het ontdooien van vis is reeds ingegaan in par. 6.4.5 Voor brood en andere producten die niet mogen uitdrogen worden wel ontdooicellen gebruikt waarin matig warme, vochtige lucht circuleert. Hierbij treedt in lichte mate condensatie op, wat gunstig is voor de warmteoverdracht, maar afhankelijk van de volgende bewerkingen moet worden opgelet dat het product niet al te veel vocht opneemt. Waar dit geen probleem is wordt ook wel vacuümstoom gebruikt. Deze zorgt voor een zeer effectief ontdooiproces vanwege zijn zeer hoge warmteoverdrachtscoëfficiënt.

Het industrieel ontdooien van grote blokken vlees en vis wordt tegenwoordig vaak uitgevoerd met *diëlectrische verwarming* in magnetronovens. Het principe hiervan is dat het te ontdooien blok tussen twee platen wordt gebracht, die elektrisch zijn verbonden met een hoog-frequent generator. Het blok te ontdooien

materiaal met de platen vormen samen een condensator. Door de hoogfrequente wisselspanning zullen moleculen met een dipool in het materiaal voortdurend van richting veranderen en door het gehele blok wordt mechanische moleculaire energie in warmte omgezet. Watermoleculen hebben een grote dipool en reageren dan ook het sterkst binnen vochtige producten. Echter een probleem, zeker bij ontdooien, is de ongelijkmatigheid van deze verwarming. Deze wordt veroorzaakt zowel door de nogal eens gebrekkige technische uitvoering waardoor het diëlectrische verhittingsveld ruimtelijk ongelijkmatig is, als wel door het grote verschil in diëlectrische constante tussen ijs en water. Voor ijs is deze 4 en voor water ca. 80. Hierdoor is de verwarmingssnelheid van reeds ontdooide delen ruwweg 20 keer hoger dan van nog bevroren delen. Bij dit ongunstige verschil in diëlectrische constante komt dat ijs warmte 4 keer beter geleid dan water dat dus relatief isolerend werkt en de warmte maar langzaam door kan geven aan het ijs. Hierdoor ontstaan grote temperatuurgradiënten waardoor stoombellen naast ijskristallen kunnen optreden. Dit doet de structuur en kwaliteit van het product gewoonlijk geen goed. Veelvuldig stoppen van het diëlectrische verhittingsveld of optimaliseren van de energie input om tijdig de temperatuur verschillen in het materiaal te vereffenen zijn hier een vereiste. Indien goed uitgevoerd geeft magnetron verwarming een grote versnelling van het ontdooi-proces.

7.9 Magnetron Verhitting

→ geen kantarmen-stap

Verhitting van vochtige levensmiddelen met microgolven in magnetrons is algemene praktijk geworden in industrie en huishoudens. Opwarmen, koken, drogen en ontdooien worden succesvol uitgevoerd. Met name ontdooien van levensmiddelen zonder het product bloot te stellen aan te hoge temperaturen, die nadelig kunnen zijn voor de kwaliteit, is meestal een langdurig proces. Magnetron verwarming is een elegante oplossing voor dit probleem.

Doordat het warmte geleidingsvermogen van water lager is dan van ijs ontstaat er bij conventioneel ontdooien rondom het product een relatief isolerende laag waar doorheen de smeltwarmte moet worden aangevoerd. Hierom worden producten als vlees en vis, die kort na slacht of vangst zijn diepgevroren, voor de verdere verwerking vaak ontdooid met microgolven die warmte-energie in het product binnen brengen, niet door geleiding door de wand maar door intern opgewekte moleculaire wrijvingswarmte. Met voldoende elektrisch vermogen kan zo het dooi-proces sterk versneld worden.

Microgolven verhitten het gehele product dmv *bestraling* met microgolven. Dit zijn hoogfrequente radiogolven met frequenties 915 megahertz (MHz) en 2450 MHz. Deze frequenties volgen een internationale standaard om geen storingen te geven bij het telecommunicatie verkeer, waarbij andere frequenties gebruikt worden. De penetratiediepte van microgolfstraling is afhankelijk van de dichtheid van het materiaal. Gebruikelijke materialen, zoals vochtige levensmiddelen, geven ongeveer 13 cm diepte voor 915 MHz en 5 cm diepte voor 2450 MHz.

Microgolven verhitten als ze worden geabsorbeerd door polaire stoffen. De diëlectrische constante van een stof geeft het vermogen aan om microgolven te absorberen. Polaire, asymmetrische, diëlectrische moleculen bewegen mee met het aangelegde, snel wisselende elektrische veld, respectievelijk 915 en 2450 miljoen keer per seconde. Door intermoleculaire wrijving ontstaat warmte. De warmte ontwikkeling zal gelijkmatig plaatsvinden door het hele product, afhankelijk van de diëlectrische moleculen verdeling en het aangelegde veld van microgolven. In levensmiddelen zijn het vooral de vrije watermoleculen die voor de wrijving zorgen. Wel moet rustig en gelijkmatig worden verhit omdat de diëlectrische constante van water ca 20 maal hoger is dan die van ijs. Anders kan bij sterke verwarming het gevaar optreden dat binnen de levensmiddelenstructuur reeds ontdooide delen kunnen gaan koken terwijl andere delen nog bevroren zijn.

Hoofdstuk 8 RISICO'S BINNEN DE KOUDEKETEN EN MEER

8.1 Inleiding

Het belangrijkste risico in een koudeketen is gewoonlijk dat de temperatuur handhaving in gebreke blijft. De consequentie is dat de houdbaarheid van producten in de keten verlaagd wordt. Er bestaan diverse temperatuur richtlijnen voor levensmiddelen.

Op 10 januari 1991 werd de Warenwetregeling Diepgevroren Levensmiddelen van kracht, uitvoering gevend aan de eerdere EG-richtlijn 89/108/EEG van 21-12-1988. *Diepgevroren levensmiddelen* hierin zijn: "diepgevroren eet- of drinkwaren, andere dan consumptie-ijs, die worden verhandeld op een wijze waaruit blijkt dat zij dat kenmerk bezitten". Voor consumptie-ijs bestaat een apart warenwetbesluit. Diepgevroren producten mogen geen temperaturen hebben boven -18°C . Tijdens korte transporten is -15°C toelaatbaar.

Diepvriezen wordt omschreven als "het bevroeringsproces waardoor zo snel als nodig is de maximale kristallisatiezone wordt overschreden, met het gevolg dat na thermische stabilisatie de temperatuur overal in de waar zonder onderbreking gehandhaafd blijft op -18°C of lager".

Over de *temperatuur* van het product wordt gesteld dat "de temperatuur van diepgevroren levensmiddelen moet tijdens de verhandeling (vanaf de bereiding tot de aflevering aan de eindverbruiker) overal in het product op ten hoogste -18°C worden gehandhaafd, echter a) de temperatuur mag tijdens het vervoer gedurende een korte tijd ten hoogste -15°C bedragen en b) ten hoogste -12°C bedragen in winkelmeubelen voor de verkoop aan de eindverbruiker alsmede bij de levering aan de eindverbruiker. Deze regels zijn in beweging want het oplopen van de temperatuur in winkelmeubelen is eigenlijk ontoelaatbaar. Wel geeft dit aan dat op het einde van de koudeketen het snelst kwaliteitsverlies optreedt. Helaas worden in de praktijk van hoger hand dit soort temperaturen weinig gecontroleerd.

In België, waar op 26 januari 1991 een vergelijkbare warenwetregeling werd ingevoerd, worden de Nederlandse 'diepgevroren levensmiddelen' gewoon 'diepvriesproducten' genoemd. Daar mag de temperatuur tijdens het distributievervoer en in de winkelmeubelen oplopen tot -15°C ; dit in afwijking met Nederland waar de temperatuur mag oplopen tot -12°C . Daarbij komt dat vrijwel steeds onbekend is, hoe lang het product in winkelmeubelen verblijft. Als binnen de verkooppunten niet zeer consequent het first-in-first-out principe wordt gehandhaafd kunnen grote spreidingen in verblijftijd ontstaan, en dus in kwaliteit van het product. Hieruit wordt duidelijk dat aan het einde van de koudeketen de wettelijke regelgeving opwarming toestaat, terwijl er geen maximale tijd gesteld wordt aan het verblijf van een diepvriesproduct in het verkoopkoelmeubel. Theoretisch is het dan ook heel goed mogelijk dat de houdbaarheid in de winkel overschreden wordt en de eindgebruiker strikt genomen reeds bedorven waar aankoopt.

Sinds 1 maart 1993 zijn voor bederfelijke producten wettelijk toegestane temperaturen in Nederland vastgesteld. Voor bijna alle verse levensmiddelen is dit 7°C , alleen voor kip en kipproducten is dit 4°C . Vanuit het oogpunt van goed conserveren is 7°C eigenlijk iets te hoog want men moet ook rekenen met temperatuur fluctuaties in de meeste koelmeubels en het effect van product er uithalen voor deelgebruik of keuring en even later weer er in zetten. De productbewaarduur is bij 2°C de factor Q5 maal langer dan bij 7°C . Q5 ligt meestal in de orde van 1,5 tot 2.

8.2 Temperatuurverloop

Voorbeelden van de tijd-temperatuur historie gedurende de levenscyclus van een diepvriesproduct gebaseerd op praktijkgegevens passeren in de les de revue. (Figuren toevoegen). Hieruit blijkt concreet dat in de praktijk niet zelden toegestane temperaturen in de vriesketen flink worden overschreden. Ook in de versketen laat de temperatuur nogal eens te wensen over.

8.3 Ontwikkelingen rond de koudeketen

Bij het overzien van de ontwikkelingen rond de koudeketen als geheel, kan worden geconcludeerd dat de conservering van bederfelijke producten effectief verloopt door de toepassing van koude. De laatste decaden zijn veel belangrijke vorderingen gemaakt in de organisatie van koudeketens. Veel ervaring is opgedaan met de specifieke keuzes per productgroep van optimale bewaartemperaturen, het beter handhaven daarvan de algemene behandeling van gekoelde en bevroren voedingsmiddelen. Door nieuwe technische ontwikkelingen, meestal gestimuleerd door de steeds verdergaande schaalvergroting en betere logistiek, en de HACCP eisen zijn voedselveiligheid, kwaliteit en houdbaarheid in het algemeen belangrijk verbeterd. (Een uitzondering met een andere oorzaak is wellicht de achteruitgang van de malsheid van het meeste rundvlees door snellere koeling).

Bij het opstellen van de te volgen protocollen van procesuitvoering en bewaring dienen vooral de kritische punten extra aandacht te krijgen. *Kritische* punten in een koudeketen waar het de producttemperatuur betreft zijn vooral de overslag- en transportmomenten in de keten. Deze treden op in de handel bij de laatste stappen van de keten, van en naar de grossier en detaillist en in de gekoelde verkoopkabinetten van winkeliers, bij de aankoop, transport en opslag direct voorafgaand aan verbruik door de consument. Koudeketen van voedingsmiddelen vertonen vrijwel zonder uitzondering het grootste kwaliteitsverlies per tijdseenheid op het eind van de keten. Dit is doordat bewaartemperaturen op het verkooppunt en na aankoop door de consument onvoldoende goed worden gehandhaafd, gewoonlijk als gevolg van onachtzaamheid en onbekendheid met risico's en mogelijke kwaliteitsverliezen. Ook spelen bij winkeliers vaak economische factoren een belangrijke rol, vooral het plank- of koelruimtenrendement. Hoe verhouden zich de investeringskosten, de exploitatiekosten en het vloerrendement? Is het displayoppervlak gunstig te noemen?

Ook de hygiënische behandeling van het bederfelijke product is in dit deel van de keten een punt van niet-aflatende zorg. Dit risicopunt hangt nauw samen met een goed beheer van de bewaartemperaturen.

8.4 Verpakking en etikettering

→ geen andere stof

Verpakking speelt een belangrijke rol bij het kwaliteitsbehoud van producten. In het algemeen heeft verpakking de volgende functies die het product bescherming bieden tegen:

- uitdroging;
- herinfectie (hygiëne);
- mechanische schade;
- lichtinvloeden voor het handhaven van gewenste kleur;
- fluctuerende invloeden, buffering bij temperatuurschommelingen bijv.;
- informatiedrager;
- bescherming tegen condenswater als het dauwpunt wordt bereikt.

De laatste functie is belangrijk voor producten die uit koeling of diepvries komen. Met behulp van het Mollier diagram kan worden voorspeld welke combinaties van temperatuur en luchtvochtigheid condensvorming (dauw) op de producten geeft.

Als het een consumentenverpakking betreft is de functie *informatiedrager* belangrijk (info over product, samenstelling en voedingswaarde, productiedatum of uiterste verkoopdatum). Ook heeft de verpakking dan de niet onbelangrijke functie van het aantrekkelijk maken van het product. Bijkomende eisen aan een verpakking kunnen zijn de mate van doorlaatbaarheid voor gassen (vers levend product bijv.), en de vorm in verband met stapelbaarheid en transportlogistiek. Grootverpakking maakt een gecentraliseerde voorbereiding en vereenvoudiging van de distributie mogelijk.

Voor gekoelde en bevroren producten komen hier nog bij extra eisen aan mechanische sterkte van de verpakking en het goed bestand zijn tegen fluctuerende condities van temperatuur en vocht. Vocht maakt karton- en papierverpakkingen zacht.

Ten aanzien van uitdroging van het product; dit kan zowel vochtverlies naar buiten de verpakking zijn als wel uitdroging in de verpakking. Dit laatste is berucht voor losgestorte diepvriesproducten in ruime

verpakkingen. Na enige tijd bewaring zet zich ijs af buiten het product binnen de verpakking en kan het product zelf taai worden door vochtverlies. De voornaamste oorzaak van deze permanente ijsophoping is de niet-constante bewaartemperatuur. Door het beginsel van Watt (verdamping, waterdamptransport en condensatiesublimatie) verplaatsen ijs en onbevroren water zich naar de productbuitenzijde die bij iedere koelcyclus weer wordt afgekoeld. Het transport vice versa tijdens de langzame opwarming tussen de koelcycli door is zeer traag vanwege de dan geringe temperatuurverschillen. Diffusie van vocht vindt vooral plaats door diffusie in de vaste productfase en door gasdiffusie in de poriën van het product en in de gasfase.

De beste remedie hiervoor is een nauw aansluitende verpakking zonder luchtholten, dus bijv. vacuümverpakking. Dit laatste zal niet altijd goed mogelijk zijn door de uiteenlopende vorm en aard van de producten. Gunstige effecten zijn minder grote temperatuurverschillen toelaten in het opslagkabinet (betere temperatuurregeling en isolatie) en een lager temperatuurniveau waardoor diffusie minder snel verloopt.

Naast *vet papier* dat al langer daartoe in gebruik was, dateert het eerste verpakken van vlees en vleeswaren van ongeveer 1925 toen *cellofaan* in gebruik kwam. Na 1945 kwam hier een grote verscheidenheid aan materialen bij, voornamelijk kunststoffen. De specifieke eigenschappen van kunststoffen zijn met name in de vleessector van grote betekenis gebleken. Bij het langer bewaren van grotere stukken vlees moet zuurstoftoetreding worden geremd om verkleuring (de vorming van metmyoglobine) te voorkomen. De afwezigheid van zuurstof (vacuüm of stikstof) is ook gewenst bij de verpakking van vleeswaren om te voorkomen dat nitrosoverbindingen verkleuren. Hierbij moet ook licht worden geweerd. Ook geldt dit voor langdurige opslag van vlees in bevroren toestand. Naast sterkte, vormbaarheid rond het product, en goed afsluitbaarheid dient het verpakkingsmateriaal als eigenschap een zeer geringe zuurstofdoorlaatbaarheid te hebben.

Het aantrekkelijke van verpakt vlees en vleeswaren is dat ze in een voor de consument passende vorm kunnen worden gepresenteerd. Uit efficiencyoverwegingen zal de verpakking veelal centraal worden uitgevoerd. Deze centralisatie verhoogt echter het risico voor de volksgezondheid omdat grotere hoeveelheden vlees via mens, gereedschap, tafels, e.d. gemakkelijk met elkaar in contact kunnen komen. Om kiemgetallen te verkleinen is het algemene voorschrift dat de temperatuur op de verpakkingsafdeling maximaal 10 °C moet zijn.

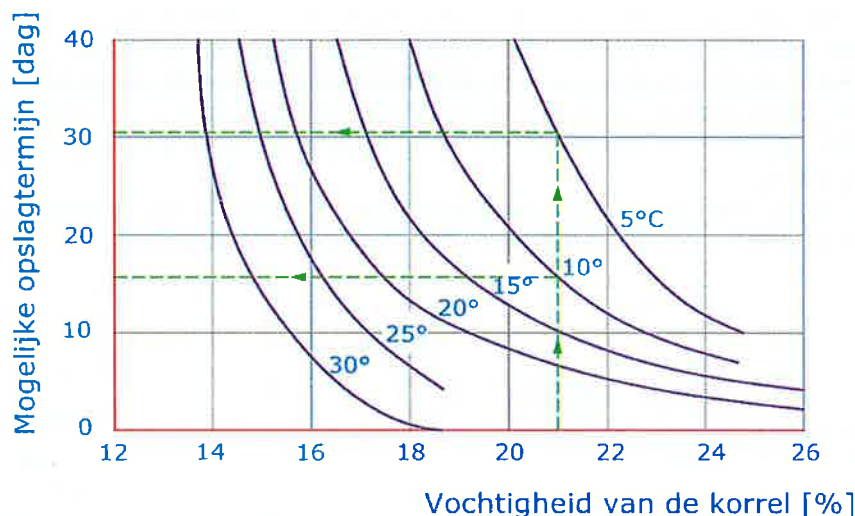
Hoofdstuk 9 BIJZONDERE TOEPASSINGEN VAN KOUDE

9.1 Graankoeling

Voor de veilige opslag van granen en andere zaden dienen deze voldoende droog te zijn. In klimaten in N.W.-Europees met bedrijfsruimte- en kamertemperaturen tussen 15 en 20°C moet tarwe een vochtgehalte hebben van 14 gewichtsprocenten of lager om zonder kans op bederf langdurig te kunnen worden bewaard. Bederf betekent hier meestal beschimmelings van de graankorrels; beschadigde korrels waarbij de huid is beschadigd beginnen altijd. De veilige grens van evenwichtsrelatieve vochtigheid (ERV) van tarwe bij dit vochtgehalte en kamertemperatuur is 70 %, ofwel $a_w = 0.7$. In vochtiger klimaten echter is een goede droging van voedingsgranen vaak een probleem, en mocht de droging bij hogere temperaturen toch goed zijn verlopen dan neemt het graan bij opslag weer makkelijk vocht op uit de omgevende lucht.

Op de dorpsmarkt in tropisch Java bijv. komt het gedurende de regentijd vaak voor dat "droge" voedingsmiddelen een ERV van 85 - 90 % laten zien. De houdbaarheid van deze producten is dan ook kort. Voorraden kun je om deze reden niet aanhouden. Hierom is op het Javaanse platteland, waar koelkasten tot voor kort geheel afwezig waren, de marktdag elke vier dagen. Echter bewezen is dat ook onder dergelijke omstandigheden economisch met succes koeling kan worden toegepast om granen te verduurzamen.

Door verlaging van de graantemperatuur wordt de groei van micro-organismen geremd. Een klein gunstig bijeffect van koeling is dat ook de ERV van het graan iets daalt bij gelijk watergehalte. Figuur 9.1 geeft weer voor tarwe het globale verband tussen opslagtemperatuur, bewaarduur en vochtgehalte weer (voor achtergrondkennis zie hoofdstuk 6 van vak A1). Afhankelijk van de toegepaste opslagtemperatuur kan nu het voor opslag nog juist veilige vochtgehalte (14 gew.% bij 20°C) stijgen tot bijv. 18 gew.% bij 10 °C opslagtemperatuur.



Figuur 9.1 Onderlinge afhankelijkheid van veilige opslagduur, temperatuur en vochtgehalte van tarwe.

Voor de praktijk heeft een Zwitsers bedrijf, Escher Wyss, het z.g. *granifrigor* systeem voor graankoeling ontwikkeld dat op dit principe berust. Koeling en gedoseerde beluchting zorgen ervoor dat vochtige granen veel langer houdbaar blijven. Granifrigor-installaties zijn gebouwd in meerdere subtropische landen waar klimatologische omstandigheden hiervoor gunstig zijn.

Bij toepassing van dit type graankoeling in de praktijk dient er voor gewaakt te worden dat veilige vochtgehalte - temperatuur combinaties ook daadwerkelijk worden gehaald. Beluchting en koelvermogen dienen voldoende te zijn om de warmte als gevolg van respiratie, eventuele inlek af te voeren. Is dit niet of

onvoldoende het geval dan kunnen *verschimmeling* of zelfs broei optreden. Vergaande broei wordt gevolgd door *brand* (dat niet alleen in hooischelven optreedt) waardoor de lading verloren gaat.

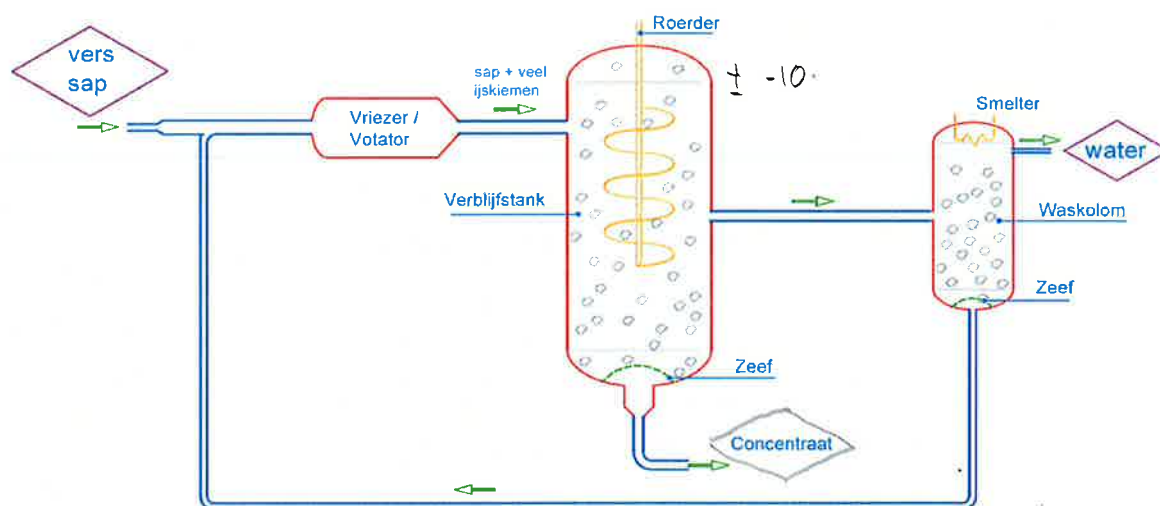
Broei is een vergaande vorm van zelfopwarming in organische bulkgoederen (hooibergen, graansilo's ed.) die steeds begint als gevolg van excessieve groei van bacteriën. Deze groei wordt mogelijk door een hoog (lokaal) vochtgehalte in combinatie met beschadigde grassprietten of graankorrels. Respiratiewarmte van het product zelf helpt bij de opwarming doch speelt een ondergeschikte rol wat betreft de hoeveelheid ontwikkelde warmte. Tijdens de groei van micro-organismen ontstaat vocht en warmte die het proces verder versterken. Kan de nu ontstane warmte onvoldoende afgevoerd worden (hooi en granen hebben een relatief laag warmtegeleidingsvermogen) dan gaat de groei van bacteriën door in successies van steeds hogere temperatuur minnende soorten. Dit proces versnelt zo zichzelf, totdat bij het bereiken van temperaturen boven 85°C de chemische zelfoxidatie als drijvend mechanisme het proces overneemt en er even later bij nog hogere temperaturen ontbranding kan gaan optreden.

9.2 Vriesconcentreren

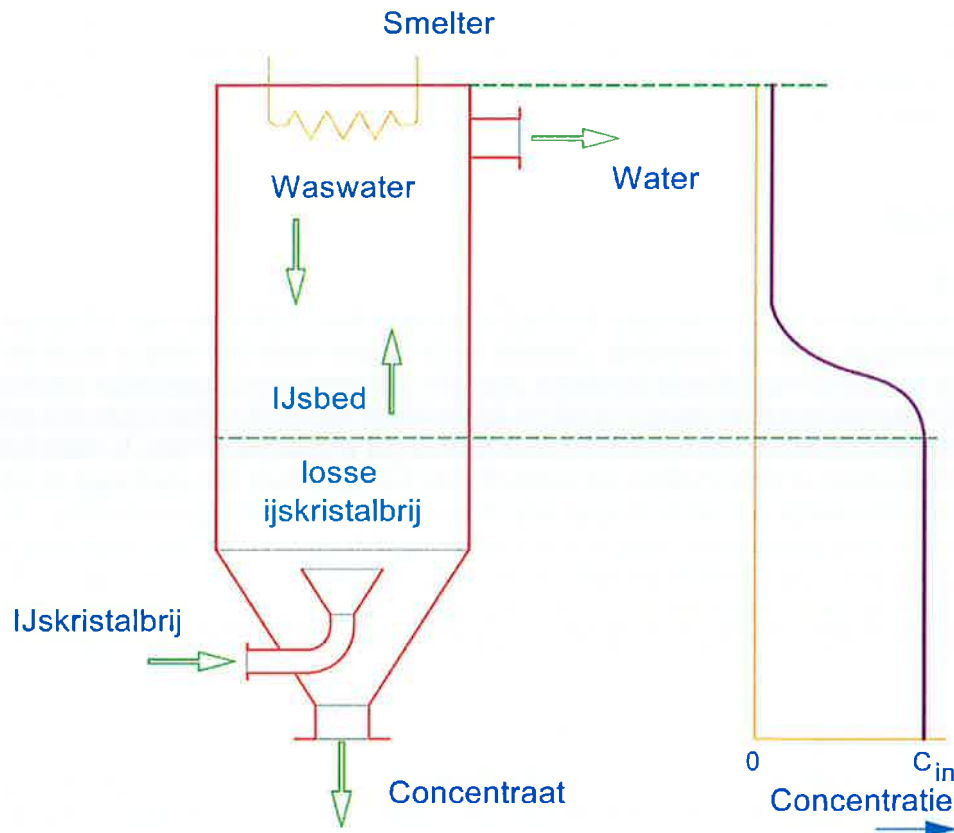
Omdat langzaam aangroeiende ijskristallen gewoonlijk heel zuiver H₂O zijn is het proces vriesconcentreren een logische techniek om oplossingen te ontwateren. Het principe is ijskristalvorming door bevriezing gevolgd door afscheiding van het gevormde ijs. In de industrie wordt deze techniek toegepast om oplossingen te concentreren. Dit zijn vaak vloeibare voedingsmiddelen zoals vruchtensappen, koffieextract of andere processtromen met een teveel aan water. Ook wordt deze techniek wel gebruikt om zeewater te ontzilten en water te winnen uit afvalstromen. De methode is voordelig voor producten die hoge temperaturen niet kunnen verdragen. Vergeleken met andere methoden van concentreren, zoals membraanprocessen en verdampen via multiple effect of met behulp van dampcompressie, is vriesconcentreren als proces relatief duur zodat het vooral wordt toegepast voor veeleisende, hoge kwaliteit producten die de toegevoegde waarde kunnen verantwoorden.

De processtappen voor vriesconcentreren van sinaasappelsap zijn: Opmenging met terugkerende onvoldoende ingedikte sapstroom → snelle afkoeling in votator geeft veel kleine kiemen → aangroei ijskristallen in langzaam geroerde holding tank → afscheiding ijskristallen die via waskolom worden gespoeld en als water afgevoerd; het al behoorlijk geconcentreerde spoelwater wordt weer opgemengd met vers sap dat de votator ingaat /// De andere stroom uit de holdingtank is → sapconcentraat van ruim 40% droge stof, het eindproduct.

Figuur 9.2 geeft dit proces schematisch aan. De waskolom in dit proces is het eigenlijke hart van de vast-vloeistof scheiding. Figuur 9.3 toont dit schematisch de waskolom en zijn werking.



Figuur 9.2 Vriesconcentreerproces voor vers sapconcentraat (Grenco).



Figuur 9.3 Waskolom voor scheiding van ijs en concentraat in het uitvriesproces.

Twee belangrijke voordelen van vriesconcentreren zijn de lage temperatuur waardoor warmtegevoelige producten geen schade oplopen, en de hoge selectiviteit van het proces dat in één scheidingstrap zeer zuiver water produceert. Andere specifieke voordelen zijn:

- de lage procestemperatuur, meestal tussen het vriespunt en -15°C afhankelijk van het product, waardoor degradatie van het product vrijwel onmogelijk is en microbiologische en enzymatische activiteit zeer laag zijn;
- de afwezigheid van een vloeistof-damp grensvlak en het geheel opgesloten product garanderen dat er geen verliezen aan vluchtige aromastoffen zijn, een aanmerkelijk voordeel boven andere concentratiemethoden;
- door een waskolom te gebruiken voor de afscheiding van ijs kunnen verliezen aan opgeloste stof worden uitgesloten.

Vergeleken met een verdampingsconcentratieproces lijkt het dat vriesconcentreren energetisch gunstiger is dan verdampen omdat de verdampingswarmte 2257 kJ/kg bedraagt en de kristallisatiewarmte slechts 333 kJ/kg . Echter door de zgn. multiple-effet verdamping en/of dampcompressie toe te passen wordt dit voordeel meer dan teniet gedaan, temeer nog omdat koude-enthalpie enige malen duurder is dan warmte-enthalpie. Bovendien is de investering in een vriesconcentreer installatie van vergelijkbare capaciteit aanzienlijk duurder dan een verdamper.

De totale ontwateringskosten (per kg verwijderd water) zijn voor vriesconcentratie aanzienlijk hoger dan voor verdampen. Hierom wordt het proces in de praktijk vooral toegepast bij duurdere producten waar verlies van vluchtige stoffen een probleem kan zijn (vruchtensappen, koffie-extract) en in gevallen waar het onderdeel is van een energetisch geïntegreerd proces (hoge kwaliteit zoet water bereiding bijv.) waarbij goedkope energie wordt aangewend.

Illustraties bij het Grenco vriesconcentreerproces waarin de procesgang staat weergegeven zullen besproken worden. Belangrijke momenten in het proces zijn: snelle afkoeling waarbij veel kleine kiemen

ontstaan die vervolgens rustig aangroeien tot perfecte ronde ijskristallen die makkelijk afgescheiden kunnen worden en vervolgens in de waskolom (de selectiviteit van het scheidingsproces 1) gespoeld en gesmolten worden. Voor de kwaliteit van het concentraat zijn van belang recyclingpercentage, verblijftijdspreiding en producttemperaturen in het proces.

9.3 Vriesdrogen

9.3.1 Inleiding

Bij vriesdrogen wordt water uit een bevroren product afgevoerd door sublimatie van het aanwezige ijs; zodra alle ijs verdampt is volgt de nadroging. Doordat het te drogen materiaal steeds wordt behandeld bij lage temperatuur is deze droogmethode bij uitstek geschikt voor temperatuurgevoelige producten. Doordat het vocht uit het materiaal wordt verdampt vanuit de ijsfase heeft het eindproduct vaak een poreuze structuur. Dit hangt meestal af van de producttemperatuur tijdens het vriesdroogproces. Is deze beneden de glasovergang temperatuur of bij kristallijne samenstellingen het eutectisch dan gedraagt de opgeloste stof zich als vaste stof. Afhankelijk van de te drogen laagdikte duurt het vriesdroogproces lang. De oorzaak hiervan is dat de verdampingswarmte moet worden toegevoerd in vacuüm bij zeer lage waterdampdruk en lage temperatuur; ijs gaat over in damp zonder dat de vloeibare toestand wordt doorlopen. De gevormde waterdamp stroomt via het beginsel van Watt naar een koudere condensor en wordt daar in de vorm van ijs gecondenseerd. Het vriesdrogen wordt uitsluitend als batch (niet-continue) proces uitgevoerd.

9.3.2 Vriesdroogproces

Dit proces verloopt in meerdere stappen: de grondstof bevroren en afkoelen tot de droogtemperatuur; daarna wordt deze gedroogd. Dit drogen verloopt in twee stadia: het primaire drogen (sublimeren van ijs) en het secundaire (na)drogen.

De *vriesstap* is vaak bepalend voor de structuur van het eindproduct. Ook kunnen hierbij andere veranderingen optreden die nadelig zijn voor de kwaliteit van het product. Door de ijsvorming neemt de concentratie van opgeloste stoffen toe. Bij langzame warmteonttrekking is er aanvankelijk weinig kiemvorming, er ontstaan dan vooral grote ijskristallen. De overblijvende oplossing wordt steeds geconcentreerder, alvorens de opgeloste stoffen hun oplosbaarheidsgrens bereiken en gaan droogvallen. Dit laatste kan zijn dat ze uitkristalliseren of in amorfe vorm neerslaan. Voor sommige componenten kan dit funeste gevolgen hebben. Eiwitten bijvoorbeeld kunnen denatureren, dwz. hun natieve structuur verliezen; hun oplosbaarheid gaat dan meestal verloren. Een voorbeeld is caseïne in melk dat hierdoor onoplosbaar wordt. Bij snelle warmteonttrekking ontstaan veel kleine kristallen, en een hoge concentratie aan opgeloste stoffen bestaat slechts kort; het product kan minder destabileren of in het geheel niet. De ijskristallen kunnen ook bepaalde structuurelementen (weefsel, cellen, emulsiedruppels) van het product beschadigen. Zo kan bijvoorbeeld ook bij snel invriezen niet worden vermeden dat bijv. vetbolletjes van melk worden beschadigd, waardoor er naderhand ontmenging van vet kan optreden.

Het *sublimeren* van ijs uit het materiaal verloopt bij zeer lage waterdampdruk. Deze lage druk wordt bereikt door te drogen in vacuüm (vacuümdroging). Principieel is het mogelijk om te drogen bij atmosferische druk in zeer droge lucht. In dit laatste geval is het, in verband met de vrije weglengte van de gasmoleculen, noodzakelijk de damp af te voeren door de lucht zeer snel te laten circuleren, reden waarom deze werkwijze in de praktijk niet wordt toegepast (windenergie, wegblazen van product).

De aan het droogfront benodigde sublimatiewarmte, ca 2800 kJ/kg ijs, moet worden aangevoerd bij lage temperatuur. Meestal wordt de warmte toegevoerd door een verwarmend oppervlak, door infrarode straling of microgolven. Om de gewenste sublimatietemperatuur bij het drogen te handhaven moeten warmte- en massatransport met elkaar in evenwicht zijn. Het warmtetransport gaat door de bevroren laag, het massa-transport (de dampafvoer) geschiedt door de gedroogde laag. De factoren die deze transporten beïnvloeden zijn dus van belang voor de sublimatiesnelheid.

De droogduur is in het algemeen evenredig met het kwadraat van de dikte van de te drogen laag. Het verschil in dampspanning bepaalt de droogsnelheid, en daartoe is een zeer lage druk gewenst. Aan het ijsfront heerst een verzadigde dampspanning bij de daar heersende temperatuur. Onder invloed van het dampdrukverschil stroomt de damp naar het vrije oppervlak van het drogende materiaal. Bovendien: hoe

lager de druk in de droogruimte, des te geringer is de weerstand die de dampmoleculen ondervinden (echter ook hoe slechter de warmteoverdracht via de gasfase en hoe langduriger het droogproces). De totaal druk (vnl. waterdamp) in de sublimatieruimte ligt gewoonlijk tussen 100 en 10 Pa.

Door deze ongunstige omstandigheden verloopt het vriesdroogproces langzaam; het duurt vele uren voor er een evenwichtstoestand is bereikt en al het materiaal een voldoende lage dampspanning heeft. Het droogfront verplaatst zich van het vrije oppervlak naar de verwarmende wand, het watergehalte is daardoor aan het vrije oppervlak het laagst. Om de aanvankelijk inhomogene waterverdeling homogeen te laten worden en voorts nog een deel van het niet gesublimeerde, hardnekkig gebonden water te verwijderen, wordt het materiaal nagedroogd. Dit nadrogen gebeurt uiteraard ook bij zeer lage druk (< 100 Pa), maar meestal bij oplopende temperaturen; afhankelijk van de warmtegevoeligheid van het droge product kan dit maximaal $30 - 50^{\circ}\text{C}$ belopen. De nadroogduur, als alle ijs verdampt is, bedraagt vaak $30 - 40\%$ van de totale procesduur van 20 tot 50 uur. Sommige medicijnen en serums die erg gevoelig zijn worden afgebroken zodra ze kamertemperatuur hebben bereikt en nagedroogd bij lage temperatuur met fosforpentoxide, zeer droog silicagel of andere droogmiddelen.

9.3.3 Evaluatie

Vriesdrogen heeft enkele grote *voordelen* die het proces aantrekkelijk maken voor het drogen van allerlei gevoelige producten en voor enkele levensmiddelen (koffieextract, soeparoma's, kruiden ed.):

- het proces verloopt bij zeer lage temperatuur: alleen het van het ijs bevrije deel van het product wordt aan wat hogere temperaturen blootgesteld. Dit is gunstig voor gevoelige producten omdat hittebeschadiging uitgesloten is. De microbiële kwaliteit van het product verslechterd niet;
- het product wordt door sublimatie gedroogd en krimpt dan ook niet. Het gedroogde materiaal is meestal heel poreus en laat zich vaak gemakkelijk reconstitueren;
- de vluchtige bestanddelen (geurstoffen) worden vaak beter vastgehouden dan bij andere droogmethoden zoals bijv. verstuiwingsdrogen.

Nadelen van het vriesdrogen zijn dat de gevriesdroogde producten tengevolge van het-poreus-zijn grote volumes innemen en een groot oppervlak hebben, dus ook een groot reactieoppervlak. Dit is vooral nadelig i.v.m. autoxidatie van lipiden. Het gedroogde product kan bovendien hygroscopisch zijn. Daarnaast is het vriesdroogproces in vele opzichten een duur proces; het vraagt erg veel energie (vriezen, lage druk, lage condensatietemperatuur, periodiek ontdooien van de condensor) en het is tijdrovend vanwege de trage droging bij lage temperaturen.

Voor het drogen van melk en de meeste andere levensmiddelen is het vriesdroogproces door bovengenoemde bezwaren minder geschikt, ondanks het feit dat hoogkwalitatieve producten kunnen ontstaan. Daar komt nog bij dat gevriesdroogde melk na oplossen altijd vetogen te zien geeft en dus van mindere kwaliteit is dan verstuiwingsmelkpoeder. Ze is gevoelig voor oxidatie en hygroscopisch; aan de verpakking, die lucht- en waterdicht moet zijn, stelt dit hoge eisen. Alleen bijzondere en hoogwaardige producten zoals medische en farmaceutische producten, en verder voedingsmiddelen als moedermelk, speciale yoghurt en zure melkproducten, sommige babyvoedsel, vlees en groenten voor droge soepen, dieetproducten, koffie-extract e.d. worden gevriesdroogd.

Alleen voor speciale producten, die moeilijk of niet op een andere wijze kunnen worden geconserveerd wordt vriesdrogen toegepast. Soeparoma's en soepingrediënten als sjalotten, bouillon, gedroogde yoghurt voor het leger, koffie, voedsel voor de ruimtevaart, enzymen, serums en medicijnen zijn voorbeelden hiervan. Voorbeelden uit de zuivelindustrie zijn zuursels en andere entcultures omdat vriesdrogen een droogproces is dat relatief veel micro-organismen in leven houdt, al is het overlevingspercentage vaak niet veel hoger dan 15% . De overlevingskans van de zuurselbacteriën neemt toe als ze juist voor het vriezen worden geënt in ondermelk, of als ze worden geconcentreerd bijv. door centrifugeren, of als er lactose of andere suikers aan de zuurselcultuur wordt toegevoegd. Men kan zuursels ook lang bewaren in de vorm van diepvrieszuursels of diepvriesconcentraten wat als voordeel heeft dat het behoud van de activiteit van de bacteriën in bevroren toestand aanzienlijk groter is. In de praktijk kan de distributie van diepvrieszuursel echter problemen geven, zodat men soms toch aan gevriesdroogde zuursels de voorkeur geeft.

9.3.4 Uitvoering

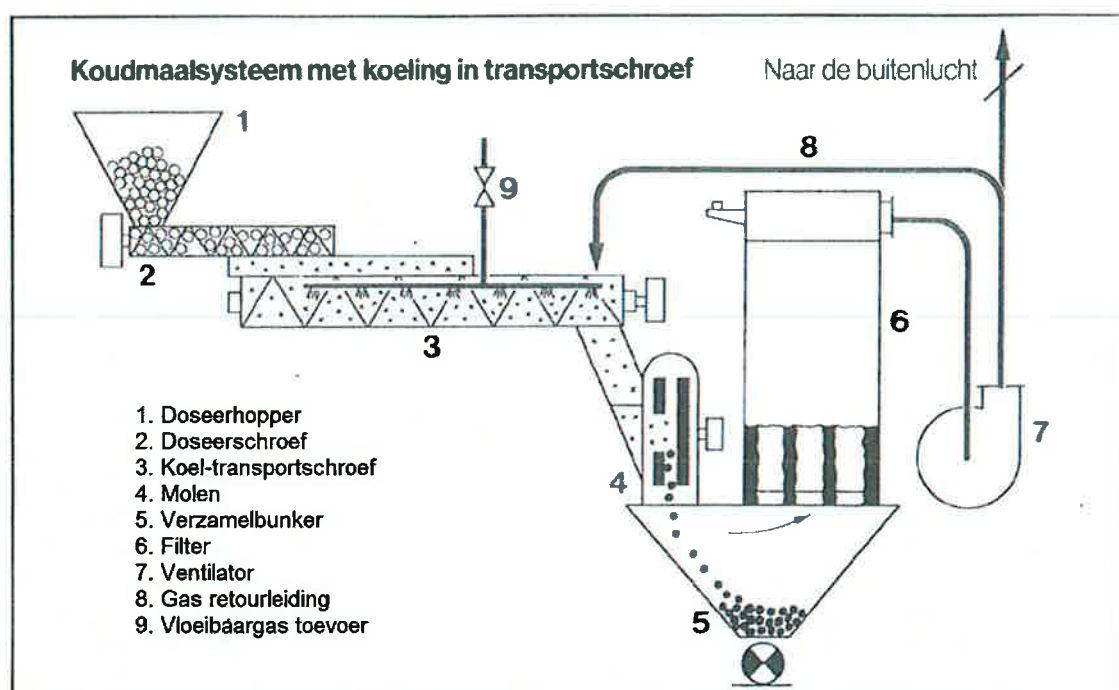
In de les zal de bouw en uitvoering van vriesdrogers worden behandeld. De vriesdroger is in principe een vacuümdroger die werkt bij lage droogtemperaturen. Het werkschema van dergelijke drogers is identiek aan dat van de vacuümkoeler die staat weergegeven in Figuur 5.7.

en vriesdroger en de tabel waterdampspanningen in mbar als functie van temperaturen beneden het vriespunt. Zoals vermeld worden vriesdroogprocessen steeds ladingsgewijs uitgevoerd. Pogingen om het proces continu te maken zijn tot nu toe vooral gestuit op de problemen rond de vacuümhandhaving (lekage) bij de continue productie. In de farmaceutische industrie wordt relatief veel gevriesdroogd. Hier moet vaak steriel worden gewerkt. Dit laatste is ook alleen mogelijk bij ladingsgewijze producties.

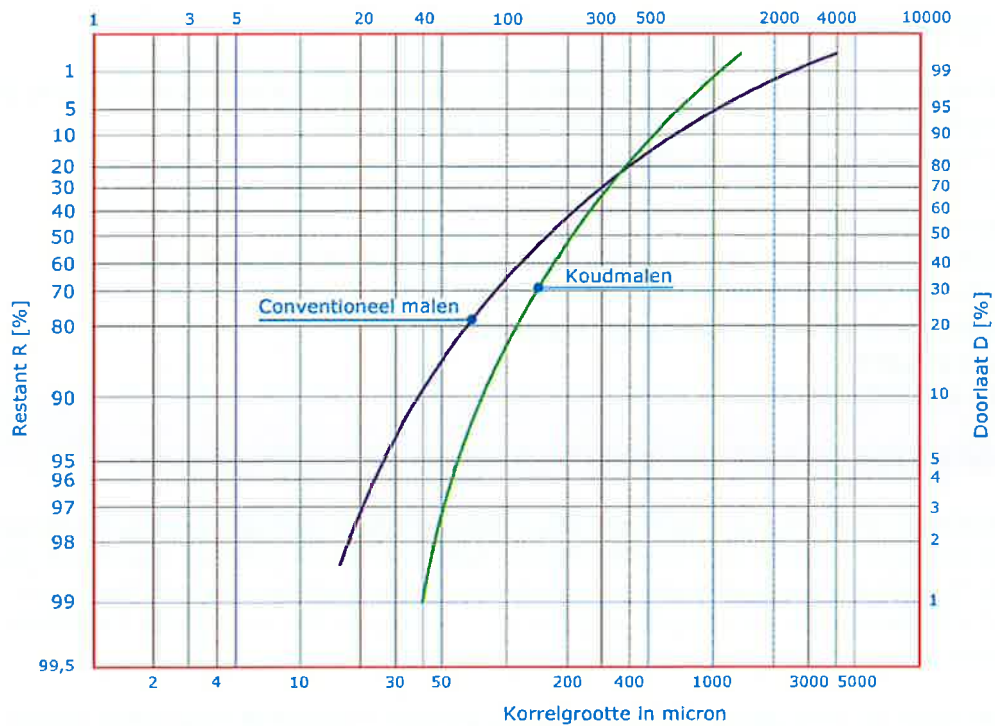
9.4 Koudmalen

Bij het malen of op andere wijze verkleinen van vaste materialen ontstaat warmte. Grotere brokken opgebroken tot kleinere stukken. Soms levert dit maalproces voor levensmiddelen geen problemen op, maar vaak is temperatuurverhoging ongewenst. Zo kunnen bij specerijen door de verhitting en deel van de etherische oliën verdampen, en bij gehakt en andere vleesproducten kan versmering optreden of worden producten te zacht en/of te taai om te kunnen malen. Bij zeer lage temperaturen worden veel stoffen hard en bros, hetgeen gunstig is voor het malen, want hierdoor ontstaat meestal een smallere deeltjesgrootteverdeling, zoals geïllustreerd in figuur 9.4, waarin het schema van een koudmaalsysteem is aangegeven samen met het maalresultaat, de korrelgrootte verdeling van het eindproduct. Vooraf aan de maalgang wordt de grondstof cryogeen gekoeld in de transportschroef.

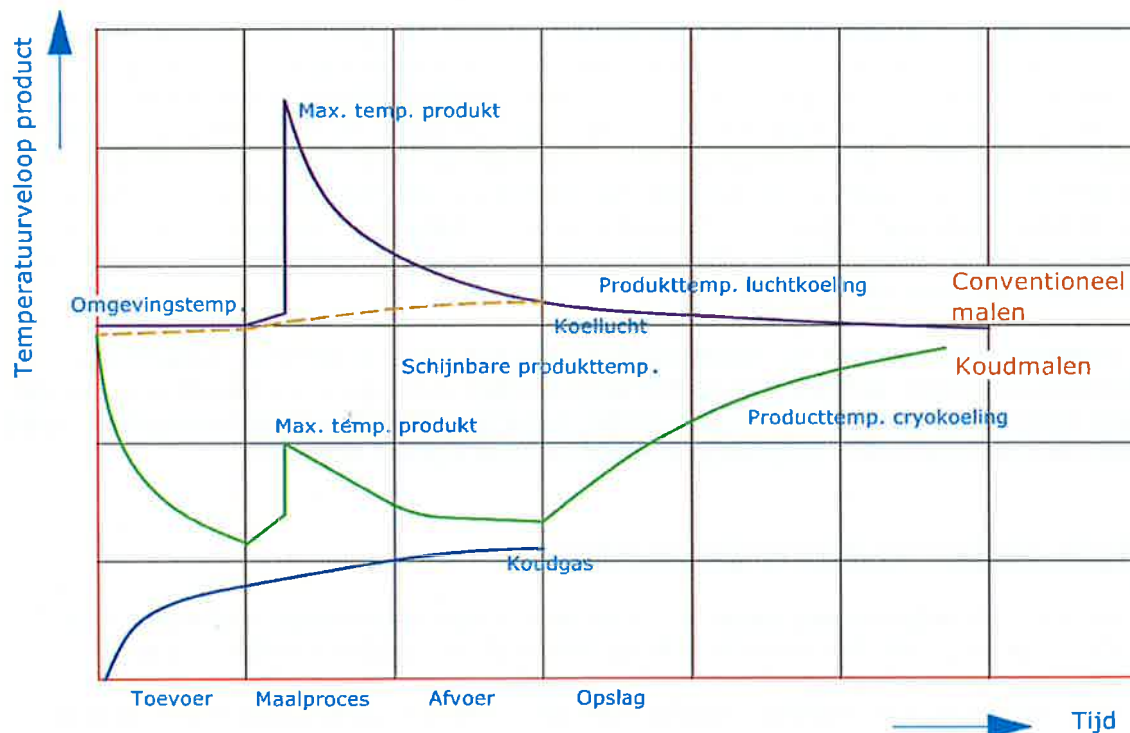
Door vóór het malen de grondstof te besproeien met vloeibare stikstof of koolzuur kan de temperatuur naar de gewenste waarde voor een goede maling worden gebracht. Bovendien kan hierdoor de warmte die vrijkomt worden afgevoerd. Koud malen levert dan ook vaak een beter product op: scherpe breukvlakken en een smallere deeltjesgrootte verdeling. Geen versmering treedt op waardoor de molen optimaal blijft werken. Een specifiek voordeel voor oxidatie gevoelige producten is dat de maling plaatsvindt in een inerte atmosfeer omdat de zuurstof grotendeels uit product en maalruimte verdreven is. Weinig of geen zuurstof zorgt er ook voor dat de kans op stofexplosies zeer laag is. Figuur 9.5 geeft het temperatuur verloop aan van een product dat een gewoon maalproces doorloopt en als het een cryogeen gekoeld maalproces ondergaat.



Figuur 9.4a Schema van koudmaalsysteem met koeling in de transportschroef



Figuur 9.4b Resultaat van korrelgrootte verdeling voor koudmalen versus niet-koudmalen.



Figuur 9.5 Globaal temperatuur verloop van een product tijdens gewoon malen en cryogeen malen.

De kosten van het cryogene koudemiddel worden meestal terugverdiend door een betere productkwaliteit, en een vaak wat lager energieverbruik met een hoger maalrendement. Daar de vereiste temperatuur sterk afhangt van het product zal het koudemiddel verbruik variëren. Meestal ligt dit tussen 0,25 en 1 kg koudemiddel per kg product.

vanaf hier geen den/denoch/mak.

9.5 Koude in aardolie- en chemische procesindustrie

In deze industrie wordt zeer veel gebruikt van allerlei koudesystemen. Uiteraard worden veel van de reeds behandelde systemen toegepast. Daarnaast valt ook te denken aan:

- Chemische reacties bij lage temperaturen;
- Koeltorens ;
- Koudgasprocessen;
- Luchtscheiding volgens Linde en andere processen die zuivere gassen opleveren;
- Aardgas met o.a. LNG in tankerse n LNG opslag;
- Gastankers met systemen voor terug-condensatie;
- Aardolie industrie;
- En vele ander systemen.

Door goed rond te kijken ontwaard men allerlei toepassingen van lage temperaturen.

Andere toepassingen profiteren hier weer van. Bijvoorbeeld in de ruimtevaart worden immense hoeveelheden koud gas gebruikt voor brandstoffen en lucht voor de bemanning. Veel koud gas is nodig om bemande raketten, shuttles en satellieten in hun baan rond de aarde te brengen. Verwezen wordt naar de film die het internationale koudecongres 2003 in de USA begeleidde, en ook werd vertoond aan het begin van deze cursus.

Op dit moment wordt op deze plaats niet uitgebreid stil gestaan bij specifiek toegepaste systemen.

9.6 IJs en sneeuwsport

Kunstmatige ijsbanen zijn in meerdere regio's van Nederland te vinden, meestal in of in de buurt van grote bevolkingcentra (Amsterdam, Flevopolder, Deventer, Herenveen). De meeste wedstrijdbanen zijn uitgevoerd als een zeer zorgvuldig aangebrachte betonnen vloer met vloerkoeling via een buizenstelsel dat gevoed wordt door een centrale koelinstallatie met meestal ammoniak als koelmiddel. Het schaatsijs hierop is een ijslaag van 6 tot 9 cm dikte die goed moet worden aangebracht en bijgehouden. Voor een optimale ijskwaliteit voor schaatsen is veel goed vegen noodzakelijk, eerst droog dan nat. Na gebruik overdag is van eminent belang de baan op de juiste wijze nat te houden voor de hechting van de ijslagen onderling en de algemene kwaliteit van het ijs. Sturen rond de juiste ijs temperatuur en naar het juiste evenwicht van smelten en kristalliseren is hier zowel een kunde als een kunst.

Aandacht voor koeltechnische bedrijven die opvallende hoogstandjes weten te bereiken, bijvoorbeeld: Omstreeks 2008 bouwde Gresco de koelinstallatie met sneeuwkanon voor een grote skipiste in Dubai, aan de Perzische golf, waar weinig zoet water is en geen winter, naast gemiddeld een hoge temperatuur, zodat de condensorwarmte vaak boven 40°C omgevingstemperatuur moet worden afgevoerd.

9.7 Cryobiologie, medische toepassingen en meer

Zonder hierop ver in te gaan volgt hier een kleine inventarisatie van lage temperatuur toepassingen op dit gebied. Naarmate dit kennisgebied zich verder ontwikkeld blijken de toepassingen schier eindeloos.

Opslagbanken voor allerlei genoom materiaal. Speciaal voor de opslag van allerlei genetisch materiaal is door Noorwegen op Spitsbergen het wetenschappelijk centrum Svalbeart met een zeer grote koudeopslag gebouwd. Vanwege de lage gemiddelde temperatuur aldaar kosten koeling en airco veel minder energie. Opgeslagen in de kou voor verder gebruik kunnen worden:

Plantaardig: micro-organismen zoals bacteriestammen en schimmels; plantenzaden en kiemen. *Dierlijk:* sperma van stieren voor kunstmatige inseminatie (KI), eicellen en zeer jonge embryo's. *Humaan:* vaccines, enzymen en medicijnen; allerlei andere gevoelige farmaceutische materialen; de bewaring van humane zaadcellen, eicellen en blastula's (het allerjongste foetus stadium) voor betere tijden in het leven.

Eén der merkwaardigste toepassingen is wel de 'diepvriesmens', waarvan er enige honderden worden bewaard in een berggrot in Utah. Dit waren ongeneeslijk zieke, rijke Amerikanen, die zich vóór hun echte dood lieten invriezen via de Cryogenic Society, in de verwachting dat ze in de toekomst met nieuwe medische technologie weer opgewekt kunnen worden, genezen en weer door kunnen leven. Omdat het hier hele lichamen betreft, mag veilig worden verondersteld dat de met vloeibare stikstof koud gehouden containers alleen stoffelijke overschotten herbergen. Op het moment van invriezen zijn mogelijk de buitenste twee cellagen amorf geworden zonder ijskristallisatie; de cellagen daaronder zijn lethaal beschadigd door een overvloedige ijskristalvorming.

Een ander voorbeeld is het verzamelen en opslaan van sperma, eierstokken en ander genetisch materiaal van zeer zeldzame, met uitsterven bedreigde, diersoorten, zoals tijgersoorten en rivierdolfijnen, door het Wildlife Breeding and Research Center in de USA. Recent is dit onderzoek uitgebreid want steeds meer diersoorten komen in deze categorie. In een brochure wordt gesteld 'als stroperij en inperking van habitat niet gestopt kunnen worden, zullen kunstmatige inseminatie en reageerbuis bevruchtingen straks de natuur moeten redden'. Op de National Geographic site zijn van dit soort gegevens te vinden.

In de medische technologie hebben zich cryochirurgie en allerlei cryomedische toepassingen ontwikkeld, technieken die in grote ziekenhuizen worden toegepast. De echte biotechnologie, waarvan de eerste industriële toepassing in 1873 was de gist- en spiritusfabriek in Delft die gekoelde bakkersgist produceerde, en al het bijbehorend laboratoriumonderzoek hadden niet kunnen ontstaan zonder koelmachines. Chemische, medische en levensmiddelen laboratoria hebben tegenwoordig altijd een vloeibare stikstof opslagtank voor experimenten bij lage temperaturen en om gevoelige materialen te kunnen bewaren. Laboratoriumtechnieken zoals calorimetrie, elektronenmicroscopie, vriesetsen, hypersnel onder druk invriezen (om bijv. structuuronderzoek mogelijk te maken door ijsnucleatie te verhinderen), en allerlei cryotechnieken, die van lage temperaturen afhankelijk zijn, hebben de wetenschap sterk vooruit gebracht.

In dit vakgebied komt als algemeen beeld naar voren dat lage temperaturen van alles kunnen verduurzamen. Ook het levensproces zelf kan ongeveer stil worden gezet. Eicellen en embryo's van enkele cellen groot kunnen onder de juiste omstandigheden jarenlang overleven. Echter zodra ijs in de cellen en weefsels uitkristalliseert ontstaat er schade aan celstructuren en sterft het levende materiaal meestal. Fysisch kan men stellen dat zo mogelijk nucleatie van ijs, maar zeker ijskristalvorming voorkomen moeten worden.

Wereldwijd wordt er scoutingonderzoek verricht aan fossiele restanten van uitgestorven levensvormen. Zelfs restauratie van uitgestorven diersoorten zijn onderzoekdoelen geworden. Uiteindelijk zou dit tot Jurassic Park-achtige scenario's kunnen leiden. De toekomst zal het leren. Duidelijk is dat door de menselijke nieuwsgierigheid, die altijd op zoek is naar nieuwe mogelijkheden, op de ingeslagen weg geen weg terug is maar alleen vooruit en dat kan weer niet zonder de nauwgezette beheersing van lage temperaturen.

9.8 Andere gebieden van techniek

Ook hier zijn veel toepassingen van lage temperaturen te vinden.

Afbreken van bramen van metaalwerkstukken uit de draaibank na het cryogeen dompelen in vloeibare stikstof of koolzuur. Deze koude toepassing is in principe vergelijkbaar met wat gebeurt tijdens het koud malen van stoffen.

Een belangrijke toepassing van lage temperaturen bestaat in de bouw ondergronds; dit kan de aanleg van tunnels betreffen, fundamente van grote bouwwerken en nieuwe woonwijken. In een Goudse polder bouwt men momenteel op land met een maaiveld hoogte van ruim 5 meter beneden NAP. Zachte waterrijke ondergronden waarin gebouwd moet worden maakt men hierbij stevig door bevrozing. Ook wordt soms gebruik gemaakt van de eigenschap dat water bijna 10% in volume toeneemt bij bevrozing. Een belangrijk project met deze techniek heeft gelopen in Italië om de toren van Pisa, die over enige tijd dreigt om te vallen, beter recht te zetten.

In Rusland bestaan plannen om gezonken onderzeeërs te lichten door er een groot geheel omhullend ijsblok omheen te vriezen zodat het wrak gaat drijven.

Een apart en groot gebied betreft het toepassingsgebied *luchtbehandeling*, met name luchtbehandeling in gebouwen door de regeling van temperatuur en vochtgehalte van de lucht. Ook luchtverversing en afvoer van afvalwarmte zijn belangrijke items. Door airconditioning zijn grote delen van de wereld, bijv. de zuidelijke staten van de USA, veel beter bewoonbaar geworden. Geschat wordt dat wereldwijd niet minder dan een derde van de totale koudetechnologie hiervoor aangewend wordt.

Ook de ruimtevaart kan niet zonder veel koude en vacuüm technologie, en enorme hoeveelheden koudgas voor brandstof en verluchting

Bijlage 1 HYGIËNECODE, GMP

'Good manufacturing practice': richtlijnen voor hygiënische fabricagemethoden in de levensmiddelenindustrie*

E. H. Meursing**

Voedingsmiddelentechnologie 1 sept. (1976) jaargang 9, nr. 35

De meeste wetten op levensmiddelengebied kennen hygiënische bepalingen, doch tot op heden slechts in algemene termen. Volgens de bepalingen van de levensmiddelenwet van 1938 is in de V.S. bijvoorbeeld een voedingsmiddel in strijd met deze wet, indien:

1. het geheel of gedeeltelijk bedorven is;
2. het vervaardigd, verpakt of bewaard is onder onhygiënische omstandigheden.

Om vast te stellen of een bepaald voedingsmiddel onder hygiënische omstandigheden werd gefabriceerd is de gebruikelijke procedure het verkrijgen van monsters uit winkels en het onderzoeken van deze

monsters op vuil, insektefragmenten, knaagdierenharen, enz.

Autoriteiten op het gebied van de voedingsmiddelen hebben echter meer en meer het gevoel dat het onbegonnen werk is om op deze wijze, dat is door achteraf monsters te nemen, een behoorlijke kwaliteitscontrole uit te oefenen.

Hetzelfde geldt voor voedselproducenten die binnenkomende grondstoffen moeten bemonsteren en controleren. De redenen zijn:

1. **schaalvergroting**
Toeneming van het aantal en van de verscheidenheid aan produkten op de markt en produktieverhoging per fabriek.
2. **uitbreiding kwaliteitsaspecten**
Steeds meer kwaliteitsaspecten dienen te worden gecontroleerd.
Om de kwaliteit van voedingsmiddelen wat de hygiënische conditie betreft te bepalen dient men deze tegenwoordig bijvoorbeeld te onderzoeken op residuen van verdelgingsmiddelen, sporen van zware metalen en mycotoxinen.
3. **druk van de kant der consumenten organisaties**
Ook dit vraagt veel extra werk.
Om al deze werkzaamheden met alle produkten uit te voeren op een statistisch gezonde schaal is een onmogelijkheid.

De oplossing voor deze problematiek is, de inspectie te verleggen naar de produktie. Het is zeer moeilijk om uit te maken of consumptiegoederen in de winkels vrij zijn van mycotoxinen. Doch indien de produktie in de fabriek wordt gecontroleerd kan men er voor zorgen dat geen beschimmelde grondstoffen worden gebruikt en er geen schimmelgroei in de apparatuur wordt aangetroffen.

Hetzelfde geldt voor de bacteriologische maatstaven en gevaren. De gevaren die voortvloeien uit bacteriologische besmetting van voedingsmiddelen wettigen overigens speciale aandacht, reden waarom we hier speciaal even op in willen gaan.

In tegenstelling tot de verwachtingen neemt de verspreiding van ziekten veroorzaakt door voedsel dat microbiologisch gezien ongeschikt is voor menselijke consumptie in de westelijke landen toe.

Dit moge paradoxaal klinken maar er bestaan een aantal oorzaken die rechtstreeks met onze moderne levensstijl te maken hebben:

- voedingsmiddelen worden in toenemende mate vervaardigd van instantprodukten die vóór gebruik niet worden verwarmd.
- bronnen van infectie blijven niet beperkt tot kleine leefgemeenschappen zoals in het verleden, sinds de moderne mens verre en snelle reizen maakt.
- hoe langer hoe meer warme en koude voedingsmiddelen kan men uit de automaat halen. Experts hebben er herhaaldelijk op gewezen dat de voorgeschreven temperaturen 'beneden 5°C of boven 60°C) niet steeds gehandhaafd worden.
- levensmiddelen worden in steeds grotere produktie-bedrijven vervaardigd en worden over steeds grotere gebieden gedistribueerd. Indien de hygiënische voorzorgsmaatregelen worden veronachtzaamd kunnen besmettingen zich snel en ver verspreiden.

Dit alles heeft betrekking op gevaren voor de consument. De producent zelf wordt ook geconfronteerd met grote gevaren van microbiologische aard.

Tot voor kort lag een directeur van een levensmiddelenbedrijf misschien wel eens 's nachts wakker, achtervolgd door angsten dat zijn fabriek in brand zou kunnen raken of door een staking zou kunnen worden lamgelegd.

Aan een staking komt echter een eind en brandschade wordt geheel of gedeeltelijk door verzekering gedekt.

Tegenwoordig is er een nieuwe bedreiging, de grootste van alle die er bestaan: besmetting van voedselprodukten met pathogene bacteriën zoals Salmonella, Staphylococcus of Clostridium botulinum. Er bestaat geen verzekering tegen de aanzienlijke schade die deze besmetting aan de goede naam van de onderneming en haar produkten kan toebrengen. Ook hier is het weer onmogelijk zowel voor de fabrikant als voor de officiële voedselkundigen om door bemonstering en controle van het eindprodukt zich ervan te vergewissen dat er geen Salmonella in het produkt voorkomen. Veel beter en gemakkelijker is het, mogelijke infectiebronnen te verwijderen door middel van een adequate sanitaire opzet in de fabriek en dit ter plaatse te laten controleren door ambtenaren belast met de controle op voedingsmiddelen.

De wettelijke basis voor dit soort controle vindt men in de reeds genoemde wettelijke voorschriften waarin wordt gesteld dat voedingsmiddelen onder sanitaire omstandigheden dienen te worden bereid. Uitgaande echter van deze algemene bepalingen zou het wel eens moeilijk kunnen zijn de levensmiddelenindustrie bepaalde maatregelen af te dwingen. Men zou bijvoorbeeld eindeloos kunnen discussiëren over de vraag of het in een bepaalde situatie voor de mensen nodig is dat ze hoofddekseks dragen. Geen rechter zou in staat zijn in zulk een geschil een uitspraak te doen.

Om deze en om andere redenen heeft de Amerikaanse Food Et Drug Administration uitvoerige regels voor 'Good Manufacturing Practice' opgesteld. Op 26 mei 1969 traden deze GMP's in werking. Ze worden de 'paraplu' voorschriften genoemd.

In aansluiting hierop komen specifieke GMP's voor afzonderlijke produkten. De eerste gold voor diepvries garnalen en gerookte vis. De laatst verschenen GMP's betreffen de Cacao- en Suikerverwerkende industrie en werden op 4 augustus 1975 van kracht. In afbeelding 3 ziet men passages van de 'paraplu' GMP's die een idee geven van de mate van detaillering van de bepalingen. Er bestaat geen discussie meer over de vraag wie een hoofddekseks zou moeten dragen.

In afbeelding 2 staat een passage uit de GMP's voor de Cacao- en Suikerverwerkende industrie. Dit is tegelijkertijd een illustratie van de uitwerking die deze voorschriften kunnen hebben op landen buiten de Verenigde Staten, in dit geval landen die grondstoffen leveren zoals cacaobonen en noten.

128,8 PERSONNEL

ALL PERSONS, WHILE WORKING IN DIRECT CONTACT WITH FOOD PREPARATION, FOOD INGREDIENTS, OR SURFACES COMING INTO CONTACT THEREWITH SHALL:

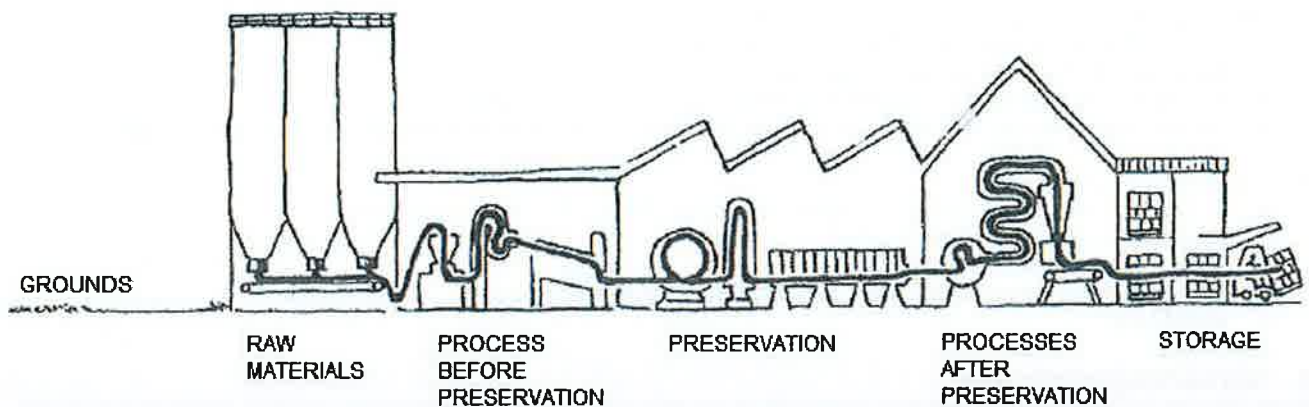
- (1) *****
- (2) *****
- (3) *****
- (4) IF GLOVES ARE USED IN FOOD HANDLING, MAINTAIN THEM IN AN INTACT, CLEAN AND SANITARY CONDITION. SUCH GLOVES SHOULD BE OF AN IMPERMEABLE MATERIAL EXCEPT WHERE THEIR USAGE WOULD BE INAPPROPRIATE OR INCOMPATIBLE WITH THE WORK INVOLVED.
- (5) WEAR HAIR NETS, HEADBANDS, CAPS, OR OTHER EFFECTIVE HAIR RESTRAINTS,

Afbeelding 1

§ 128c,7 (3) THE MANUFACTURER SHALL ENSURE

THAT NUTS, RAISINS, CACAO BEANS, SPICES, REWORK, RETURN, AND OTHER RAW MATERIALS SUSCEPTIBLE TO INFESTATION OR CONTAMINATION BY ANIMALS, BIRDS, VERMIN, MICROORGANISMS, OR EXTRANEIOUS MATERIAL COMPLY WITH CURRENT FOOD AND DRUG ADMINISTRATION REGULATIONS, GUIDELINES, AND ACTION LEVELS FOR NATURAL OR UNAVOIDABLE DEFECTS BEFORE THESE MATERIALS ARE INCORPORATED INTO FINISHED PRODUCTS, COMPLIANCE WITH THIS REQUIREMENT MAY BE VERIFIED BY EXAMINING THESE MATERIALS FOR INFESTATION AND CONTAMINATION,

Afbeelding 2



FACILITIES

1. Grounds
2. Buildings
3. Lay out
4. Equipment and utensils
5. Sanitary facilities

PROCESSES AND METHODS

Afbeelding 3

Het is te verwachten dat de autoriteiten op het gebied van de voedingsmiddelen in andere landen eveneens meer zullen overgaan tot fabriekscontrole en dat de U.S. Good Manufacturing Practice als richtlijn zal worden aangehouden.

Daarom is het nuttig een kort overzicht te geven van de GMP's voor de Cacao en Suikerverwerkende industrie.

Dit overzicht omvat de volgende onderwerpen:

1. Bedrijfsmiddelen;
2. Verwerkingsmethoden;
3. Kwaliteitscontrole;
4. Registratie en het uit de productie nemen van goederen;
5. Personeel.

1. Bedrijfsmiddelen

1.1 Terreinen

De terreinen dienen schoon en opgeruimd te zijn ter voorkoming van ongedierte, vuil en andere verontreiniging.

1.2. Gebouwen dienen:

- voldoende ruimte te bieden;
- behoorlijk te kunnen worden schoongemaakt;
- goed onderhouden te zijn;
- voorzien te zijn van een behoorlijke verlichting;
- voorzien te zijn van een behoorlijke ventilatie;
- ontoegankelijk te zijn voor vogels, knaagdieren en insecten.

1.3 Inrichting

Werkzaamheden die besmetting van andere produkten zouden kunnen veroorzaken dienen te geschieden in ruimten die op afdoende wijze van andere produktieruimten zijn gescheiden.

Wanneer afbeelding 1 een fabriek voorstelt waar cacaopoeder wordt gefabriceerd zijn de werkzaamheden die gescheiden moeten worden:

Cacaobonenopslag, bonenreiniging en ontdopping, branden, persen, malen van koeken, emballage en opslag.

1.4 Technische uitrusting en werktuigen dienen

- voor het daartoe bestemde gebruik geschikt te zijn;
- behoorlijk te kunnen worden gereinigd;
- te worden beschermd tegen besmetting door smeermiddelen etc.;
- dienen op de juiste wijze te worden geïnstalleerd om het schoonmaken te vergemakkelijken;

1.5 Sanitaire voorzieningen

- voldoende aanvoer van water zowel wat betreft kwaliteit als kwantiteit;
- voldoende afvoer van rioolwater;
- behoorlijke sanitaire inrichting;
- voldoende voorzieningen wat betreft toilet en handenwassen;
- vuilafvoer.

2. Verwerkingsmethoden

Deze dienen nauwkeurig te worden vastgelegd en het personeel dient goed te worden geïnstrueerd ook in sanitair opzicht. Belangrijke bewerkingen, zoals temperatuurbehandeling, dienen te worden geregistreerd.

3. Organisatie kwaliteitscontrole

Er dient een goede organisatie van de kwaliteitsbewaking te zijn. Taken en verantwoordelijkheden moeten goed omschreven zijn.

Kwaliteitscontrole moet worden opgezet op basis van een zorgvuldige bestudering van de verwerkingsmethoden teneinde die plaatsen in het productieproces te vinden waar de kritieke punten liggen. Voor deze punten dienen statistische monstervormen te worden ontworpen.

Er dienen goede analysemethoden voor elke controle-beoordeling vastgelegd te worden en er dienen limieten te worden vastgesteld voor de analyse-uitkomsten.

En tenslotte dient men te beschikken over zorgvuldig uitgewerkte instructies voor gevallen dat limieten overschreden worden.

Want het is natuurlijk een logische consequentie van Good Manufacturing Practice dat men zich voldoende realiseert dat half-fabrikaten of eindprodukten kunnen worden afgekeurd en er dient daarom precies te worden vastgelegd wat er dan gedaan moet worden.

4. Registratie van gegevens en het terugnemen van ondeugdelijke grondstoffen

Alle essentiële verwerkingsgegevens dienen op behoorlijke wijze te worden vastgelegd.

De geregistreerde gegevens dienen bewaard te blijven gedurende een periode die langer is dan de houdbaarheid van het produkt, echter niet langer dan 2 jaar.

Om het terugnemen van ondeugdelijke produkten die de fabriek reeds hebben verlaten te vergemakkelijken dient er

- een codesysteem te komen om identificatie van de partij mogelijk te maken en
- een procedure te worden ontworpen voor het terughalen.

5. Personeel

5.1 Persoonlijke hygiëne, hetgeen omvat:

- schone kleding;
- handen wassen
- afleggen van bijoutherieën;
- het dragen van handschoenen en hoofddekseis;
- niet eten of roken in de produktie-afdelingen.

5.2 Controle op ziekten

Er mogen geen personen met een ziekte, die gevaar voor besmetting oplevert, in een levensmiddelen-fabriek werken.

5.3 Opleiding en training

Oefenprogramma's voor al diegenen die belast zijn met produktie en controle.

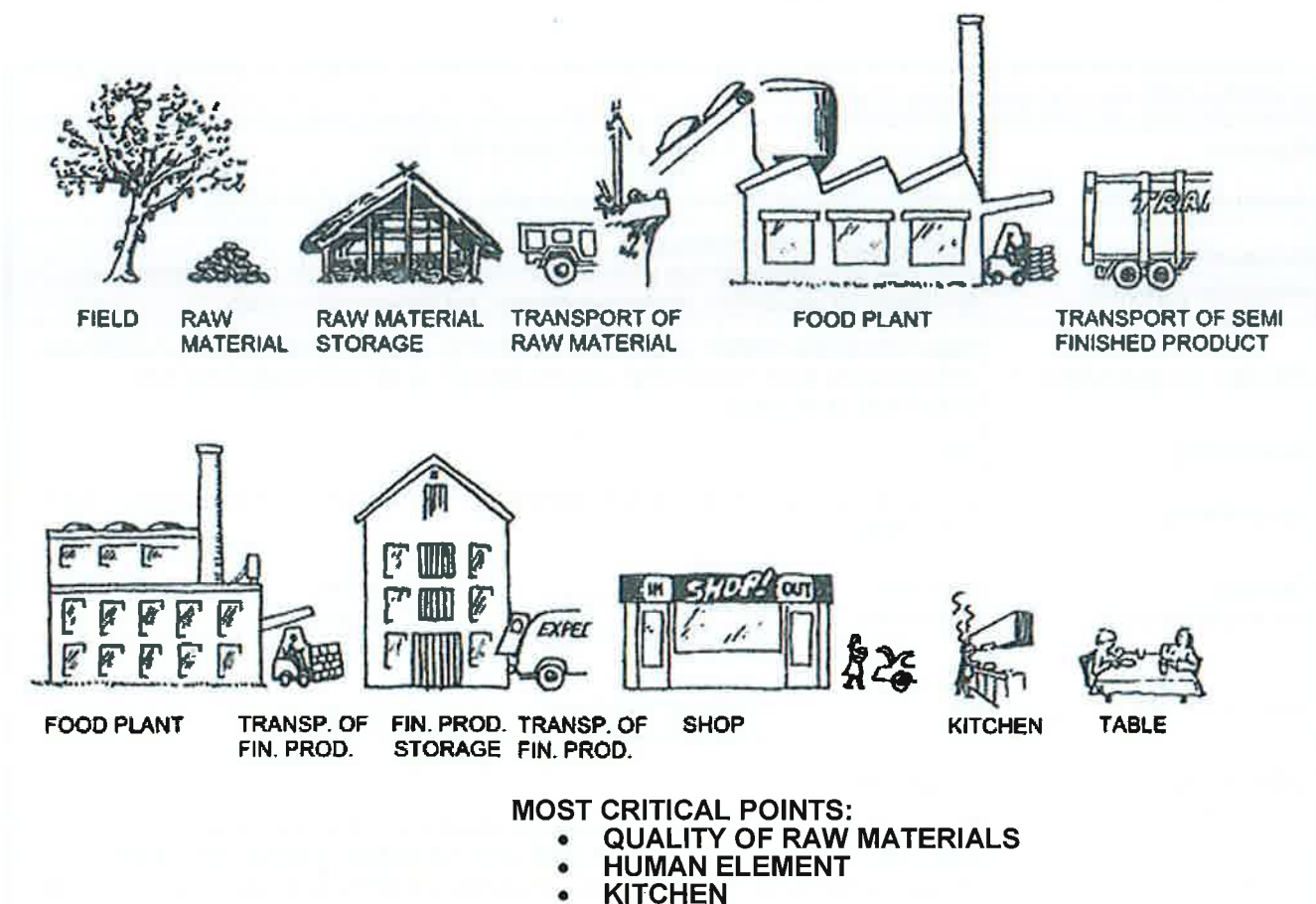
Voor vele levensmiddelenproducenten zal het heel wat moeite en extra kosten betekenen om aan al deze sanitaire richtlijnen te voldoen.

In vele gevallen zal de eis om tot statistisch verantwoorde controleprogramma's te komen frequentere monsterneming en controle betekenen.

Afbeelding 4 toont de volledige weg die een voedselprodukt aflegt vanaf de aanplant tot op de tafel van de consument. Statistieken tonen aan, dat de meeste ziekten die hun oorsprong in voedingsmiddelen vinden te wijten zijn aan fouten of kwaliteitsgebreken in:

- de grondstoffen;
- de verwerking van voedingsmiddelen in fabrieken;
- het klaarmaken van maaltijden in de keukens;

Het laatste punt valt buiten het bestek van deze verhandeling. We hebben gezien dat controle van voedselprodukten in de winkels door officiële instanties niet de beste manier is om bedorven of besmette produkten uit de markt te houden.



Afbeelding 4

Controle dient in de fabriek plaats te vinden, bij voorkeur zoveel mogelijk naar voren in de keten van ruwe grondstof tot produkt. Deze controle dient een taak te vormen voor de officiële instanties en levensmiddelenfabrikanten gezamenlijk.

In afbeelding 4 kan men twee levensmiddelenfabrieken zien, waarvan de één een halffabrikaat maakt dat door de ander wordt gebruikt. In dit geval moeten de fabrikanten zelf specificaties overeenkomen voor de halffabrikaten. Een voorbeeld hiervan kan men in afbeelding 5 zien. Hierin worden de specificaties aangegeven van cacaopoeder die speciaal bestemd is voor verdere verwerking door levensmiddelenfabrikanten.

Het concept van beheersen en controleren van de kwaliteit van levensmiddelen tijdens de productie voorkomt ook dubbel werk. Men kan het zo opvatten dat de fabrikant controleert en de autoriteiten er op toezien dat hij goed controleert. Er is dan eigenlijk ook meer sprake van samenwerking dan controle. De Amerikaanse wet op Good Manufacturing Practice vormt een goed voorbeeld van een dergelijke samenwerking. De FDA verschaft hiermee de levensmiddelenfabrikanten een uitstekende reeks voorschriften voor de hygiëne in hun fabrieken. Bestudering van deze voorschriften is ook voor fabrikanten van levensmiddelen buiten de Verenigde Staten ten zeerste aan te bevelen.

Bijlage 2 VOORBEELDEN VAN PRODUCTGEGEVENS VAN AVOCADO EN BANAN

Bron: Sprenger Handboeken v Productgegevens

AVOCADO <i>Perses americana</i> Maf.			
Rassen	Gladschillig: Ettinger, Fuerte, Nabal Ruwshilli9: Hess ,		
Aanvoerperiode	Importprodukt: het gehele jaar; voornamelijk uit Israël en Zuid-Afrika.		
Consumptie hoeveelheid gebruik	Geen gegevens beschikbaar. Vers, ook in combinatie met andere vruchten. gevuld met een hartige salade van fijne vlees- of vissoorten, als broodbelegsel, als dessert en in soep.		
Ziekten en gebreken	Lage-temperatuurbederf, grijsbruine verkleuring van het vruchtvlees en zwartbruine vlekken op de schil: antracnose, zwarte vlekken op de schil waaronder het vruchtvlees gaat rotten.		
Bewerking	Geen		
Verpakking	Schaaltje van papierpulp of polystyreenschuim OM-wikkeld met pvc rekfolie (0.012-0,017 mrm)		
Opslag niet verpakt produkt	Gekoeld:	7°C 90 r.v. afh. van temperatuur en rijpheidsstadium	2-4 weken
	Ongekoeld:		3-7 dagen
verpakt produkt	Gekoeld:	7°C 90 r.v. afh. van temperatuur en rijpheidsstadium	1 week
	Ongekoeld:		3-5 dagen
Uitstalling	Ongekoeld.		
N.B	Avocado's zijn gevoelig voor lage-temperatuurbederf. De opgegeven bewaar temperatuur en bewaartijd geldt voor het onrijpe, subtropische produkt (Israël, Zuid-Afrika). Hierbij mag de temperatuur niet beneden de 7° C komen. Uit tropische gebieden afkomstige avocado's moeten boven 13° C gehouden worden. Bij het subtropisch produkt is 15° C de beste rijpingstemperatuur. De vrucht is rijp wanneer deze rond de steel zacht aanvoelt en de schil wat meegeeft. Zowel het onrijpe als het rijpe produkt moet voorzichtig behandeld worden		

BANAAN <i>Musa Paradisiaca L</i>			
Rassen	Gros Michel, Cavendish (variëteiten Lacatan en Valery)		
Aanvoerperiode	Gehele jaar, voornamelijk uit Zuid- en Midden-Amerika.		
Consumptie hoeveelheid gebruik	Ongeveer 8 kg per hoofd van de bevolking per jaar. Vers, ook in combinatie met andere vruchten en gebakken.		
Ziekten en gebreken	Kamrot, de steel rot en wordt zwart en de vrucht valt van de kam; antracnose, rose verkleuring van de schil; lage-temperatuurbederf, bij rijping krijgen de vruchten een grauwege kleur en het vruchtvlees blijft hard; mechanische beschadiging, zwarte plekken op de schil van rijpe vruchten; spikkeling, bruine stippen op de schil als gevolg van overrijpheid.		
Bewerking	Rotte en aangetaste vruchten verwijderen		
Verpakking	Geen.		
Opslag niet verpakt produkt	Gekoeld: groen geel Ongekoeld: groen geel	12-14°C 85-95 r.v. 14°C 75-85 r.v. afh. van temperatuur afh. van temperatuur	10 - 20 dagen 2 - 6 dagen 4 - 8 dagen 2 - 3 dagen
Uitstalling	Ongekoeld.		
N.B	Bananen zijn zeer gevoelig voor lage-temperatuurbederf. Het treedt op bij temperaturen beneden 12°C. Bij de variëteit Lacatan (groen) treedt dit echter reeds beneden 14°C op; let daarom ook op de temperatuur in de winkel en in de verpakingsruimte. De vruchten tijdens opslag afdekken met kunststof folie om uitdroging tegen te gaan. Wanneer zich een grote partij rijpe vruchten in de opslagruimte bevindt moet deze dagelijks geventileerd worden om CO₂ af te voeren. Grote hoeveelheden bananen niet opslaan bij andere produkten i.v.m. ethyleenontwikkeling. Ethyleen heeft een ongunstige invloed op de houdbaarheid van groente en fruit. Bij kunstmatige rijping wordt tijdens de eerste rijpingsdag 1: 1000 ethyleen toegevoegd. Behalve de bovengenoemde rassen wordt ook de zgn. Plantain ingevoerd. Deze bananen zijn groter en harder; de kleur kan variëren van groengeel tot bruin afhankelijk van de rijpheid. Door het hoge zetmeelgehalte zijn ze rauw overteerbaar. Ze worden dan ook uitsluitend als bakbananen gebruikt.		

