

Verpakkingsmaterialen & nieuwe conserveringstechnieken

Rapport

Refnr. B453/Mei 2000

Vertrouwelijk

R. Bakker

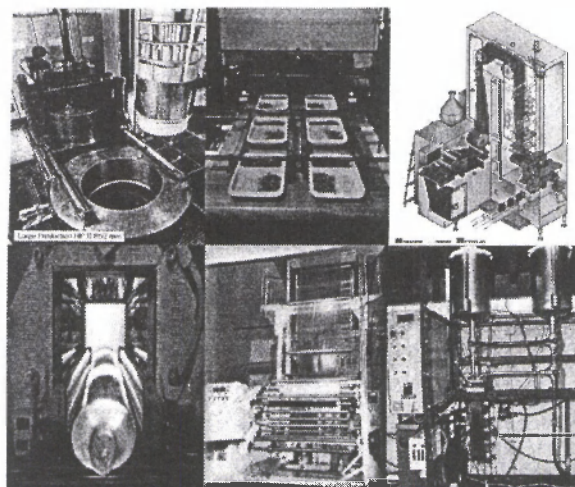


Verpakkingsmaterialen & nieuwe conserveringstechnieken

Rapport

Ref.nr. B453 / Mei 2000

Vertrouwelijk



R. Bakker

ATO

Agrotechnologisch Onderzoeksinstituut

Bornsesteeg 59

Postbus 17

6700 AA Wageningen

Tel: 0317.475029

Fax: 0317.475347

INLEIDING	3
DOEL	3
HOGHE HYDROSTATISCHE DRUK.....	4
INLEIDING	4
VERPAKKINGSMATERIALEN	4
<i>Barrière-eigenschappen en treksterkte.....</i>	<i>4</i>
<i>Sealsterkte</i>	<i>7</i>
<i>Flexibiliteit verpakkingen.....</i>	<i>8</i>
<i>Head space gassen</i>	<i>8</i>
LEVENS MIDDELEN	9
PROCES	10
CONCLUSIES.....	11
MAGNETRONVERHITTING	12
INLEIDING	12
VERPAKKINGSMATERIALEN	12
<i>Hittebestendigheid.....</i>	<i>12</i>
<i>Susceptoren.....</i>	<i>13</i>
LEVENS MIDDELEN	14
<i>Toepassingen.....</i>	<i>14</i>
<i>Migratie.....</i>	<i>15</i>
PROCES	15
CONCLUSIES.....	16
PULSEREND ELECTRISCH VELD.....	17
INLEIDING	17
VERPAKKINGSMATERIALEN	17
LEVENS MIDDELEN	17
PROCES	18
CONCLUSIES.....	18
ASEPTISCH VERPAKKEN.....	20
INLEIDING	20
VERPAKKINGSMATERIALEN	20
<i>Aseptisch en hygiënisch verpakken</i>	<i>20</i>
<i>Materialen.....</i>	<i>21</i>
LEVENS MIDDELEN	22
PROCES	23
CONCLUSIES.....	23
HOGHE INTENSITEIT PULSEREND LICHT	24
INLEIDING	24
VERPAKKINGSMATERIALEN	24
LEVENS MIDDELEN	24
PROCES	25
CONCLUSIES.....	25
ULTRASONIFICATIE	26
INLEIDING	26
VERPAKKINGSMATERIALEN	26
LEVENS MIDDELEN	26
CONCLUSIES.....	26
ELECTRISCHE WEERSTAND VERHITTING (OHMIC HEATING).....	28
INLEIDING	28
VERPAKKINGSMATERIALEN	28
LEVENS MIDDELEN EN PROCES.....	28
CONCLUSIES.....	29
ALGEHELE CONCLUSIE.....	30
LITERATUUR.....	31
AFKORTINGEN.....	33

Inleiding

De hedendaagse consument is gesteld op producten met een hoog gebruiksgemak en een niet al te korte houdbaarheid, maar die toch hun 'vers'kwaliteit zo veel mogelijk behouden hebben. Dit vereist milde conserveringstechnieken die aan de ene kant de bederfmechanismen (microbieel, chemisch, fysisch) in voldoende mate afremmen, maar aan de andere kant de 'verse' eigenschappen zoveel mogelijk bewaren:

1. Modified atmosphere packaging,
2. Toepassing van natuurlijke anti-microbiële stoffen van micro-organismen (bacteriocines), dieren en planten,
3. Oppervlakte-ontsmetting met organische zuren,
4. Voedseldoorstraling,
5. Hoge hydrostatische druk,
6. Magnetronverhitting,
7. Pulserend elektrisch veld,
8. Aseptische processen en pulserend licht,
9. Ultrasonificatie,
10. Elektrische weerstand verhitting (ohmic heating).

Een aantal technieken worden vooral gebruikt om micro-organismen te inactiveren. Voedseldoorstraling, hoge hydrostatische druk, PEF, aseptische processen, pulserend licht en ultrasonificatie zijn hier voorbeelden van. Bij magnetronverhitting en elektrische weerstand verhitting ligt het accent weer meer op de bereiding van het voedsel.

Doel

Het doel van dit literatuuronderzoek is het geven van een overzicht van speciale eisen die gesteld worden aan verpakkingsmaterialen bij toepassing van nieuwe conserveringstechnieken. Over MAP is binnen de groep al veel kennis beschikbaar. Bij oppervlaktebehandelingen (ontsmetting met organische zuren of toepassing van natuurlijke anti-microbiële stoffen) worden geen speciale eisen aan de materiaaleigenschappen van de verpakkingen gesteld. Wanneer actieve stoffen in de film verwerkt worden, kan dit echter wel invloed hebben op de materiaaleigenschappen. Voedseldoorstraling wordt vanwege de geringe consumentenacceptatie alleen in speciale gevallen toegepast (bij kruiden). De laatste zes technieken zijn gebaseerd op hitte, druk, microgolven, elektrische stroom, enz. waardoor wel specifieke eisen aan materiaaleigenschappen als doorlaatbaarheid, delaminatie, migratie, treksterkte, hittebestendigheid, etc. gesteld worden. Deze zes technieken zullen daarom nader besproken worden.

Met betrekking tot de laatste zes technieken worden de volgende aspecten belicht, waarbij steeds de nadruk ligt op de eisen die aan verpakkingsmaterialen gesteld worden bij toepassing van deze conserveringstechnieken:

- Korte inleiding
- Verpakkingsmaterialen:
Welke materialen kunnen toegepast worden; wat zijn de ervaringen en problemen; wat zijn de eisen die aan verpakkingsmaterialen worden gesteld,
- Levensmiddelen:
Op welke levensmiddelen kan de nieuwe techniek globaal toegepast worden; wat zijn de belangrijkste effecten voor de houdbaarheid en de kwaliteit,
- Proces:
Waar in het productie- en verpakkingsproces kan de techniek ingezet worden: behandeling vóór het verpakken of behandeling in de verpakking; voorkomen herbesmetting product,
- Conclusies:
Mogelijkheden en (energie)kosten; wat is de toegevoegde waarde die een verpakking met betrekking tot het proces en het product kan genereren, welke consequenties heeft de conserveringstechniek in de rest van de keten, welke rol zou de afdeling kunnen spelen in nieuwe innovaties.

Hoge hydrostatische druk

Inleiding

De hydrostatische druktechnologie is een nieuwe verwerkmethode voor voedsel waarbij het product behandeld wordt met drukken tussen ongeveer 100 en 1000 MPa. De behandeling kan bij verschillende temperaturen plaatsvinden.

De hoge druk deactiveert vegetatieve micro-organismen en reduceert de hoeveelheid enzymen en sporen in het voedsel. In hoeverre enzymen en sporen worden teruggedrongen hangt af van de zuurgraad van het product en de temperatuur tijdens de behandeling. Uiteraard spelen ook de duur en het patroon van de drukbehandeling een rol. Omdat niet alle micro-organismen geïnactiveerd worden bij drukbehandelingen bij kamertemperatuur, moeten producten na behandeling meestal gekoeld vervoerd en bewaard worden. Hoge-drukbehandelingen zonder verhitting zijn daarom meer een aanvulling op dan een vervanging van processen als pasteuriseren en steriliseren.



Figuur 1: Drukvat wordt geopend na een behandeling (Mertens, 1995)

Recent is gebleken dat met behulp van kortdurende pulsen van hoge druk (1000 MPa) gecombineerd met een hoge temperatuur (rond 100°C) ook hittestabiele sporen heel snel kunnen worden uitgeschakeld. Met deze behandeling wordt de sporendodende werking van een langdurige sterilisatiestap geëvenaard, terwijl er nauwelijks nadelige gevolgen zijn voor sensorische eigenschappen als smaak en textuur. Het is echter nog onduidelijk in hoeverre de combinatie van verhitting en hoge druk de barrière-eigenschappen van het verpakkingsmateriaal aantast. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat bijvoorbeeld stoffen uit het drukmedium in het voedsel terecht komen.

Verpakkingsmaterialen

Barrière-eigenschappen en treksterkte

Uit de literatuur blijkt dat alle huidige kunststof en aluminium laminaten gebruikt kunnen worden in combinatie met hoge hydrostatische druk *bij lagere temperaturen*. Verscheidene auteurs melden dat zowel de sealsterkte als de mechanische en barrière-eigenschappen van kunststof en aluminium laminaten niet beïnvloed worden door de drukbehandeling (Mertens, 1995; Olsson, 1995). Gegevens over combinaties van hoge druk en hoge temperaturen zijn vooralsnog niet beschikbaar in de literatuur. Om hier toch meer duidelijkheid over te krijgen worden in de volgende paragrafen de methoden en resultaten van verschillende experimenten gedetailleerd besproken.

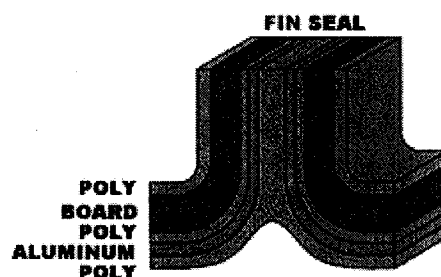
Hieronder volgen een aantal voorbeelden van hoge-drukprocessen uitgevoerd bij lage tot licht verhoogde temperaturen:

- Uit Japans onderzoek en uit tests bij Tetra Pak blijkt dat hoge druk geen gevolgen heeft voor de barrière-eigenschappen en de sterkte van het verpakkingsmateriaal. In sommige

gevallen bleken de barrière-eigenschappen zelfs beter te worden (details ontbreken). Tetra Pak adviseert voor hoge-drukbehandelingen aseptische verpakkingen (Tetra Pak is leverancier van aseptische vulsystemen). Het ideale verpakkingsmateriaal voor behandeling van producten onder hoge hydrostatische druk bestaat aan de binnen- en buitenkant uit kunststof, is warm sealbaar, is waterdicht en heeft optimale barrière-eigenschappen. Laminaten van PET/Al/CPP, PET/GLPET/CPP, PET/PVDC/ONy/CPP, KNy/PE, PP/PVDC/PP en PP/EVOH/PP voldoen aan deze eisen (Cramer, 1996).

- In een Frans patent wordt een 0.75 mm dik laminaat van PS/EVOH/PE met PE aan de binnenzijde van de verpakking gebruikt. Een flexibel stuk PE/PA/PE met een dikte van 0.3 mm aan de bovenzijde dient hierbij om de grootste vervormingen op te vangen. Als bovenfolie wordt een laminaat van aluminium met PE gebruikt (Briffa, 1996).
- Uit een ander Japans onderzoek bleek dat drukbehandelingen bij 600 MPa en 40°C gedurende 10 min of 5 achtereenvolgende behandelingen bij 300 MPa en 20°C gedurende 2 min geen invloed hadden op de barrière-eigenschappen voor waterdamp en zuurstof, op de treksterkte of sealeigenschappen van verschillende laminaten. Er vond geen verandering plaats in de barrière-eigenschappen voor aroma's bij EVOH en PVOH films. Films als nylon, EVOH en PVOH bleken soms 'slechte' plekken te vertonen na een drukbehandeling. Dit kan voorkomen worden door de EVOH-films te lamineren met dikkere hydrofobe films, het ethyleengehalte van EVOH te veranderen of door de duur van de drukbehandeling te verkorten. Uit deze tests kan geconcludeerd worden dat de fysische eigenschappen en de barrière-eigenschappen voor gassen en aroma's van EVOH en PVOH slechts licht worden aangetast bij drukbehandelingen. Ook EVOH en PVOH zijn daarom geschikt als verpakkingsmateriaal bij hoge-drukbehandelingen (Masuda, 1992).
- De mechanische en barrière-eigenschappen van meerlaagse plastics (LLDPE/EVA/EVOH/EVA/LLDPE) en meerlaagse aluminium folies (PET/Aluminium/PP) waren niet verminderd na een hoge-drukbehandeling bij 400 MPa en 60°C gedurende 30 min. Ook leidden de hoge-drukbehandelingen niet tot significante toenames in de migratie van componenten uit het verpakkingsmateriaal (Mertens, 1993).
- In Duits onderzoek is de migratie onderzocht van de aromastoffen p-cymeen en acetophenon in LDPE/HDPE/LDPE (12/12/12 µm), HDPE (14 µm) en PET/Al/LDPE (8/7/75 µm) bij drukken van 0.1 tot 500 MPa gedurende 60 min bij 25°C. De migratie van de aromastoffen in de onder hoge druk behandelde films bleek zelfs lager dan in de onbehandelde films te zijn, waarschijnlijk door een overgang in de glastoestand (Kübel, 1996). Ook Ochiai (1992) vond geen nadelig effect van hoge-drukbehandelingen op de migratie bij 25 en 60°C.

Geconcludeerd kan worden dat hoge-drukbehandelingen bij temperaturen van 20 tot 60°C en drukken van 300 tot 600 MPa weinig tot geen nadelige gevolgen hebben voor de barrière-eigenschappen en de treksterkte van het verpakkingsmateriaal. Verder hebben deze hoge-drukbehandelingen geen effect op de migratie van aromastoffen en stoffen uit het verpakkingsmateriaal, of wordt de migratie zelfs verminderd.



Figuur 2: Voorbeeld van een laminaat (Evergreen Packaging, 2000)

In dit onderzoek stegen de doorlaatbaarheden echter wèl (bij drukken tot 800 MPa en 45°C):

- In een Amerikaans experiment is een transparante PP / nylon-6 / PP film van 0.115 mm dik onderzocht. Verpakkingen werden gevuld met gedistilleerd water en gedurende 5 tot 20 minuten met 500, 600 en 800 MPa behandeld. De temperatuur werd telkens op 45°C gehouden. De treksterkte veranderde niet significant, maar de uitrekking van de film nam toe. Bovendien stegen de doorlaatbaarheden voor zuurstof, kooldioxide en waterdamp met maximaal 40% (Hernandez, 1999).

Om een idee te krijgen van het effect van hoge temperaturen op de barrière-eigenschappen, kan een vergelijking gemaakt worden met de omstandigheden tijdens sterilisatie. Wanneer verpakkingen gesteriliseerd worden, staan de materialen namelijk bloot aan een combinatie van hoge temperatuur en hoge relatieve vochtigheid. Wanneer producten in de verpakking gesteriliseerd worden, wordt wel gesproken van 'retort pouches'. In het onderstaande volgen een aantal voorbeelden:

- Hoge temperaturen en hoge relatieve vochtigheden beïnvloeden de doorlaatbaarheid van materialen als EVOH en PA sterk, zelfs als de temperatuur weer naar het oorspronkelijke niveau is teruggekeerd. Het water blijft namelijk enige tijd gebonden in het materiaal en verdwijnt pas na enige tijd weer. Wanneer PET of PC als buitenlagen bij meerlaagse EVOH films gebruikt worden (in plaats van PE of PP), dan zal het vocht sneller uit EVOH verdwijnen. Dit komt doordat de waterbarrière van PET ongeveer vier maal lager is dan de waterbarrière van PP, waardoor het water het materiaal ongeveer vier maal sneller zal verlaten (Axelson-Larsson, 1992).
- Ook Buchner (1993) concludeert dat EVOH waterdamp opneemt wanneer bijvoorbeeld soepen in 'retort pouches' van PP/EVOH/PP gesteriliseerd worden. De zuurstofbarrière blijkt na de stoombehandeling afgenomen te zijn. Soms is deze afname zelfs blijvend ('retort shock'). Bij aseptisch afgepaste verpakkingen van EVOH speelt dit probleem echter niet.
- Laminaten van EVOH kunnen bij sterilisatiebehandelingen delamineren en dof worden, gecombineerd met het (in eerste instantie) sterk afnemen van de barrière-eigenschappen. Zo kan de zuurstofdoorlaatbaarheid bijvoorbeeld direct na een sterilisatiebehandeling (30 min, 121°C) maar liefst 60 ml/m².dag.bar bedragen. Pas na 24 uur heeft het materiaal weer zijn oorspronkelijke zuurstofdoorlaatbaarheid van ca. 10 ml/m².dag.bar terug en is in dit geval dus niet blijvend (Eggers, 1998).
- Ramakrishna et al. (1997) onderzochten films van PP, PP/Nylon/PP (co-extruded) en CPET+PP (polyester gelamineerd aan PP) na een hittebehandeling bij 118-120°C. De scheursterkte ('tear strength') nam door deze hittebehandeling bij de PP/Nylon/PP film het sterkst (103%) en bij de gelamineerde CPET+PP film het minst (4%) toe. De treksterkte ('tensile strength') nam eveneens toe bij alle films, terwijl de uitrekking bij breuk ('elongation') afnam (bij PP een sterke afname). Dit duidt op een toename van de kristalliniteit na een hittebehandeling. De barststerkte ('bursting strength') en de sealsterkte namen bij alle films slechts marginaal af na behandeling. De lichttransmissie (bij 360 nm) nam ook overall af, terwijl de wazigheid ('haze') juist toenam. De chemische weerstand (tegen stoffen als kokend water, aceton, 10% NaOH, 10% HCl, 10% NaCl, toluen, H₂O₂ en CCl₄) nam bij PP en PP/Nylon/PP na behandeling toe, terwijl gelamineerd CPET+PP slechts een matige weerstand vertoonde. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat wat betreft de mechanische, optische en chemische weerstanden PP en co-extruded PP/Nylon/PP beter geschikt zijn voor toepassing in 'retort pouches' dan gelamineerde CPET+PP films.
- Een warmtebehandeling van 121°C gedurende 25 min met 100% stoom van PE/Aluminium/PP gaf vergeleken met de situatie voor de behandeling een toename in de treksterkte. Gedurende de behandeling vond echter tijdelijk een sterke afname van de treksterkte plaats. Bovendien bleek na afloop de compressiesterkte te zijn afgenomen (Roop, 1983).

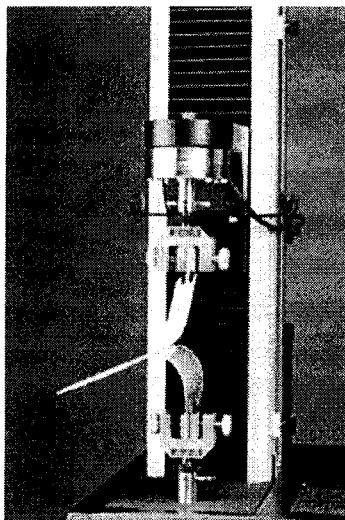
Uit deze voorbeelden kan geconcludeerd worden dat door de wateropname van EVOH de barrière-eigenschappen van dit materiaal onder sterilisatie-omstandigheden sterk afnemen.

Verder blijken PP en co-extruded PP/Nylon/PP beter geschikt zijn voor toepassing in 'retort pouches' dan gelamineerde CPET+PP films. Tenslotte was na sterilisatie de treksterkte van een PE/Aluminium/PP film weliswaar toegenomen, maar gedurende de behandeling vond echter tijdelijk een sterke afname van de treksterkte plaats.

Sealsterkte

Volgens methodes zoals beschreven in de ASTM-normen kunnen de treksterkte (D-882), uitrekking (D-638), sealsterkte (D-1876 en F-88-99) en scheursterkte (D-1922 en D-3420) gestandaardiseerd getest worden.

Franks (1999) geeft in het volgende een goede beschrijving van een methode om de sealsterkte te meten. Oorspronkelijk werd de waarde van de sealsterkte bepaald als de maximale kracht die nodig is om de gesealde lagen te scheiden. De methode waarbij de kracht in de tijd gevolgd wordt, voldoet echter beter. Meestal zijn in een kracht-tijd curve twee pieken te zien, één in het begin van de belasting en ééntje aan het einde van de belasting. De startpiek komt meestal overeen met de maximale kracht en is te vergelijken met een zwichtspanning: de kracht die nodig is om het scheiden van de lagen te starten is groter dan de kracht die nodig is om deze beweging in gang te houden. De tweede piek aan het eind van de curve wordt veroorzaakt door het feit dat de randen van een seal meestal bij een hogere sealdruk gevormd worden dan de rest van de seal.



Figuur 3: Een testmethode voor het meten van de treksterkte (Franks, 1999)

In het algemeen heeft een goede peelability van de seals het grote nadeel dat het verpakkingen minder sterk maakt en de kans op lekkage vergroot. Vooral wanneer de sealnaad met vette bestanddelen of met voedselrestjes vervuild kan worden, is de kans op lekkage van een peelable seal zeker niet ondenkbaar. Vooral bij verpakkingen die onder druk staan (bijvoorbeeld gasverpakkingen) of die een bepaalde behandeling moeten ondergaan (bijvoorbeeld pasteurisatie). Bij pasteurisatie kan overdruk ontstaan als gevolg van uitzetting van de inhoud (head space en product), terwijl bij gasverpakken overdruk bij het vullen kan ontstaan. Aan de andere kant kan er ook onderdruk in de verpakking ontstaan wanneer een verpakkingsgas oplost in het product (bijvoorbeeld CO₂ bij vis). 'Optimale' sealmedia hebben zowel goede sealeigenschappen als goede peelable eigenschappen. Gangbare sealmedia op basis van polyolefinen, zoals bijvoorbeeld metalloceen polyethyleen, sluiten goed maar zijn relatief moeilijk te openen (Anoniem, 2000).

Hoge drukken blijken geen nadelige gevolgen te hebben voor de sealsterkte en -integriteit van films van PET/Al/CPP, PET/GLPET/CPP, PET/PVDC/ONy/CPP, KNy/PE and ONy/CPP. Noch de sealsterkte noch de sealintegriteit werden aangetast door drukbehandelingen tot 400 MPa. Hitteseals zijn echter de enige afsluitingen die het hoge-drukproces voldoende doorstaan, andere afsluitingen zoals clips en twist-off doppen geven lekkage tijdens of na een

hoge-drukbehandeling. Geconcludeerd kan worden dat de sealsluiting het meest geschikt is voor hoge-drukbehandelingen (Mertens, 1993).

Ook in een ander onderzoek veranderden de treksterkte en de sealsterkte van gelamineerde films niet na een hoge-drukbehandeling bij 400 MPa en kamertemperatuur gedurende 30 min. Bovendien veranderden ook de zuurstof- en waterdampdoorlaatbaarheid niet. Ook hier is de conclusie dat de mechanische en gasbarrière-eigenschappen van verpakkingsmaterialen niet door hoge-drukbehandelingen worden aangetast (Ochiai, 1992).

Ter vergelijking de situatie bij sterilisatie en aseptische verpakkingsprocessen, waarbij seals behandelingen met H_2O_2 en met water en stoom van 130°C gedurende 30 min moeten kunnen weerstaan. Normaal gesproken wordt met 4.5-5.5 g sealmedium/m² gecoat. De bindingssterkte van een typische heat seal coating op enkele plastics bij sealtemperaturen van 160 - 200°C vertoont het volgende verloop: polystyreen > polyvinylchloride (PVC) > amorf polyester > polypropyleen (PP). Bij sealtemperaturen < 160°C neemt de bindingssterkte bij PP sterk af. Bij de andere plastics neemt de bindingssterkte in beperkte mate af (Verma, 1999).

Uit ongepubliceerde gegevens blijkt dat tijdens een behandeling onder sterilisatie-omstandigheden de sealsterkte van 'retort pouches' met maar liefst 85% kan dalen. Na de behandeling krijgt de seal zijn oorspronkelijke sterkte weer terug.

Uit het bovenstaande blijkt dat hoge drukken *bij kamertemperatuur* in het algemeen geen nadelige gevolgen hebben voor de sealsterkte en -integriteit. Deze conclusie blijkt echter niet te gelden bij sterilisatie.

Flexibiliteit verpakkingen

De overall flexibiliteit moet voldoende zijn om te compenseren voor de volledige compressie van de head space en de beperkte volumevermindering van het voedsel in de container. De head space moet niet alleen om deze reden minimaal zijn, maar ook om de compressie- en decompressietijden zo klein mogelijk te houden. Om drukbehandelingen bij rigide verpakkingsmaterialen als glas en metaal mogelijk te maken kan de totale flexibiliteit van de verpakking vergroot worden door drukzones aan te brengen of door glas of metalen containers te combineren met flexibele kunststof sluitingen (Mertens, 1995).

Het ideale verpakkingsontwerp past goed in een cilindervormig drukvat, bevat zo weinig mogelijk lucht of gas, kan tot 20% worden ingedrukt en veert dan weer terug, heeft geen scherpe hoeken, vouwen, etc. en is gebruiksvriendelijk (Cramer, 1996).

Uit gegevens uit de literatuur en uit onderzoek blijkt dat container-dekselcombinaties zonder beschadiging bij hoge druk behandeld kunnen worden wanneer er voldoende flexibiliteit bestaat om de beperkte compressie van het product en de volledige compressie van de lucht bij hoge druk op te vangen. Uit experimenten is bijvoorbeeld gebleken dat met water gevulde aluminium trays met een head space van 15% v/v niet beschadigd waren na een drukbehandeling bij 300 MPa bij kamertemperatuur gedurende 30 s. Ook semi-rigide meerlaagse kunststof bakjes en trays met meerlaagse kunststof of aluminium afdekfolies en 17% head space bleven intact na eenzelfde behandeling. Het hoge-drukproces is veel minder gevoelig voor variatie in de head space van de (kunststof) verpakking dan conventionele verhittingstechnieken. Bij conventionele verhitting kunnen variaties in de head space leiden tot een niet-volledige behandeling en grote schade aan de kunststof verpakking. Doordat de druk bij hoge-drukbehandelingen isostatisch is, wordt op het product overal dezelfde druk opgelegd, onafhankelijk van de head space van de verpakking. In het algemeen kan gesteld worden dat hoe groter de flexibiliteit van de verpakking is, hoe groter de head space in de verpakking mag zijn (Mertens, 1993). De flexibiliteit van het materiaal neemt onder hoge druk echter af, waardoor de verpakking toch beschadigd kan raken bij uitzetting van de head space gassen (ATO, 2000).

Head space gassen

Ook de maximale toelaatbare hoeveelheden lucht en gas en de vereiste sterkte van de seals zijn belangrijke punten. Verpakkingsmaterialen moeten een vervorming van 15 tot 20% kunnen verdragen en moeten daarna weer hun oorspronkelijke vorm aannemen. Bij rigide

verpakkingen is een lucht- of gasbel ter grootte van maximaal 30% van het totale volume van de verpakking nog toelaatbaar. Bij flexibele verpakkingen luistert de hoeveelheid lucht minder nauw omdat de verpakking mee veert met het verpakte volume. Materialen als karton zijn nog niet geschikt voor gebruik bij hoge-drukbehandelingen doordat deze gevoelig voor water zijn. Bepaalde gassen in Modified Atmosphere verpakkingen kunnen onder hoge druk bijwerkingen hebben, zoals de verkleuring van vleesproducten (Cramer, 1996).

De sterilisatie-efficiëntie van hoge-drukbehandelingen kan sterk beïnvloed worden door (het volume van) de head space gassen. Verpakkingen van PP/PVDC/PP (0.75 mm dik) werden gevuld met water tot een head space van 0 tot 30% bij 25°C. De drukbehandeling varieerde tussen 300 en 700 MPa gedurende 5 tot 15 min. Met zuurstof en lucht als head space gassen was de sterilisatie-efficiëntie laag. De verlaging van de efficiëntie bij gebruik van lucht leek door zuurstof veroorzaakt te worden. De efficiëntie was hoog bij kooldioxide, terwijl de aanwezigheid van stikstof geen invloed had. Kooldioxide en stikstof zijn dus aan te bevelen als head space gassen (Ochiai, 1992). De snellere diffusie van zuurstof en kooldioxide onder hoge druk kan een verklaring zijn voor de versterkte werking van deze gassen (ATO, 2000).

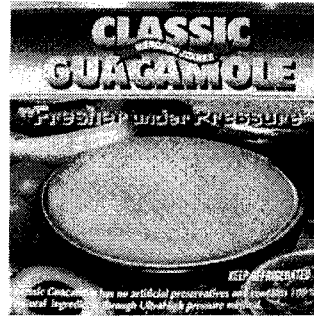
Levensmiddelen

Hoge hydrostatische druk verlengt de shelf life en modificeert de textuur, terwijl belangrijke ingrediënten als vitamines, aminozuren, geur- en smaakstoffen behouden blijven. Micro-organismen, enzymen en andere stoffen met een hoog moleculair gewicht worden geïnactiveerd en afgebroken. Kleine moleculen die de sensorische eigenschappen en de voedingswaarde bepalen blijven echter intact. Om bacteriesporen uit te schakelen is een hoge-drukbehandeling niet afdoende. Een effectieve inactivatie van sporen kan bereikt worden door een redelijke druk te combineren met pasteurisatietemperaturen (60-90°C). Ook om enzymen te inactiveren is een combinatie van hoge druk en verhoogde temperatuur noodzakelijk. Dit probleem kan echter omzeild worden door met hoge druk behandelde producten via de koelketen te distribueren, zodat de enzymactiviteit door de lage temperatuur geremd wordt.

Hoge hydrostatische druk is uitermate geschikt om de structuur van eiwitten en koolhydraten (zoals zetmeel) te veranderen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Eiwitten behouden hun natuurlijke kleur en smaak wanneer ze gelegeerd worden onder invloed van hoge druk. Onder hoge druk gevormde gelen zijn glanzend, glad en zacht en hebben een grotere elasticiteit dan gels die onder invloed van hitte zijn gevormd;
- Een druk van 100-150 MPa in combinatie met een verhoogde temperatuur (60°C) kan gebruikt worden om pre-rigor vlees te vermalsen;
- De verteerbaarheid van tarwe-, maïs- en aardappelzetmeel en ei-eiwit neemt toe bij een druk van 400 MPa bij 45-50°C;
- Cacaoboter kan met behulp van hoge druk in een stabiele kristalvorm omgezet worden (tempereren) (Mertens, 1992);
- Volgens Bergman (1994) zijn groentes (vooral groene erwten), kaas en worst erg geschikte kandidaten voor hoge-drukbehandeling. Liefst moeten de producten ook een watergehalte van minstens 30% hebben.

Bij sommige producten (kaas, eiprodukten, natte kruiden) heeft een hoge-drukbehandeling hetzelfde effect als pasteuriseren. Na een behandeling is de houdbaarheid van geperst vruchtensap vier tot 16 weken en van vers fruit vier maanden (Cramer, 1996). Onbehandeld hebben deze producten een houdbaarheid van enkele dagen tot een week. De houdbaarheid wordt hier vooral verlengd door de afdoding van bacteriën. Wanneer de hoge druk gecombineerd wordt met licht verhoogde temperaturen (bijvoorbeeld 45-65°C), kan in het algemeen met een druk van 300-400 MPa volstaan worden (Buchner, 1993).



Figuur 4: Spaanse ham en guacamole, beide behandeld met hoge druk (High Pressure Club, 2000)

De houdbaarheid van onder hoge druk behandelde guacamole neemt toe van 3 tot meer dan 30 dagen (Mermelstein, 1998). Andere levensmiddelen die geschikt zijn voor hogedrukbehandelingen zijn: fruit- en vruchtensappen zoals wortelsap en appelsap, sapconcentraten, dressings voor salades, marmelades en jams, vlees-, vis- en eiprodukten, ham, oesters, zalm, yoghurt, ijs (met onbevroren vruchten), dressings met vruchten, soepen en wijnen. Een houdbaarheid van 60 dagen bij koelschaptemperaturen is voor sommige van deze producten geen uitzondering. Fruitsappen, yoghurt en andere zure producten worden gedurende 15 min bij 600 MPa behandeld (Cramer, 1996; Mermelstein, 1998).

Gekookte gesneden Spaanse ham heeft na een drukbehandeling een shelf life van 8 weken bij 4°C, terwijl onbehandelde ham slechts 3 weken houdbaar is. De toegepaste druk bedraagt 400 MPa gedurende 7 min, plus 8 min 'holding time' en de compressievloeistof is water. Ook komen kant-en-klaar maaltijden, rijst en pasta- en vleessauzen in aanmerking voor behandeling. In Finland zijn visproducten als snoekbaars filet, warme en koude gerookte zalm en kuit van Baltische haring onder hoge druk onderzocht. De monsters werden verpakt in vacuüm in nylon-EVOH gelamineerde verpakkingen en behandeld bij 500-700 MPa bij 15-25°C gedurende 5 min. De drukbehandeling bleek de groei van aërobe bacteriën te remmen en de groei van H₂S-producerende bederfbacteriën te verhinderen. De aërobe bacteriën in verse vis zijn echter relatief resistent tegen hoge druk. Uit de resultaten blijkt dat hogedrukbehandelingen veelbelovend zijn voor voorbehandelde visproducten, vooral warm gerookte zalm (Byrne, 2000).

Proces

De drukbehandeling vindt plaats in een drukvat, wat gevuld wordt met het verpakte product. Als drukmedium dient vaak water. Hierbij is een klein gehalte aan olie noodzakelijk voor smering en om corrosie te voorkomen. Ook kunnen minerale of plantaardige oliën met een lage viscositeit als drukmedium gebruikt worden. Wanneer zuiver (gedistilleerd) water gebruikt wordt, moet de apparatuur in roestvrij staal uitgevoerd worden (Mertens, 1995). Bij drukbehandelingen moet overigens rekening gehouden worden met volumereducties van de drukvloeistof van (maximaal) 17% (Deplace, 1995).

Hoge-drukbehandelingen kunnen op verschillende wijzen worden uitgevoerd:

- Producten eerst verpakken in een bulkverpakking, dan met hoge druk behandelen en vervolgens verwerken. Dit heeft als voordeel dat de verpakking tegelijk met het product behandeld wordt. Nadelen zijn echter de speciale eisen die gesteld worden aan de verpakkingen (bijvoorbeeld wat betreft seals en head space, zoals eerder in dit hoofdstuk besproken) en het risico van besmetting van het product bij ompakken (zie ook in het hoofdstuk over aseptisch verpakken).
- De producten eerst verpakken in consumentenverpakkingen en dan met hoge druk behandelen. Voordeel hierbij is dat er geen risico op besmetting bestaat. Deze methode heeft echter een aantal nadelen: de verpakkingen moeten voldoen aan speciale eisen (seals, head space, etc.), de ruimtebenutting in het drukvat komt niet boven de 50 tot 70% en de methode gaat gepaard met een complexere handling.
- Het product wordt eerst in bulk met hoge druk behandeld, waarna het verpakt wordt. Dit heeft als voordeel dat er geen speciale eisen aan verpakking gesteld worden en dat de benutting van het drukvat optimaal (~100%) is. Een ander voordeel is de hoge

productiesnelheid. Een nadeel van deze methode is dat er hoge eisen gesteld worden aan de hygiëne van de drukapparatuur en van het verpakkingsproces na behandeling. Bovendien is de bulkbehandeling alleen toepasbaar bij verpompbare, niet-stukkige levensmiddelen. Verder vergen de bij deze methode gebruikte drukken van boven de 400 MPa veel van voorzieningen als kleppen e.d. (Deplace, 1995; Cramer, 1996).

Wat betreft de kosten, volgens recente berekeningen is een omzet van 3000 ton product per jaar nodig om de kosten voor de hoge-drukbehandeling onder de 0.15 € per liter of kg product te houden (Byrne, 2000). Volgens cijfers van Tetra Pak (1996) kost een drukvat met randapparatuur tussen 1.2 en 7 miljoen gulden. Verder stijgen de productiekosten als gevolg van gewenste druk, de cyclustijd, de grootte van het drukvat en de gemiddelde benuttingsgraad van de installatie. De productiekosten per liter product nemen volgens Tetra Pak met gemiddeld fl. 0.10-0.50 toe, exclusief de verpakking (Cramer, 1996). Bergman (1994) kwam op totale productiekosten van 0.035 tot 0.26 US\$/L (afhankelijk van de productiecapaciteit).

Conclusies

Wanneer met lagere drukken (bv. 400 MPa) en lagere temperaturen gewerkt wordt, kunnen eenvoudigere en goedkopere verpakkingsmaterialen gebruikt worden dan bij hoge druk en temperatuur. Dergelijke lagere drukken en temperaturen kunnen in combinatie met andere conserveringstechnieken goede resultaten geven. Zo kunnen door de combinatie van een hoge-drukbehandeling met de toediening van bacteriocines of andere conserveringsmiddelen de benodigde druktijd en de hiermee gepaard gaande kosten aanzienlijk verlaagd worden (Mermelstein, 1998).

Het uitvoeren van hoge-drukbehandelingen op producten in consumentenverpakkingen heeft het grote voordeel dat er geen risico bestaat op nabesmetting. Het product hoeft immers niet meer omgepakt te worden. Bovendien hoeft het product niet verpompbaar te zijn en mag het veel vaste deeltjes bevatten, in tegenstelling tot behandeling van producten in bulk.

Om enzymen en bacteriesporen te inactiveren is echter alleen een hoge-drukbehandeling vaak niet afdoende. Door een hoge-drukbehandeling bij bijvoorbeeld pasteurisatietemperaturen uit te voeren kan echter wel de gewenste houdbaarheid verkregen worden. Zoals uit dit hoofdstuk blijkt kunnen materiaaleigenschappen als barrière-eigenschappen en trek- en sealsterkte echter (blijvend) aangetast worden na behandeling in de verpakking. Deze problemen kunnen voorkomen worden door de hoge-drukbehandeling bij omgevingstemperatuur uit te voeren en de producten via de koelketen te distribueren. De houdbaarheid kan dan 3 tot 10 maal verlengd worden, uiteraard afhankelijk van het product.

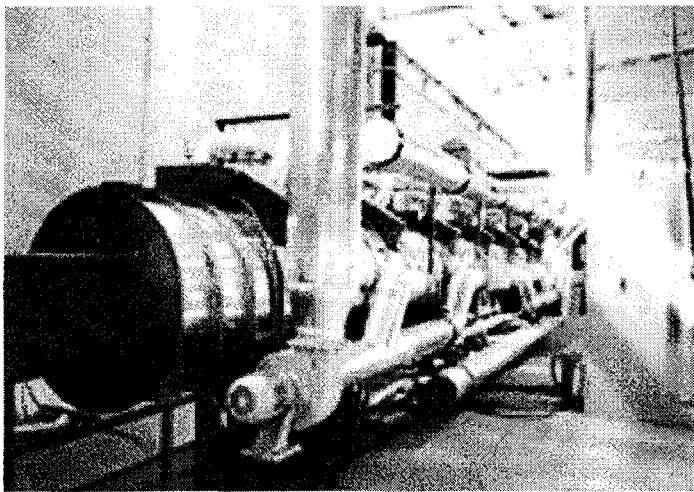
Hoge-drukbehandelingen kunnen ook gecombineerd worden met Modified Atmosphere verpakkingen. De head space mag dan maximaal 30% bedragen. De effecten van de head space gassen zijn vergelijkbaar met de situatie onder atmosferische omstandigheden. Zo verlaagt zuurstof de efficiëntie van de drukbehandeling en beperkt daarmee de houdbaarheid. Kooldioxide geeft een hoge efficiëntie en stikstof heeft geen invloed.

Bij al deze aspecten (materiaaleigenschappen, koelketen, MA-verpakkingen) in relatie tot hoge-drukbehandeling zou de afdeling een rol kunnen spelen.

Magnetronverhitting

Inleiding

Microgolven worden gereflecteerd door metalen en doorgelaten door elektrisch neutrale materialen als glas, de meeste kunststoffen, keramiek en papier. Microgolven worden echter geabsorbeerd door elektrisch geladen materialen en moleculen. Hierop is het verhittingsproces in magnetrons gebaseerd. Wanneer namelijk de richting van het elektrische veld met een bepaalde frequentie wisselt (2450 MHz in huishoudmagnetrons), veranderen polaire watermoleculen met dezelfde frequentie van oriëntatie. Hierdoor komt kinetische energie vrij, waarmee een product opgewarmd kan worden. De opwarmings- of indringingsdiepte van de microgolven in een product hangt af van de toegepaste frequentie: hoe lager de frequentie, hoe groter deze indringingsdiepte is. Een lagere frequentie geeft ook een meer uniforme opwarming. Zo worden bevroren blokken vlees wel bij 896 of 915 MHz opgewarmd. Bij hogere temperaturen (> 60°C) zijn de verschillen tussen de frequenties echter te verwaarlozen. Bij pasteurisatie en sterilisatie in verpakkingen wordt om deze reden in de praktijk bijna altijd de standaard 2450 MHz gebruikt (Coles, 1993; Mullin, 1995).



Figuur 5: Industriële magnetron van Linn

Verpakkingsmaterialen

Hittebestendigheid

De temperatuurbestendigheid van een aantal verpakkingsmaterialen bedraagt (Coles, 1993):

Keramiek	> 500°C
Glas	> 500°C
CPET	220-260°C
Met PET gecoat karton	210°C
PP	160°C
HDPE	130°C

Zoals uit dit lijstje blijkt is CPET de enige kunststof die bestand is tegen oventemperaturen. Het is ook een relatief dure kunststof. Echt noodzakelijk is de toepassing van PET alleen voor producten die met verpakking en al gegratineerd moeten worden. Vandaar dat maar weinig fabrikanten kiezen voor ovenschaaltjes van kristallijn PET. Hoge dichtheid polyethyleen (HDPE), PP en geëxpandeerde PP (xPP) hebben met elkaar gemeen dat ze zowel voor pasteurisatie van maaltijden in de verpakking als voor verwarming in de magnetron thuis gebruikt kunnen worden. HDPE blijft vormvast tot circa 110°C, terwijl PP temperaturen tot 125°C kan hebben. Voor xPP ligt de veilige grens rond de 120°C. Bij HDPE betreft het daarbij altijd gespuitsgiete verpakkingen, omdat dit materiaal in tegenstelling tot PP (xPP) niet geschikt is om diep te trekken. Bij PP kan dit wel, alleen vereist dit nogal wat voorverwarmcapaciteit. Wat kosten betreft is HDPE een fractie duurder dan PP. Het luchtige en daardoor materiaalbesparende xPP kan 15 tot 20% goedkoper uitvallen dan gewone PP.

Het moet dan wel gaan om hoeveelheden van vijf miljoen diepgetrokken verpakkingen of meer, aantallen die op de Nederlandse markt lang niet altijd haalbaar zijn. APET-verpakkingen bieden een nog goedkopere oplossing dan PP. Om die reden worden er bijvoorbeeld laaggeprijsde bami- en nasmaaltijden in verpakt, zoals die van Het Verre Oosten. APET levert een besparing van 5 tot 10% in de materiaalkosten ten opzichte van HDPE en PP. APET is echter maar stabiel tot 70°C en dus ongeschikt voor pasteuriseren, laat staan voor een aantrekkelijke presentatie na verwarming in de magnetron (Hentzepeter, 2000).

Er bestaan een aantal varianten op CPET die bestand zijn tegen hogere temperaturen (Rubbright, 1990):

- Gemengd CPET: door mineralen en andere polymeren met CPET te mengen neemt de rigiditeit bij hogere temperaturen toe,
- PCTA (polycyclohexane terephthalate-acid), heeft een hogere smelttemperatuur (ongeveer 10°C) dan CPET,
- Met mica gevuld nylon, kan een alternatief vormen voor CPET. Normaal nylon laat microgolven slechts in beperkte mate door en is dus alleen in zeer dunne lagen te gebruiken.

Ook kan (C)PET verwerkt worden in laminaten. Voorbeelden hiervan zijn: PET/PP/EVOH/PP, gemetalliseerd PET/PP, PET/PVDC/PE, PET/SiOx/PE, PET/OPA/CPP, Met.PET/PE, PET/PVDC/PE, PET/SiOx/PP en PET/amorf PA/CPP (Coles, 1993).

Bij nagenoeg alle MAP verpakkingen voor gebruik in de magnetron bestaat het materiaal dat direct in contact met het voedsel staat uit PET. PET wordt ook in combinatie met andere kunststoffen gebruikt om het gebruiksgemak te verhogen. Zo kan het in PET verpakte product omgeven worden door een bakje van bijvoorbeeld UPVC (unplastified polyvinylchloride), zodat het geheel koel blijft om beet te pakken (Greengrass, 1998).

Er bestaan echter ook varianten zonder CPET. Semi-rigide materialen die commercieel toegepast worden bij magnetronverhitting zonder susceptoren (temperaturen rond 100°C) zijn:

- PP/EVOH/PP, PP/PVDC/PP en PS-PP/EVOH/PP (extra hitteresistent) voor sauzen, kant-en-klaar maaltijden en pasta's,
- (HT)PS/EVOH/PP voor (dip)sauzen (met hitteresistent PS),
- PP / gevuld PP / EVOH / gevuld PP / PP voor kant-en-klaar maaltijden,
- PS/PVDC/PS voor dipsauzen en gepasteuriseerde kaas.

Andere flexibele laminaten die toegepast bij magnetronverhitting zijn: OPA/SiO/PE, OPA/PVDC/PE, OPA/PVOH/PA/PE, OPP/SiOx/OPP en OPA/CPP. De laminaten met OPP en PE als binnenmateriaal zijn alleen te gebruiken bij pasteurisatie (temperatuur rond 80°C) (Coles, 1993). Verder is de kunststof Ultem van General Electric Plastics speciaal ontwikkeld voor toepassing bij hoge temperaturen. Het is hier nog beter tegen bestand dan CPET. De hoge prijs vormt echter een grote belemmering voor verdere toepassing (ATO, 2000).

Zoals eerder in dit hoofdstuk besproken, is een belangrijke vereiste echter de doorlaatbaarheid voor microgolven. Een goede doorlaatbaarheid voor microgolven gaat echter niet altijd gepaard met een goede zichtbaarheid van het product. Zo zijn teflon en keramiek bijvoorbeeld wel transparant voor microgolven, maar echter nauwelijks voor licht (Coles, 1993). Met een combinatie van PS en Noryl (polyphenyleen oxide) kunnen zeer dunne verpakkingen gevormd worden. Dit materiaal is echter niet doorzichtig. Polycarbonaat is daarentegen wel weer doorzichtig (Snel, 1998).

Susceptoren

Om bij magnetronverhitting aan het oppervlak van producten bruinkleuring en een knapperige en krokante textuur te laten ontstaan moeten oppervlaktetemperaturen van hoger dan 150°C bereikt worden. Zonder speciale voorzieningen worden in een magnetron echter geen hogere temperaturen dan 110°C bereikt. Om hogere temperaturen te bereiken kunnen energie-absorberende susceptoren toegepast worden. Een veelgebruikt susceptormateriaal bestaat uit een gemetalliseerde PET film (optische dichtheid aluminium 0.25-0.35), wat met behulp van een polyurethaan lijmlaag op karton gelamineerd wordt. Bij hogere gehalten aan

aluminium vindt een grotere energie-opname plaats in het materiaal, wat leidt tot een sterkere verhitting (Zuckerman, 1995).

Meestal bestaan magnetronsusceptoren uit twee of drie laminaten. De bilaminaten bestaan uit een PET film gecoat met een dun laagje aluminium, wat op karton gelijmd is. De PET film staat hierbij in contact met het voedsel. Trilaminaten bestaan ook uit een gemetalliseerde film met aan de achterzijde karton, maar bevatten aan de zijde die in contact staat met het voedsel ook nog een laagje papier. Susceptoren kunnen snel hoge temperaturen ($> 200^{\circ}\text{C}$) bereiken. De temperaturen in de laminaat kunnen nog hoger zijn, waardoor de PET film kan krimpen en breken. Bij bilaminaten kan onder deze extreme omstandigheden zelfs migratie van componenten uit de PET- en de lijmlaag optreden (Castle, 1995).

Bij een test was na 60 s verwarming in een 700 W magnetron de susceptor behoorlijk aangetast: in het oppervlak waren gaten en breuken aanwezig en de kristalliniteit was afgenomen. De temperaturen aan het susceptor/product contactoppervlak waren significant hoger dan in de rest van het product (Zuckerman, 1995). Onder deze extreme omstandigheden kan migratie optreden. Verderop in dit hoofdstuk wordt hier nader op ingegaan.



Figuur 6: Pizza gebakken in een susceptorverpakking (A.D.Tech, 2000)

Een voorbeeld van een 'slimme' toepassing van een susceptor, is de volgende. Bij deze toepassing wordt de temperatuur begrensd, zodat de migratie beperkt blijft. Polyester film (dikte $12\text{ }\mu\text{m}$) wordt semi-transparant gecoat met aluminium (lichttransmissie $\sim 60\%$; dikte $0.001\text{ }\mu\text{m}$) en op papier of karton gelijmd (dikte lijmlaag $3\text{ }\mu\text{m}$). Bij een experimentele 'lage temperatuur' susceptor (die smelt bij een vrij lage temperatuur) werd PP (smeltpunt 170°C) in plaats van PET (smeltpunt 240°C) gebruikt. Bij 'un-oriented' PP werd geen temperatuurbegrenzing waargenomen, maar bij 'biaxially oriented' PP stopte de opwarming toen PP ging smelten ($\sim 170^{\circ}\text{C}$). Een laagje PP in de susceptor kan zo als temperatuurbegrenzer optreden, terwijl PET de barrière vormt tussen het gesmolten PP en het product (Turner, 1991).

Levensmiddelen

Toepassingen

In huishoudens worden magnetrons op grote schaal gebruikt. Het gebruik van magnetrons op industriële schaal begint op gang te komen, bijvoorbeeld voor de pasteurisatie van kant-en-klaar maaltijden (Delta Dailyfoods) en voor het behandelen van blokken vlees of vis. Een andere toepassing is het mild drogen van grondstoffen, bijvoorbeeld van fruit. Ook worden magnetrons ingezet bij de bereiding van chocolade, waar dankbaar gebruik gemaakt wordt van de flexibiliteit van magnetronverhitting: het snel en kortstondig bereiken van hoge temperaturen (Byrne, 2000). Ook kunnen met behulp van magnetrons op industriële schaal bak- en droogprocessen aanzienlijk verkort worden (Linn, 2000).

De meeste op magnetrontechnologie gebaseerde commerciële sterilisatiesystemen worden toegepast op onverpakte producten. Bij verpakte producten moeten allereerst de verpakkingsmaterialen hoge temperaturen kunnen weerstaan. Verder ontstaat intern een

verhoogde druk als gevolg van de vorming van stoom door vocht afkomstig uit het product. Bovendien zetten de head space gassen uit. De toepassing van een stoomventiel kan een oplossing voor deze problemen vormen. In ieder geval dient hierbij de juiste balans tussen verpakkingsintegriteit en afdoende hittebehandeling gevonden te worden (Coles, 1993).

Migratie

De veelgebruikte PET films in magnetronverpakkingen vormen geen barrière tegen de migratie van lijmcomponenten uit deze laminaten. Hier is de laatste jaren veel onderzoek naar verricht. In dit stuk worden een aantal voorbeelden behandeld.

Lijmcomponenten zoals diglycidyl ether van Bisfenol A (DGEBA) kunnen uit PET films migreren. Wanneer olie of voedsel tijdens het bakken in een magnetron in contact is met de PET susceptor film kan deze migratie in het product plaatsvinden. Zo migreert rond de 30% van DGEBA en dibenzooat 'plasticizers' het voedsel in tijdens het bakken (6.5 min op vol vermogen bij een magnetron van 700 W). Voor DGEBA werd de Europese norm van maximaal 0.02 µg/g bij het bereiden van een bevroren taart gevuld met vlees en groentes met 1.33 µg/g ruim overschreden (Begley, 1991).

Omdat bij de verhitting van vette producten migratie sneller op kan treden dan bij andere voedingsmiddelen, wordt aangeraden vette producten in de magnetron in glas te verhitten en niet in kunststof materialen (CSIRO, 1994). Ook in de literatuur is de sterke migratie van lijmcomponenten in vethoudende producten als vlees een bekend en meermalen onderzocht verschijnsel. Omdat dit overzicht echter meer gericht is op verpakkingsmaterialen dan op de gevolgen voor de verpakte producten, worden in deze paragraaf alleen enkele voorbeelden gegeven om een indruk van deze effecten te krijgen.

Zo werden in een Fins experiment een aantal plastics (EVA, LDPE, HDPE, PP, PE, PET, PVDC, PA) en een aantal laminaten (PP/PA/PP, PP/EVOH/PP, LDPE/PA) getest bij 5 min op 650 W. Ook werden een aantal gecoate kartons onderzocht: 'foodboard', 'solid board' en golfkarton. De coating bestond uit LDPE (40 g/m²), PP en PET (beide 20 g/m²). Alle migratiewaarden in de simulatieproducten (gedistilleerd water, 3% azijnzuur, olijfolie) bleven onder de 1 mg/dm², zelfs bij plastics die geheel vervormden tijdens de verhitting. Dit was het geval bij op ethyleen polymeren en op ethyleen-vinyl acetaat copolymeren gebaseerde plastics. Hiernaast kwamen in zeer geringe hoeveelheden vluchtige stoffen vrij. Bij sensorische tests kwam naar voren dat de PET coating off-flavours als gevolg van migratie voorkwam, dit in tegenstelling tot PE en PP waar wel afwijkende geuren ontstonden. Deze overdracht van off-flavours is afhankelijk van de dikte van de film (Sipiläinen-Malm, 1991).

Om deze migratie van vluchtige componenten uit het verpakkingsmateriaal, de drukinks of de lijm te voorkomen, worden op steeds grotere schaal oplosmiddelvrije drukprocessen en alternatieven voor hotmelts gebruikt. Zo zijn er sinds enkele jaren warmmelts op de markt, waarvan de verwerking bij 100-120°C plaats kan vinden. Dit is 60-80°C lager dan bij hotmelts. Door de lagere temperatuur gaat de gesmolten lijmmassa niet roken en komen er geen geuren vrij die de smaak van het product kunnen beïnvloeden.

Het risico op het ontstaan van off-flavours in producten is de laatste jaren in zekere zin toegenomen, doordat fabrikanten de hoeveelheid gebruikt verpakkingsmateriaal fors hebben teruggebracht. Niet alleen omverpakkingen zijn verdwenen, maar ook de wanddikte van materialen is teruggebracht. Veel oxidatie- en UV-gevoelige producten worden tegenwoordig niet meer verpakt in gelamineerd aluminium, maar zijn verpakt in gemetalliseerde foliesoorten. Dit geldt onder andere voor producten als soepen, chocolade en koffie. Een gemetalliseerde folie laat echter al snel tien keer zo veel zuurstof door als een ouderwets aluminiumlaminaat. Daarbij dringen meer licht en waterdamp door de verpakking heen. De barrière-eigenschappen komen echter aardig in de buurt van aluminium als er lagen polyamide (nylon) of EVOH worden ingebed in de folie. De zuurstofbarrière van PET kan verhoogd worden door een carboncoating aan te brengen. In plaats van PET kan ook het minder doorlatende PEN (polyethyleennaftalaat) gebruikt worden (Hentzepeter, 2000):

Proces

Qua processing hebben de eerste generatie susceptoren van aluminium een aantal nadelen: slechts een beperkte hoeveelheid hitte (350-400°C) kan met een beperkte snelheid (40-60 J/cm².min) gegenereerd worden. Bovendien worden verschillende delen van een product of

een maaltijd evenredig verhit, terwijl soms gewenst is om de verhitting alleen lokaal plaats te laten vinden. Door andere metalen als nikkel, kobalt, ijzer en roestvrij staal te gebruiken en deze met verschillende dichtheden aan te brengen in een verpakking, kan de hitteontwikkeling in een product veel beter gestuurd worden. Op deze manier kunnen de onderdelen van een magnetronmaaltijd heel selectief behandeld worden. Van één maaltijd kunnen zo tegelijkertijd de friet knapperig bruin gebakken worden en het vlees gekookt worden, terwijl de groentes slechts licht aangegaard worden (Smith, 1990).



Figuur 7: Kant-en-klaar maaltijden worden in een industriële magnetron gepasteuriseerd (Coles, 1993)

Bij traditionele sterilisatie van voedsel in de verpakking verloopt de opwarming tot de gewenste temperatuur slechts zeer geleidelijk, terwijl de verhitting in de magnetron veel sneller gaat. Zo is het product bij magnetronverhitting alweer afgekoeld tot de omgevingstemperatuur, als bij het traditionele proces de verhitting nog in volle gang is. Verder wordt bij verhitting van homogene producten in de magnetron al na enkele minuten een uniforme temperatuurverdeling bereikt. Bij de traditionele verhitting van 'retourt pouches' daarentegen is de kern bijvoorbeeld pas 20 minuten later dan de rand van het product op temperatuur. Magnetronverhitting kan als nadeel hebben dat de temperatuur van de randen van het product gedurende korte tijd (in de orde van 1 tot 2 minuten) enkele graden hoger uitvalt dan de streef temperatuur. Met behulp van susceptoren kan dit effect op een gecontroleerde manier versterkt worden om de gewenste bruining te verkrijgen (Coles, 1993).

Conclusies

Magnetrons zijn goed toe te passen bij de sterilisatie van levensmiddelen. Het grote voordeel is de snelle en uniforme verhitting met geringe mechanische schade, waardoor het product zijn verse eigenschappen zoveel mogelijk behoudt. De afkoeltijd is echter net als bij de conventionele technieken relatief lang, met (geringe) nadelige gevolgen voor de kwaliteit (Buchner, 1993).

De grote voordelen van magnetronverhitting van producten in de verpakking zijn de snelheid en het gebruiksgemak. Als nadeel geldt dat voldoende hoge temperaturen om een bruine korst te krijgen alleen met susceptoren te bereiken zijn. Bij de toegepaste hoge temperaturen kan echter migratie van lijmcomponenten uit de susceptorlaminaten in het product optreden wanneer het product in contact staat met de susceptor. Dit probleem speelt vooral bij producten die relatief veel olie of vet bevatten. Een goed ontwerp van de verpakking en de juiste keuze van de materialen (varianten van PET) zijn hierbij dus erg belangrijk. Verder kunnen de uitzettende head space gassen een hoge interne druk in de verpakking veroorzaken, wat speciale eisen aan de verpakking stelt. De afdeling zou bij deze aspecten een rol kunnen spelen.

Pulserend elektrisch veld

Inleiding

Met behulp van 'pulsed electric fields' (PEF) kunnen de meeste microbiële cellen geïnactiveerd worden, terwijl de sensorische eigenschappen en de voedingswaarde van het behandelde product nauwelijks aangetast worden. Bij PEF wordt een verpompbaar vloeibaar product herhaaldelijk blootgesteld aan korte pulsen (1-10 μ s) van een hoog voltage elektrisch veld (10-50 kV/cm). In tegenstelling tot bij elektrische weerstand verhitting (ohmic heating) wordt bij PEF geen hitte ontwikkeld maar worden de microbiële cellen door het sterke elektrische veld beschadigd of gedood.

Het dodelijke effect op micro-organismen is erg afhankelijk van de sterkte van het elektrische veld en van de duur en de vorm van de pulsen. Met zogenaamde 'harde' pulsen kunnen plantaardige en dierlijke cellen ontregeld worden. 'Medium sterkte' pulsen kunnen micro-organismen doden, terwijl 'zachte' pulsen met een lage veldsterkte gebruikt kunnen worden om het metabolisme van micro-organismen juist toe te laten nemen. Wat het behandelde product betreft zijn de elektrische geleidbaarheid, de temperatuur en de pH van belang. Om ook enzymen, die beter bestand zijn tegen PEF, te inactiveren kan PEF gecombineerd worden met andere milde technieken. Om ook (hitte)resistente sporen onschadelijk te maken zijn in de meeste gevallen aanvullende technieken of aangepaste omstandigheden vereist (Mertens, 1995; Byrne, 2000).

De vorm van de golf en de pulsenfrequentie zijn de twee meest kritische factoren in de inactivatie van bacteriesporen door PEF. Laag frequente golfvormen die snel uitdoven zijn veel minder effectief dan krachtige golven met pulsenfrequenties in de orde van kHz. Bovendien zijn sporen tijdens kieming en uitgroei gevoeliger voor inactivatie. Vooral PEF-behandelingen van producten met een lage pH in combinatie met organische zuren is effectief (Barbosa-Cánovas, 1999). Verder bepalen de verblijftijd van het product in de behandelkamer, de frequentie van de pulsen, de duur, intensiteit en de vorm ervan de effectiviteit van de behandeling (Dunn, 1995).

Verpakkingsmaterialen

In de behandelkamer dient elektrisch isolerend materiaal te worden gebruikt dat geschikt is voor het gebruik met levensmiddelen (richtlijnen van de European Hygienic Equipment Design Group). De behandelingskamer bestaat uit twee electrochemisch inerte electrodes waartussen het product passeert. Tussen deze electrodes worden pulsen van een elektrisch veld met een hoge intensiteit opgelegd. Voorbeelden van toegestane materialen zijn Delrin en harsmaterialen. Typische procestemperaturen liggen tussen 30-50°C. De elektrische pulsen kunnen leiden tot een lichte warmte-ontwikkeling in het product. Soms worden ook niet-vloeibare producten met PEF behandeld. De moeilijkheid hierbij is om het transport van het product in de apparatuur aseptisch plaats te laten vinden. Transportbanden e.d. raken namelijk gemakkelijk vervuild en zijn moeilijk schoon te houden (Dunn, 1995; ATO, 2000).

Levensmiddelen

Niet alle levensmiddelen zijn zondermeer met PEF te behandelen. Onregelmatigheden in een product zoals luchtbellens en vaste deeltjes kunnen een niet-uniforme behandeling tot gevolg hebben, wat gepaard kan gaan met vonken en uiteindelijk schade aan het product. Met PEF-behandelingen zijn de meeste micro-organismen, sommige enzymen en enkele soorten sporen af te doden. Vooral de inactivatie van gisten (voornamelijk *Saccharomyces cerevisiae* in bijvoorbeeld fruitsappen) verloopt zeer efficiënt (Barbosa-Cánovas, 1999).

Hier volgen een aantal voorbeelden van PEF-behandelde producten. Met PEF behandelde appelsap had bij 4°C een shelf life van meer dan 3 weken. Eieren (in vloeibare vorm) zijn langer dan 4 weken te bewaren bij koelkasttemperatuur wanneer de PEF-behandeling met een milde hittebehandeling gecombineerd wordt. Melk was na pasteurisatie met PEF langer dan 28 dagen te bewaren bij koelkasttemperatuur. Verse, onbehandelde melk is daarentegen slechts enkele dagen houdbaar (Impact Center, 1998). Uit andere experimenten blijkt dat verse appelsap bij een bewaartemperatuur van 4-6°C na behandeling 21 dagen houdbaar was. Bij dezelfde bewaartemperatuur waren verse melk 14 dagen, geklopte eieren 28 dagen

en erwtensoep 10 dagen houdbaar (Barbosa-Cánovas, 1999). Onbehandeld zijn deze producten bij dezelfde temperaturen slechts enkele dagen houdbaar.

Proces

PEF-behandelingen vinden vaak 'in line' plaats op vloeibare producten. Dit proces is meestal geïntegreerd met een aseptische verpakkingsmachine waar kunststof verpakkingen onmiddellijk na de PEF-behandeling door middel van hitte gevormd worden. Op deze manier wordt nabesmetting voorkomen. Bij sinaasappelsap werd zo 99.9% van de microflora gedood, terwijl vergeleken met pasteurisatie meer smaak en vitamine C overbleef (Qiu, 1998). Bij producten als melk, vruchtensappen en dressings geeft PEF een vergelijkbare afdoding als pasteurisatie, terwijl de sensorische eigenschappen intact blijven. PEF is daarmee een vorm van lage temperatuur pasteurisatie (Dunn, 1995).

Bij de PEF-behandeling van de in de vorige paragraaf besproken producten appelsap, verse melk, geklopte eieren en erwtensoep waren de procesomstandigheden als volgt. De behandelingsduur bedroeg telkens 2 μ s, waarbij de producten werden blootgesteld aan 10-20 pulsen bij een veldsterkte van 35-50 kV/cm. De begintemperatuur was telkens 8°C en de maximale behandelingstemperatuur 45-50°C. De behandeling van erwtensoep was afwijkend: hier bedroeg het aantal pulsen 32 en waren de begin- en eindtemperatuur respectievelijk 32 en 53°C (Barbosa-Cánovas, 1999).

Zoals al eerder besproken, is PEF een continu proces waarbij na behandeling aseptisch afgevuld dient te worden. Wanneer echter alleen de vegetatieve cellen afgedood worden en sporen niet, is een minder strenge vorm van aseptisch verpakken, namelijk hygiënisch verpakken, voldoende. Bij hygiënisch verpakken wordt nabesmetting van het product zo veel mogelijk voorkomen door onder (zeer) schone omstandigheden te verpakken (ATO, 2000).

De kosten tenslotte van PEF-apparatuur op industriële schaal (1000 – 10 000 L/uur) liggen in de orde van 500 000 – 1 000 000 US\$. De operationele kosten zijn daarentegen laag (~ US\$ 0.2/L) vanwege de lage energiekosten. De energieconsumptie van conventionele hittepasteurisatie bedraagt 100 J/ml terwijl deze bij PEF slechts 1.3 J/ml is. De verwachte levensduur van een hoge puls voltgenerator bedraagt 4-5 jaar bij een gemiddeld gebruik van 20 uur/dag (Barbosa-Cánovas, 1999). In 1995 koppelde Dunn de volgende kosten aan PEF: minder dan US\$ 0.004/L, inclusief afschrijving, electriciteit (0.1 J/ml) en onderhoud. Het veronderstelde energieverbruik is echter nogal laag vergeleken met het verbruik dat Barbosa-Cánovas (1999) noemt.

Conclusies

PEF en andere nieuwe technologieën lijken de meeste potentie te hebben in combinatie met conventionele behandelingsmethoden. Bacteriesporen zijn de meest resistente micro-organismen. Tot nu toe kunnen ze door geen enkel afzonderlijk proces geïnactiveerd worden zonder de producteigenschappen te zeer te wijzigen (zoals bij bijvoorbeeld sterilisatie). Door de juiste combinatie van technieken te kiezen kan dezelfde reductie van bederforganismen verkregen worden met een lagere intensiteit van de afzonderlijke processen, waardoor bij lagere kosten een hogere kwaliteit verkregen wordt. De relatief hoge investeringskosten zijn momenteel de belangrijkste beperking van PEF (Byrne, 2000).

Met een PEF-behandeling kan de houdbaarheid met een factor 3 tot 10 verlengd worden, uiteraard afhankelijk van het product en de instellingen tijdens de behandeling. Vooral vruchtensappen zijn geschikt voor toepassing van PEF.

De effectiviteit van PEF-behandelingen is al dermate uitvoerig onderzocht, dat de Amerikaanse Food and Drug Administration (FDA) PEF-behandelingen toestaat als vervanging van conventionele processen. Voorwaarde is hierbij wel dat met PEF-behandelingen dezelfde microbiële reducties als met conventionele processen bereikt worden (Barbosa-Cánovas, 1999).

Omdat PEF-behandelingen 'in line' op producten in bulk uitgevoerd worden, is het gebruik van verpakkingsmaterialen tijdens de behandeling niet of nauwelijks aan de orde. De PEF-behandeling van verpakte producten zou echter ook een interessant onderwerp van onderzoek kunnen zijn. Het verpakkingsmateriaal moet in dit geval bestand zijn tegen de

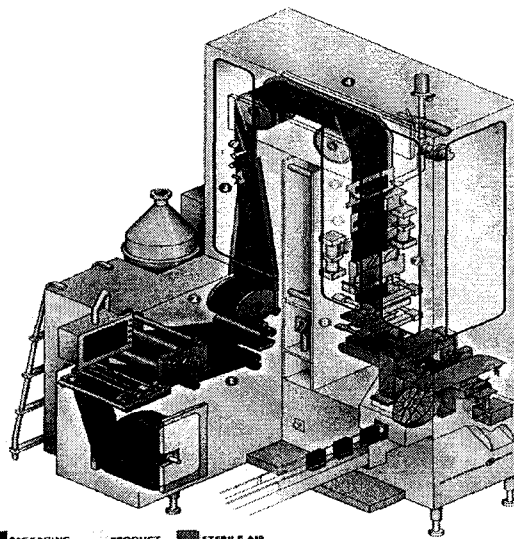
electrische pulsen, terwijl de verpakking zijn functionaliteit uiteraard wel moet behouden. In het aseptisch verpakken van de behandelde producten zou de afdeling zeker een rol kunnen spelen. In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op aseptisch verpakken.

Aseptisch verpakken

Inleiding

Het steriliseren van een product of van een contactoppervlak met een voedingsmiddel (apparatuur, verpakkingsmateriaal) kan op veel manieren. Vanwege de neveneffecten is sterilisatie door toevoeging van chemische middelen bij voedingsmiddelen slechts zeer beperkt toegestaan. Bij medische en farmaceutische producten zijn deze zwaardere (chemische) sterilisatiemiddelen wel toegestaan om ook de sporen afdoende te inactiveren.

- Fysisch: verhitten, koelen, hydrostatische druk, ioniserende straling en ultraviolette (UV) straling,
- Chemisch:
 - Damp/gas: stikstof, ozon, kooldioxide, zwaveldioxide, ethyleenoxide, propyleenoxide, chloor, β -propiolacton, formaldehyde, methylbromide,
 - Oplossingen/vloeistoffen: zouten, zuren, esters, alcoholen, halogenen, waterstofperoxide (H_2O_2), vierwaardige ammoniumverbindingen, oppervlakte-actieve stoffen, nitriet,
- Biologisch: enzymen en antibiotica,
- Combinaties van bovengenoemde methoden:
 - Verhitten en chemisch,
 - Bestraling en chemisch,
 - Verhitten en bestraling,
 - Verhitten en druk,
 - Chemisch en ultrasoon (ATO, 2000).



Figuur 8: Afvulmachine voor aseptische verpakkingen (Evergreen Packaging, 2000)

Verpakkingsmaterialen

Aseptisch en hygiënisch verpakken

Bij het steriliseren van de verpakking is het allereerst erg belangrijk dat in een schone omgeving gewerkt wordt. Bronnen van vervuiling/besmetting kunnen hierbij zijn: luchtstromingen, opspattend water of damp, materiaalverwerking of transport. Daarnaast zijn een schone werkruimte (vloeren, wanden en plafond) en persoonlijke hygiëne van groot belang (ATO, 2000).

Aseptisch verpakken wordt toegepast op gesteriliseerde producten, waarvan tijdens het sterilisatieproces alle ongewenste micro-organismen verwijderd zijn. In het verpakkingsproces daarna moet herbesmetting met micro-organismen uiteraard zo veel mogelijk voorkomen worden. Hygiënisch verpakken heeft als uitgangspunt dat het aantal micro-organismen dat al in het product aanwezig is niet ontoelaatbaar hoog mag worden. De eisen voor het aseptisch

verpakken zijn op veel punten stringenter dan bij hygiënisch verpakken. De besmettingsgraad van het verpakte product wordt bepaald door de besmettingsgraad van alle bij het vulproces betrokken bronnen als: het product zelf, het product dat aan de vulmond blijft hangen, het verpakkingsmateriaal, de omgevingslucht, de integriteit van de verpakking, productcontactoppervlakken, etc. Bij het verpakken en conserveren van microbiologisch instabiele producten door behandeling (door middel van hitte of bijvoorbeeld PEF) in de eindverpakking vergt de temperatuur en de verblijftijd in de verpakkingsapparatuur extra aandacht. Bij het verlengen van de houdbaarheid door koelen of invriezen in de eindverpakking moet extra zorg worden besteed aan de mogelijkheid dat het product onderweg in de apparatuur te warm wordt, bijvoorbeeld als de productie tijdelijk stopt.

De verpakkingsapparatuur moet, al dan niet na demontage, gereinigd kunnen worden en 'in place' kunnen worden gedesinfecteerd. Hierbij moet uiteraard voorkomen worden dat er restwater van de reinigingscyclus in de verpakkingsapparatuur achterblijft. Voor aseptische toepassingen moet de apparatuur bovendien bacteriedicht zijn.

Onmiddellijk na fabricage is het meeste verpakkingsmateriaal vrijwel steriel. Besmetting met micro-organismen vindt dus plaats tijdens handling, opslag en transport. Bronnen van besmetting kunnen bijvoorbeeld zijn: omverpakkingen (vooral karton is berucht), stof, vocht, houten pallets, mensen en ongedierte. Om besmetting door deze bronnen te beperken, dienen maatregelen te worden genomen zoals: materiaal verpakken in folie en in dozen, stof verwijderen en bewaken van de luchtvochtigheid in opslagruimtes, aanraking vermijden (handschoenen) en statische elektriciteit voorkomen.

Bij aseptisch verpakken moet het verpakkingsmateriaal meestal ook worden gedesinfecteerd met de al eerder besproken middelen om de totale besmettingsgraad niet te overschrijden. Een andere maatregel betreft het bewaken en controleren van de fysieke integriteit van de verpakking. Zodra een verpakking beschadigd is, is deze niet langer bacteriedicht. Er dient daarom gelet te worden op: mechanische schade (door vorkheftrucks, pallettiseerders, te hoog stapelen), aantasting beschermende eigenschappen door slechte opslagcondities en vervorming in de vulmachine (bijvoorbeeld door te hoge temperatuur). Voor aseptisch verpakken geldt natuurlijk dat de verpakking absoluut geen fysieke defecten of zwakke plekken mag vertonen. Daarom verdient de sluitstap in het verpakkingsproces speciale aandacht. Hierbij moet speciaal gelet worden op de constructie en het proces van sluiting (naden, klik- of schroefdeksels, lijmen, ultrasoon, warmte). Verder zijn belangrijke items: de verdeling van temperatuur en druk, veiligheidsmarges van sluitparameters, continue monitoring met alarmfunctie, uniformiteit bij sluiting van meerdere verpakkingen tegelijk, voorkomen van besmetting van afdichtingsvlakken en positionering (bijvoorbeeld in thermovorm-, vul- en sluitmachines). Ook de omgeving van de verpakkingsapparatuur is belangrijk: de apparatuur moet goed te reinigen zijn en hygiënisch geconstrueerd zijn. Bovendien moet de verbinding met het productieproces zo kort mogelijk zijn. Bij hygiënisch verpakken zijn de volgende items aan te bevelen: luchtconditionering (bijvoorbeeld luchtvochtigheid), overkapping van de verpakkingsmachine, gebruik van een gesteriliseerde laminaire luchtstroom. Bij aseptisch verpakken liggen de eisen hoger. Vaak moet, afhankelijk van de reductiefactor die nodig is om onder het aanvaardbare besmettingsniveau te blijven, worden voorzien in zaken als: een tunnelconstructie om product en materiaal te beschermen tegen blootstelling aan niet-gesteriliseerde lucht, een luchtsterilisatiesysteem op basis van incineratie (verbranding), filtratie met steriliseerbare filters, etc. (Hoyvinck, 1999).

Materialen

Sterilisatie van de verpakking geschiedt meestal thermisch door middel van een vlam, droge hete lucht, oververhitte stoom of heet gechloreerd water, al dan niet met ontsmettingsmiddel (H_2O_2 , citroenzuur of azijnzuur). Vanwege temperatuurgevoeligheid (bijvoorbeeld PET-flessen) of energiekosten (glas) kan de sterilisatie ook plaatsvinden door bestraling (gammastralen of hoge intensiteit UV) of spoelen met H_2O_2 (Buchner, 1993; ATO, 2000).

Verpakkingsmaterialen die bij aseptische processen toegepast worden zijn: metaal, glas, kunststoffen en papier. Metaal heeft als voordeel dat het een hoog barrière materiaal is dat hermetisch geseald kan worden. Nadelen zijn de relatief moeilijke productie van niet-cilindervormige structuren en de benodigde aanpassingen bij verhitting in magnetrons. Glas heeft voordelen vergeleken met metaal, maar is breekbaar en relatief zwaar. Kunststoffen zijn daarentegen veelzijdig toe te passen, maar moeten aan andere materialen gelamineerd worden en zijn minder bestand tegen hoge temperaturen. Stoom wordt het meest toegepast

bij sterilisatie van metaal en glas, terwijl H_2O_2 vaak gebruikt wordt om verpakkingen die karton bevatten te behandelen. Kunststoffen die geschikt zijn voor milde hittesterilisatie zijn Saran, EVOH, PE en PS, of een gemetalliseerd polyester dat bestaat uit vinyl ethyl acetaat, nylon, folie en PE. Een voorbeeld van een aseptische verpakking is die van Tetra Pak. Dit is een laminaat dat uit zes lagen bestaat: PP, Surlyn, folie, PE, karton en PE als binnenlaag. PP en PE worden meestal gebruikt als binnenlaag die in contact staat met het product en als sealmedium (Smith, 1990).

Wanneer materialen minder bestand zijn tegen hitte wordt bij aseptisch verpakken meestal gebruik gemaakt van chemische sterilisatie. Gasvormige ontsmettingsmiddelen kunnen toegepast worden bij voorsterilisatie van verpakkingsmateriaal, al hebben deze gassen een nogal trage werking. Aan vloeibare ontsmettingsmiddelen kleven ook een aantal bezwaren: de smaak en de geur van het product kan beïnvloed worden door achtergebleven resten, de werking is vaak sterk corrosief en de behandelingstijden zijn vrij lang. Van alle mogelijkheden bieden oplossingen van H_2O_2 de meest gunstige eigenschappen. Het heeft een brede dodende werking op micro-organismen en is daarnaast een effectief middel voor het doden van bacteriesporen. H_2O_2 wordt als een geschikt ontsmettingsmiddel beschouwd voor de behandeling van voedingsmiddel-contactoppervlakken bij het aseptisch verpakken van voedingsmiddelen met een lage zuurtegraad. Voorwaarde is dat het wordt verwarmd tot 85 à 90°C en dat de behandelingsduur minstens 3 tot 4 s bedraagt. Ook kan een oplossing met een sterkte van minimaal 30% H_2O_2 bij een temperatuur van 80-90°C toegepast worden (ATO, 2000).

Levensmiddelen

Sterilisatie is een efficiënte methode om de houdbaarheid van producten te verlengen. Aan de klassieke methode om vaste en visceuze levensmiddelen 'in-container'/blik te steriliseren zijn echter een aantal nadelen verbonden: relatief langzame warmtedoordringing tot de kern van het product (in de kern van de container) en daardoor lange procestijden. Verder worden de voedingswaarde en de sensorische eigenschappen van het product behoorlijk aangetast. Om deze nadelen te verminderen, kan het product voor het afvullen bij hogere temperaturen en gedurende kortere tijden apart behandeld worden, waarna het product in steriele containers onder steriele omstandigheden afgevuld wordt. Het product en het verpakkingsmateriaal worden dus apart gesteriliseerd en in een steriele omgeving samengebracht. Eerst werden alleen vloeibare producten volgens deze methode verpakt, maar door ontwikkelingen in verpakkingsmaterialen met een hoge barrière en in aseptische processing kunnen tegenwoordig ook producten met een hogere viscositeit en producten met vaste deeltjes aseptisch verpakt worden (Smith, 1990).

Voorbeelden van aseptisch verpakte levensmiddelen (Smith, 1990; Buchner, 1993):

- Melk en gecondenseerde melk,
- Babyvoeding,
- Fruitsappen en fruitsalades,
- Groentes en fruit,
- Diverse soorten pudding,
- Tomatenproducten,
- Soepen en jus,
- Oliën,
- Roereieren.

Typische product-verpakking combinaties zijn:

- PE flessen voor UHT (ultra high temperature) melk,
- Hitte-resistente semi-rigide kunststof verpakkingen die bestaan uit plastics, karton en aluminium voor UHT melk en gepasteuriseerde fruitsappen,
- Fruitsappen en nectars: de meeste 'cartons' en bag-in-box zijn aseptisch. Glas, blik en de meeste kunststof materialen worden heet afgevuld,
- Babyvoeding in een tray met folie en een thermogevormd deksel (Mertens, 1995).

Proces

Verpakkingen kunnen op twee manieren aseptisch gevuld worden:

- De verpakking (thermo)vormen en dan steriliseren, of
- Het verpakkingsmateriaal steriliseren en de verpakking aseptisch vormen.

Hierna worden de verpakkingen in een aseptische vuller afgevuld met het product en dan wordt het geheel aseptisch geseald en afgesloten (Mertens, 1995). Een verpakking kan ook pas vlak voor het vullen vervaardigd worden, direct hierna gevuld worden en afgeseald worden. Zo kan bijvoorbeeld een PE fles bij hoge temperatuur en druk geblazen worden en direct daarna afgevuld worden (ALP, 1999).

Tijdens de integratie van verpakkingsapparatuur in de proceslijn moet met metingen aangetoond worden dat de apparatuur naar behoren functioneert en kan, zeker in geval van aseptisch verpakken, microbiologische validatie plaatsvinden volgens bijvoorbeeld EHEDG-normen. De European Hygienic Equipment Design Group is op initiatief van een aantal grote Europese voedselproducenten opgericht omdat de bestaande Europese machinerichtlijn onvoldoende zekerheid geeft voor de hygiëne van procesapparatuur. Bijgestaan door apparatenfabrikanten en onderzoeksinstituten stelt EHEDG internationale richtlijnen en testmethoden op voor ontwerp, gebruik en toetsing van hygiënische en aseptische procesapparatuur (Mostert, 1999).

De validatie van de pre-sterilisatie van aseptische verpakkingsmachines en de validatie van de sterilisatie van de verpakkingen die met de machine geproduceerd worden, wordt vaak met behulp van microbiologische testen uitgevoerd (Moruzzi, 2000).

Aseptische afvulprocessen zijn op te delen in een aantal stappen:

1. Steriliseren van het product,
2. Aseptisch transport naar het vulstation,
3. Steriliseren van de verpakking,
4. Aseptisch transport van de verpakking naar het vulstation,
5. Steriele omgevingscondities tijdens het afvullen,
6. Aseptisch transport naar het sluitstation,
7. Steriele omgevingscondities bij het sluiten van de verpakking (ATO, 2000).

In het algemeen levert het aseptisch transport van het product naar het vulstation geen grote problemen wanneer het transport plaatsvindt door een gesloten buizensysteem. Wel dient met name voor de natte processen regelmatig de apparatuur gereinigd en ontsmet te worden. Installaties blijven namelijk gevoelig voor microbiologische groei en het ontstaan van biologische afbraakproducten.

Vaak is handmatig reinigen van alle procesapparatuur niet mogelijk doordat niet alle plaatsen te bereiken zijn. De aangewezen reinigingsmethode in dergelijke gevallen is Cleaning In Place (CIP), waarbij reinigingsvloeistof bij een bepaalde temperatuur door de apparatuur gevoerd wordt. Vaak wordt gewerkt met water met ontsmettingsmiddel van 75 tot 95°C en verblijftijden van 2 tot 20 minuten. Als ontsmettingsmiddel worden in de voedingsmiddelenindustrie meestal een van de volgende middelen toegepast: chloor(verbindingen), jodium(complexen) of vierwaardige ammoniumverbindingen. Een belangrijke voorwaarde voor een succesvolle toepassing van CIP is wel dat bij het ontwerp van de apparatuur hiermee bewust rekening gehouden wordt (ATO, 2000).

Conclusies

De afdeling kan een rol spelen in de keuze van het verpakkingsmateriaal bij aseptische processen. Behoud van barrière-eigenschappen, sealbaarheid etc. na aseptische behandeling zijn hierbij belangrijke items. Ook de verwijdering van de reinigingsmiddelen van het verpakkingsmateriaal na behandeling is hierbij van belang.

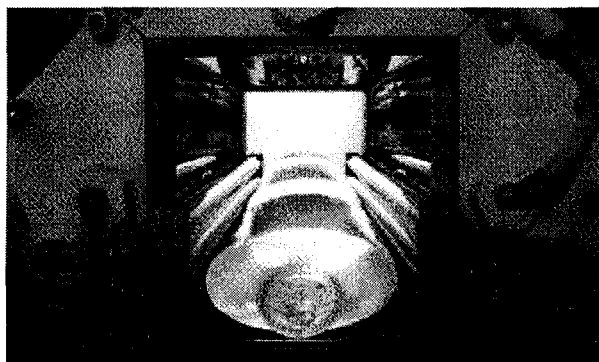
Hoge intensiteit pulserend licht

Inleiding

Met behulp van pulserend licht kunnen micro-organismen op de oppervlakken van verpakkingsmaterialen, van verpakking- en processingapparatuur, producten, etc. gedood worden (Dunn, 1995). Bij deze methode worden discontinue pulsen van wit licht (50% zichtbaar, 30% IR, 20% UV) met een hoge intensiteit (tot 20 000 zo sterk als het zonlicht aan het aardoppervlak) toegepast. Eén tot 20 pulsen per seconde zijn typische pulssnelheden. Reducties in aantallen micro-organismen bij vlees, schelpdieren en bakkerijproducten worden geclaimd. Dezelfde reducties als bij UV licht kunnen in 4 tot 6 keer kortere tijd bereikt worden (Byrne, 2000). Het UV-spectrum omvat licht met golflengten tussen 100 en 400 nm. Golflengtes tussen 200 en 280 nm hebben een bacteriedodend effect. Dit UV-C licht wordt door micro-organismen geabsorbeerd, met de hoogste absorptie bij een golflengte van 260 nm. In de celkern treden als gevolg van de absorptie fotochemische reacties op, waardoor het DNA wordt beschadigd. Het gevolg is dat er geen celdeling meer optreedt. Eenmaal door UV-licht beschadigd kan een micro-organisme normaal verder leven, maar is niet meer in staat om zich te vermeerderen en sterft na verloop van tijd (Kalisvaart, 1995).

Verpakkingsmaterialen

Gepulseerd licht kan niet op glas of PET toegepast worden omdat deze UV absorberen. De methode wordt op dit moment alleen commercieel toegepast bij de sterilisatie van aseptisch afgevulde medische producten (Byrne, 2000). Bij toepassing van gepulst licht spelen de optische eigenschappen van materialen zoals brekingsindex, absorptie en transmissiecoëfficiënt in het golflengtegebied van 300 tot 800 nm een rol. Verder zijn thermische eigenschappen als smelttemperatuur en warmtegeleiding belangrijk (ATO, 2000). Bij de desinfectie van verpakkingsmaterialen bepalen de gewenste desinfectiegraad (meestal in de orde van 99 tot 99.99%), het soort verpakkingsmateriaal en de hoeveelheid en soort micro-organismen samen de toegepaste dosis (UV-)licht. De bereikbaarheid van het DNA (wat beschadigd dient te worden) verschilt namelijk per micro-organisme (Kalisvaart, 1995).



Figuur 9: Sterilisatie van verpakkingen met gepulseerd licht (Purepulse, 2000)

Levensmiddelen

De houdbaarheid van groentes en fruit neemt na behandeling met gepulseerd licht toe: tomaten waren gekoeld 36 dagen houdbaar terwijl de onbehandelde controles al bedorven waren. Bij pruimen, peren, aardbeien en frambozen zijn vergelijkbare effecten gevonden. Bij sommige producten remt pulserend licht de enzymactiviteit. Ook bij bakkerijproducten kan de houdbaarheid aanzienlijk verlengd worden door afdoding van schimmelsporen aan het oppervlak. Zo nam de houdbaarheid van broodjes toe van 6 dagen tot 20 dagen. Het aantal micro-organismen op het oppervlak van vlees kan met een factor 10 tot 1000 gereduceerd worden (Dunn, 1995).

Proces

Gepulseerd licht is ideaal toe te passen op verpakkingsmaterialen en op sommige producten, maar werkt het beste op gladde, stofvrije oppervlakken (Byrne, 2000). Verder kunnen ook (bulk)producten die voldoende licht doorlaten zoals lucht, (afval)water, verpakt drinkwater gesteriliseerd worden. De behandeling kan voor, tijdens of na verpakken plaatsvinden (Dunn, 1995).

Conclusies

Bij hoogfrequent gepulseerd licht worden extreem korte pulsen (≤ 2 ms) van een zeer breed spectrum gebruikt om micro-organismen te inactiveren. Vooral oppervlakken van apparatuur en verpakkingsmaterialen zijn goed te desinfecteren met deze techniek. Bij levensmiddelen kan de beperkte doordringingsdiepte echter een probleem vormen. Verder zou deze techniek de oxidatie van vetten kunnen bevorderen (Marth, 1998).

De kosten van toepassing van pulserend licht bedragen ongeveer 1 US\$cent/m² behandeld oppervlak inclusief afschrijving, energieverbruik (rond 40 kJ/m²) en onderhoud (Dunn, 1995). Voor zover een vergelijking mogelijk is, de kosten bij een verpakkingsmachine met een UV-lamp met een levensduur van tienduizend uur bedragen fl. 0.42/uur (Kalisvaart, 1995).

De houdbaarheid van producten met een glad oppervlak zoals fruit kan na een behandeling met gepulseerd licht met een factor 3 toenemen. Dit zou een onderwerp van onderzoek kunnen zijn. Verder kan de afdeling een rol spelen in onderzoek naar de desinfectie van verpakkingsmaterialen en oppervlakken met behulp van gepulseerd licht.

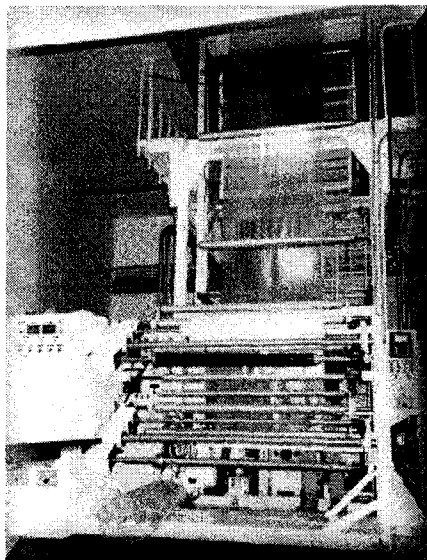
Ultrasonificatie

Inleiding

Hoogfrequente geluidsgolven kunnen drukgolven veroorzaken waarmee vervuilende deeltjes in producten, in leidingwerk en op verpakkingsmateriaal verwijderd kunnen worden ('ultrasonic cleaning') (Brennan, 1969; Withers, 1994).

Verpakkingsmaterialen

Een recente ontwikkeling op het gebied van hoog-frequente geluidsgolven is de 'on line' en non-destructieve detectie van lekkages in sealnaden. Met behulp van andere methoden zoals röntgen en MRI kunnen weliswaar lekken en relatief grote luchtdoorlatende openingen opgespoord worden, maar openingen waarlangs bacteriën de verpakking binnen kunnen dringen zijn hiermee echter niet te detecteren. Ook het meten van drukverschillen om lekken op te sporen biedt geen uitsluitsel. Lekken in de sealnaad kunnen namelijk verstopt zijn door voedselresten, waardoor er onterecht geen stroming wordt geconstateerd (Anoniem, 2000). Ultrasonische golven kunnen ook toegepast worden bij het sealen van verpakkingsmaterialen als HDPE, LDPE en PS. De geluidsgolven laten het materiaal lokaal aan het oppervlak smelten zonder dat het product in de directe omgeving van de seal verwarmd wordt (Anoniem, 1999).



Figuur 10: Productie van 'clean room' kwaliteit verpakkingsmateriaal met behulp van ultrasone technieken (Cleanbags, 2000)

Levensmiddelen

Ultrasonische golven kunnen ook op levensmiddelen (alle vloeibare producten) toegepast worden om de houdbaarheid te verlengen. Als gevolg van de drukgolven worden micro-organismen namelijk in bepaalde mate afgedood. Het synergistische effect van hitte en ultrasonische drukgolven neemt toe bij een toename van de concentratie oplosbare vaste deeltjes in het levensmiddel. Bovendien heeft de behandeling meer effect bij producten met een lagere pH (rond 5). Ook een verhoging van de druk tot bijvoorbeeld 300 kPa heeft een synergistisch effect. De intensiteit van een ultrasonische behandeling kan bijvoorbeeld 340 W bedragen, waarbij de geluidsgolven een amplitude van 117 tot 145 μm en een frequentie van 20 kHz hebben (Sala, 1995).

Conclusies

De weerstand van de meeste micro-organismen en enzymen tegen een ultrasonificatie-behandeling is echter hoog. In de meeste gevallen zal de benodigde intensiteit de sensorische eigenschappen van de behandelde levensmiddelen aantasten. Wanneer warmte

en ultrasonificatie gecombineerd worden met drukbehandelingen ('mano-thermo sonificatie') kunnen deze negatieve gevolgen verminderd worden (Mertens, 1995). Laag frequente geluidsgolven met een hoge intensiteit (20-100 kHz) kunnen de warmte-overdracht in een product verbeteren en het aantal bederfororganismen reduceren. Deze techniek is vooral geschikt voor toepassing in combinatie met andere technieken (Byrne, 2000).

De afdeling zou een rol kunnen spelen in onderzoek naar het sealen van verpakkingsmaterialen en de non-destructieve detectie van lekkages in sealnaden met behulp van ultrasone golven.

Electrische weerstand verhitting (ohmic heating)

Inleiding

Bij magnetronverhitting wordt warmte ontwikkeld door middel van een hoog-frequent electrisch veld dat de watermoleculen in een product doet trillen. Bij electrische weerstand verhitting (ohmic heating) wordt de warmte op een andere manier gegenereerd. Er wordt een electrische stroom door een product gestuurd, wat ontwikkeling van hitte geeft als gevolg van de electrische weerstand. Dit proces heeft een hogere energie-efficiënte dan magnetronverhitting, doordat bijna alle electrische energie het product in gaat als warmte. Bij magnetronverhitting is daarentegen is geen fysiek contact nodig, terwijl bij resistance heating de electrodes een goed contact met het product moeten hebben. Dit stelt weer speciale eisen aan de hygiëne (Mertens, 1995).

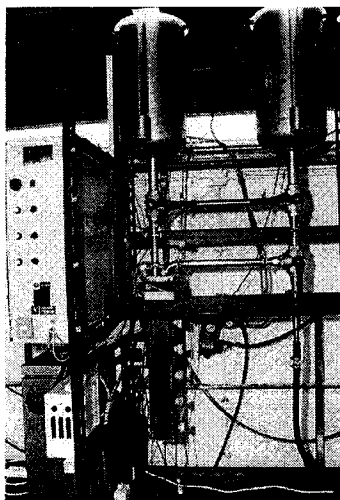
Verpakkingsmaterialen

De producten kunnen verhit worden tot 140°C, wat de maximale werktemperatuur is van de kunststoffen in de behuizing van de electrodes. In deze behuizing kunnen materialen als PVDF (polyvinylidene fluoride), PEEK (polyether ketone) of glas gebruikt worden (Skudder, 1993).

Levensmiddelen en proces

Voor de sterilisatie en het vervolgens aseptisch verpakken van vloeistoffen is electrische weerstand verhitting een interessant alternatief wanneer deze zeer visceus zijn. Wanneer namelijk producten met veel en grote vaste deeltjes (bijvoorbeeld 25 mm doorsnede) behandeld worden volgens gangbare methoden moet de vloeibare fase te sterk verhit worden om de deeltjes afdoende te steriliseren. Dit gaat ten koste van de productkwaliteit.

Dunnere vloeistoffen zijn namelijk eenvoudiger te behandelen. Zo zijn homogene levensmiddelen met een lage viscositeit en zonder gesuspendeerde deeltjes zoals melk, sap en dunne sauzen goed te steriliseren met eenvoudige plaatwarmtewisselaars. Vloeistoffen met een hogere viscositeit en deeltjes tot 10 mm (bijvoorbeeld soepen, sauzen en fruitpuree) zijn al wat moeilijker te behandelen. Hoog-visceuze producten als desserts en dikke sauzen worden door middel van directe stoominjecties verhit. Zware vloeistoffen met deeltjes tot 15 mm in diameter kunnen tot 40% w/w met een geschraapte warmtewisselaar gesteriliseerd worden. Voor de sterilisatie van nóg dikkere vloeistoffen zoals bijvoorbeeld fruitpulp met tot 80% vaste deeltjes moet zoals hierboven besproken gegrepen worden naar andere technieken zoals electrische weerstand verhitting (Ladwig, 1990; Skudder, 1993). Hierbij kunnen verhittingssnelheden van 1°C/s bereikt worden (Mertens, 1995).



Figuur 11: Opstelling van een experimentele ohmic heater (220 V, 50 Hz, 16 kW) (TUP, 2000)

Een ander voorbeeld van elektrische weerstand verhitting is de behandeling van aardappels. Wanneer aardappels in heet water verhit worden warmen ze op van buiten naar binnen, terwijl bij elektrische weerstand verhitting juist opwarming van binnen naar buiten plaatsvindt. Vergeleken met verhitting in water wordt de procestijd in dit geval met ongeveer een derde verkort. Nadelen die bij elektrische weerstand verhitting spelen zijn het mogelijk optreden van hot en cold spots in het product. Verder is de verhitting afhankelijk van de vorm en de oriëntatie van het product (Hakkaido, 2000).

Conclusies

Het proces maakt de sterilisatie van visceus voedsel met een hoge fractie vaste deeltjes mogelijk. Binnen de afdeling zou mogelijkheid om elektrische weerstand verhitting van deze producten in verpakte vorm onderzocht kunnen worden. In dit geval zouden op de één of andere manier electrodes in een verpakking aangebracht moeten worden zonder de functionaliteit van de verpakking aan te tasten. Bovendien worden speciale eisen gesteld aan de hygiëne.

Algehele conclusie

In onderstaande tabel worden de belangrijkste aspecten van de hiervoor behandelde technieken samengevat:

Techniek Methode	Verpakkingsmateriaal	Producten	Belangrijkste voordeel	Microbieel vergelijkbaar met	Status
HHD Hoge druk, evt. met hoge T	- p<600 MPa en T< 60°C: gangbare materialen geschikt - Hogere p en/of T en stoom: EVOH en PA ongeschikt; barrière en sealsterkte dalen tijdelijk (?)	Vloeibare en vaste homogene producten	Behoud ingrediënten en sensorische eigenschappen	Pasteurisatie	Commercieel; voor combinatie met hoge T extra onderzoek nodig
Magnetron- verhitting Hoge T m.b.v. microgolven	- Zonder susceptoren: gangbare materialen - Met bruiningssusceptoren: varianten van PET	Vloeibare en vaste producten	Snelle verhitting van binnenuit, geen contact met product	Pasteurisatie/ sterilisatie	Commercieel; migratie lijm- componenten bij hoge T (> 250°C) susceptoren, vooral in vet
PEF Pulserend electr. veld	Niet van toepassing vanwege 'in line' processing (behuizing: Delrin, harsmaterialen)	Vloeibare producten	Behoud sensorische eigenschappen	Pasteurisatie	Onderzoek, commercialisatie, goedkeuring FDA
Aseptisch verpakken Oppervlakte- ontsmetting	Gangbare (hittebestendige) materialen	Vloeibare (visceuze) producten	Verpakkings- materiaal vrij van micro- organismen	Sterilisatie	Commercieel
Pulserend licht Oppervlakte- ontsmetting	Gangbare materialen, behalve PET en glas	Oppervlakte- behandeling gladde producten en verpakkingen	Afdoding micro- organismen	Pasteurisatie/ sterilisatie	Onderzoek, commercialisatie
Ultra- sonificatie Geluids- golven	Gangbare materialen	Vloeibare producten en verpakkingen	Afdoding micro- organismen	Pasteurisatie	Commercieel
Ohmic heating Electr. stroom	Geleidende materialen (niet van toepassing vanwege 'in line' processing?)	Zeer visceuze producten, contact met product nodig	Warmte- verhitting van binnenuit	Pasteurisatie/ sterilisatie	Onderzoek, begin commercialisatie

Alleen met magnetronverhitting en aseptisch verpakken kunnen voldoende hoge sterilisatiewaarden verkregen worden om een lange houdbaarheid te garanderen. Bij de andere technieken kan in de meeste gevallen niet voldoende afdoding van micro-organismen en inactivatie van enzymen verkregen worden om conventionele pasteurisatie of sterilisatie te evenaren. Hier zullen combinaties met andere technieken of verhoogde procestemperaturen toegepast moeten worden. Een andere optie is een mildere behandeling van producten combineren met distributie via de koelketen.

Wat verpakkingsonderzoek betreft kan het volgende geconcludeerd worden. Aseptisch verpakken, pulserend licht en ultrasonificatie zijn technieken waarbij verpakkingsmaterialen centraal staan. De effecten van deze behandelingen op de materiaal- en sealeigenschappen zijn hierbij dan ook een logisch onderwerp van onderzoek.

Hoge hydrostatische druk en magnetronverhitting zijn technieken waarbij een verpakking duidelijke voordelen qua hygiëne en gebruiksgemak heeft. Hier staat tegenover dat bij deze technieken speciale eisen gesteld worden aan materiaaleigenschappen zoals bijvoorbeeld smelttemperaturen, sealsterktes en migratie van lijmcomponenten.

Pulserend elektrisch veld en ohmic heating worden vooralsnog vooral 'in line' toegepast. In hoeverre tijdens toepassing van deze technieken gebruik gemaakt kan worden van verpakkingen is een interessant onderwerp van onderzoek.

Literatuur

1. A.D.Tech, Advanced Deposition Technologies, 1999 (<http://www.adv-dep.com/micro.shtml>)
2. ALP, Automatic Liquid Packaging, Inc.; The Blow/Fill/Seal Concept, 1999 (<http://www.alp-bfs.com/bfs.htm>)
3. Anoniem; Peelable seal: afweging tussen gebruiksvriendelijkheid en productintegriteit, Food Management, 18 (3): 18-19, 2000
4. Anoniem; Ultrasonics - sound sense for food packaging, Confectionary Production, March 1999
5. ATO, interne communicatie, 2000
6. Axelsson-Larsson, L.; Oxygen permeability at high temperatures and relative humidities, Packaging Technology and Science, 5: 297-306, 1992
7. Barbosa-Cánovas, G.V.; Góngora-Nieto, M.M.; Pothakamury, U.R.; Swanson, B.G.; Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields, Academic Press, San Diego, 1999
8. Begley, T.H.; Biles, J.E.; Hollifield, H.C.; Migration of an epoxy adhesive compound into a food-simulating liquid and food from microwave susceptor packaging, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 39: 1944-1945, 1991
9. Bergman, C.; Westerland, J.; High pressure technology - a way to longer shelf-life, FoodTradeReview, pp. 70, 72, Feb. 1994
10. Brennan, J.G.; Butters, J.R.; Cowell, N.D.; Lilly, A.E.V.; Food engineering operations, Elsevier, Amsterdam, 1969
11. Briffa, D.; Delsahut, A.; Martin, C.; Weil, F. (Battelle France S.A.R.L.); Container with an opening including an airtight closure element for packaging a product to be preservation processed at high pressure, International Patent Application WO 96/19122, 1996
12. Byrne, M.; Food processing: Emerging technologies, Anuga FoodTec, Cologne, pp 16-19, April 2000
13. Badeka, A.B.; Kontominas, M.G.; Effect of microwave heating on the migration of dioctyladipate and acetyltributylcitrate plasticizers from food-grade PVC and PVDC/PVC films into ground meat, In: Contis, E.T.; Ho, C.T.; Mussinan, C.J.; Parliment, T.H.; Shahidi, F.; Spanier, A.M. (eds.); Food flavors: formation, analysis and packaging influences, Elsevier, Amsterdam, 1998
14. Buchner, N.; Aseptic processing and packaging of food particulates, In: Willhoft, E.M.A. (ed.); Aseptic Processing and Packaging of Particulate Foods, Blackie Academic & Professional, London, pp 1-22, 1993
15. Castle, L.; Mountfort, K.; Kelly, J.; Jickells, S.M.; Test methods for determining chemical migration from microwave susceptors, IAPRI 9th World Conference on Packaging, Brussels, pp 75-85, 1995
16. Cleanbags; UltraSonic Introduces the Finest in Cleanroom Packaging, 2000 (<http://www.cleanbags.com/>)
17. Coles, R.E.; Microwave processing and package integration, In: Willhoft, E.M.A. (ed.); Aseptic Processing and Packaging of Particulate Foods, Blackie Academic & Professional, London, pp 112-147, 1993
18. Cramer, R.; Achterstand dreigt bij ontwikkeling van HPP-verpakkingen, Missets Pakblad, 1: 20-22, 1996
19. CSIRO; Migration from packaging materials, CSIRO Fact Sheet, March 1994 (<http://www.dfst.csiro.au/migpac.htm>)
20. Deplace, G.; Design of high pressure isostatic units for laboratory and industrial treatment of food products, In: Ledward, D.A.; Johnston, D.E.; Earnshaw, R.G.; Hasting, A.P.M. (eds.), High pressure processing of foods, Nottingham University Press, Loughborough, 1995
21. Dunn, J.; Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs, Poultry Science, 75: 1133-1136, 1996
22. Eggers, H.; Sterisationsfeste thermoformbare Barrierefolien, FachPack 98, Fraunhofer, Nürnberg, 1998
23. Evergreen Packaging Equipment, 2000 (<http://www.evergreenpackaging.com/>)
24. Franks, S.H.; Barcan, D.S.; Comparing tensile and inflation seal-strength tests for medical pouches, Medical Device & Diagnostic Industry Magazine, August 1999, (<http://www.devicelink.com/mddi/archive/99/08/006.html>)
25. Greengrass, J.; Packaging materials for MAP of foods, In: Blakistone, B.A. (ed.), Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods, 2nd ed., Blackie Academic & Professional, London, pp 63-101, 1998
26. Hentzepeter, V.; Magnetronverpakking voor hapklaar snackgemak, Food Management, 18 (3): 20-22, 2000
27. Hentzepeter, V.; Verpakking cruciaal in strijd om geur- en smaakbehoud, Eyes on Food, 1: 18-19, 2000
28. Hernandez, R.J.; Caner, C.; Pascall, M.A.; Balasubramaniam, V.M.; Effect of high pressure processing on permeability and tensile strength of a PP / Nylon / PP packaging structure, School of Packaging, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 1999 (<http://www.confex2.com/ift/99annual/abstracts/4628.htm>)
29. High Pressure Club for Food Processing, 2000 (<http://www.highpressure.org.uk/CommercialProcessing.htm>)
30. Hokkaido Electric Power Co.; Study on a food processing system using ohmic heating method, 2000 (<http://www.hepco.co.jp/english/research/develop/result10/denki2.html>)
31. Hoyvinck, M.F.C.; Hygiënisch of aseptisch verpakken kwestie van gradatie, Voedingsmiddelentechnologie, 32 (9): 15-18, 1999
32. Impact Center; Preservation of food by pulsed electric field, 1998 (<http://impact.wsu.edu/Reports/98projectreports/98gustavo.htm>)
33. Kalisvaart, B.F.; Groen licht voor kiemreductie door UV-licht, Voedingsmiddelentechnologie, 28 (10): 52-53, 1995
34. Kübel, J.; Ludwig, H.; Marx, H.; Tauscher, B.; Diffusion of aroma compounds into packaging films under high pressure, Packaging Technology and Science, 9: 143-152, 1996
35. Ladwig, H.; Depta, N.; Ohmic heating - a continuous sterilisation method for media with particulate products, ZFL 41 (4): 166-169, 1990
36. Linn High Therm, 2000 (http://www.linn.com/new3c_gb.htm)
37. Marth, E.H.; Extended shelf life refrigerated foods, Food Technology, 52 (2): 57-62, 1998
38. Masuda, M.; Saito, Y.; Iwanami, T.; Hirai, Y.; Effect of hydrostatic pressure on packaging materials for food, In: Balny, C.; Hayashi, R.; Heremans, K.; Masson, P. (eds.); High Pressure and Biotechnology, INSERM/John Libbey and Company, Parijs, Londen, vol. 224: 545-547, 1992
39. Mermelstein, N.H.; High pressure processing begins, Food Technology, 52 (6): 104-106, 1998
40. Mertens, B.; Under pressure, Food Manufacture, 67 (11): 23-24, 1992
41. Mertens, B.; Packaging aspects of high-pressure food processing technology, Packaging Technology and Science, 6: 31-36, 1993
42. Mertens, B.; Hydrostatic pressure treatment of food, In: Gould, G.W. (ed.), New methods of food preservation, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1995

43. Moruzzi, G.; Garthright, W.E.; Floros, J.D.; Aseptic packaging machine pre-sterilisation and package sterilisation: statistical aspects of microbiological validation, *Food Control*, 11: 57-66, 2000
44. Mostert, M.A.; Microbiologische eisen bij het verpakken van voedingsmiddelen, *Voedingsmiddelentechnologie*, 32 (9): 20-21, 1999
45. Mullin, J.; Microwave processing, In: Gould, G.W. (ed.); *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, pp 112-134, 1995
46. Myllymäki, O.; Packaging aspects in high pressure technology, In: Ohlsson, T. (ed.); *High pressure processing of food and food components, A literature survey and bibliography*, Nordfood Project, Kompendiet, Göteborg, pp 23-28, 1996
47. Ochiai, S.; Nakagawa, Y.; Packaging for high pressure food processing, In: Balny, C.; Hayashi, R.; Heremans, K.; Masson, P. (eds.); *High Pressure and Biotechnology*, INSERM/John Libbey and Company, Parijs, Londen, vol. 224: 515-519, 1992
48. Olsson, S.; Production equipment for commercial use, In: Winter, R.; Jonas, J. (eds.); *High pressure chemistry, biochemistry and materials science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht etc., 1993
49. Purepulse; PureBright, 2000 (<http://www.purepulse.com/technologies/>)
50. Qiu, X.; Sharma, S.; Tuhela, L.; Jia, M.; Zhang, Q.H.; An integrated PEF pilot plant for continuous nonthermal pasteurization of fresh orange juice, *Transactions of the ASAE*, 41 (4): 1069-1074, 1998
51. Ramakrishna, A.; Srivatsa, A.N.; Siddaramaiah; Varadarajulu, A.; The effect of thermal treatment on the properties of PP films and laminates, *Packaging Technology and Science*, 10: 83-86, 1997
52. Roop, R.A.; Marks, J.S.; Nelson, P.E.; Effect of thermal processing and agitation in 100% steam on the seal strength of retortable pouches, *Journal of Food Science*, 48: 250-252, 1983
53. Rubbright, H.A.; Packaging for microwavable foods, *Cereal Foods World*, 35 (9): 927-930, 1990
54. Sala, F.J.; Burgos, J.; Condón, S.; Lopez, P.; Raso, J.; Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes, In: Gould, G.W. (ed.); *New Methods of Food Preservation*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, pp 176-204, 1995
55. Sipiläinen-Malm, T.; Leppänen, A.; Packaging materials for microwave ovens; thermal and sensory properties, migration, IAPRI 5th World Conference on Packaging, Utrecht, 1991
56. Skudder, P.J.; Ohmic heating, In: Willhoft, E.M.A. (ed.); *Aseptic Processing and Packaging of Particulate Foods*, Blackie Academic & Professional, London, pp 76-89, 1993
57. Smith, J.P.; Ramaswamy, H.S.; Simpson, B.K.; Developments in food packaging technology, Part I: Processing/cooking considerations, *Trends in Food Science & Technology*, 11: 107-110, 1990
58. Snel, M.A.R.; Willems, C.; Bakker, R.W.M.; Modified atmosphere verpakkingen op basis van met kunststof bekleed verpakingsstaal, ATO rapport B-290, 1998
59. TUP, Technical University of Prague; Continuous direct ohmic heating, 2000 (<http://www.fsid.cvut.cz/ascii/en/U218/peoples/zitny/ohmic.htm#schema>)
60. Turner, P.G.; Susceptor technology in microwave packaging, IAPRI 5th World Conference on Packaging, Utrecht, 1991
61. Verma, S.S.; Applications of heat seal coatings in food and medical packaging, IAPRI 21th World Conference on Packaging, Singapore, pp 108-112, 1999
62. Withers, P.; Ultrasonic sensor for the detection of fouling in UHT processing plants, *Food Control*, 5 (2), 1994
63. Zuckerman, H.; Miltz, J.; Browning and crisping in the microwave oven using susceptors, IAPRI 9th World Conference on Packaging, Brussels, pp 33-44, 1995

Verdere literatuur hoge hydrostatische druk (niet aanwezig in Nederland):

1. Barcan, D.S.; Using a seal matrix to optimize package sealing variables, *Medical Device & Diagnostic Industry*, vol. 17, no. 9, pp. 112-122, 1995
2. Barcan, D.S.; Selecting materials for medical device packaging, *Medical Device & Diagnostic Industry*, vol. 17, no. 5, pp 170-178, 1995
3. Ghosh, K.G.; Krishnappa, K.G.; Srivatsa, A.N.; Eapen, K.C.; Vijayaraghavan, P.K.; Recent developments in the production of retort foods in flexible pouches, In: *Proceedings of the first Indian convention of food scientists and technologists*, no. 6.2, p. 65, 1979
4. Kohno, M.; Nakagawa, Y.; Packaging for high pressure food processing, In: Hayashi, R. (ed.); *Pressure-processed food, research and development*, p. 303, Japan, 1990
5. Ludwig, H.; Marx, H.; Tauscher, B.; Interaction of food packaging material and selected food components under high pressure, *High Pressure Research* L v 12: 251-254, 1994
6. Ochiai, S.; Nakagawa, Y.; Package for high pressure food processing, In: Hayashi, R. (ed.); *High pressure science for food*, p. 381, Japan, 1991
7. Oldfield, N.; Packaging for shelf-stable meals, *European Food & Drink Review*, vol. 81, pp 83-85, 1990
8. Wachala, T.P.; Correlating tensile and burst tests in pouches, *Medical Device & Diagnostic Industry*, vol. 13, no. 2, pp 54-58, 1991

Afkortingen

Verpakkingsmaterialen

Al	aluminium
APET	amorphous polyester terephthalate
CPP	non-oriented polypropylene
EVOH	ethylene-vinyl alcohol
EVA	ethylene-vinyl acetate
GLPET	SiO metallized polyester
KNy	PVDC-coated nylon
LLDPE	linear low density polyethylene
ONy	oriented nylon
OPA	oriented polyamide
PA	polyamide (nylon)
PC	polycarbonate
PE	polyethylene
PEEK	polyether ketone
PEN	polyethyleennaftalate
PET	polyester terephthalate
CPET	crystallised polyester terephthalate
PP	polypropylene
PS	polystyrene
PVC	polyvinylchloride
PVDC	polyvinylidene chloride
PVDF	polyvinylidene fluoride
PVOH	polyvinyl alcohol
UPVC	unplastified polyvinylchloride
xPP	expanded polypropylene

Overig

CIP	Cleaning In Place
EHEDG	European Hygienic Equipment Design Group
HHD	Hoge Hydrostatische Druk
PEF	Pulsed Electric Field
UHT	Ultra High Temperature
UV	ultraviolet