

Oktober 1975

Een vergelijking van het energieverbruik
van verschillende conserveringsmethoden.

A.W.J. van Foeken

Inhoudsopgave:

1 Inleiding	1
2 Te beschouwen factoren van het energieverbruik	5
3 Vergelijking van het energieverbruik door de processen bij de meer conventionele conserveringsmethoden met het energieverbruik door de benodigde processen bij methoden met bestraling	9
3.1 Conservering van groenten	9
3.2 Conservering van fruit	13
3.3 Sterilisatie van diervoeders	15
4 De invloed van de verpakkingsbehoeften en de bewaaromstandigheden op het energieverbruik bij de verschillende conserveringsmethoden	16
5 Enkele andere produkten, waarvoor een exacte vergelijking van het energieverbruik tussen verschillende conserveringsmethoden (nog) niet mogelijk is	18
5.1 Vlees	18
5.2 Kruiden en specerijen	19
5.3 Panklare groenten/champignons	20
6 Conclusie	22
7 Samenvatting	23
8 Literatuur	24

1. Inleiding.

De landbouw is in de ontwikkelde landen steeds meer afhankelijk geworden van de industrie, die haar o.a. landbouwwerktuigen, kunstmest en brandstof moet leveren.

Het is echter nog niet zo lang geleden, dat de voedselproduktie volledig afhankelijk was van mankracht, hout en de beschikbare hoeveelheid mest als energiebronnen. De energie-input in de landbouw begon omstreeks 1850, toen schepen mest van Zuid Afrika naar Europa gingen vervoeren. Steenkool werd pas tegen het eind van de 19^e eeuw gebruikt voor vissers- en vrachtschepen en treinen. Na 1910 echter waren alle transportmiddelen volledig afhankelijk van deze fossiele brandstoffen.

De produktie van kunstmest tegelijk met een steeds verder doorgevoerde mechanisatie van de landbouw, deed het energieverbruik in de landbouw na 1925 enorm toenemen.

Zonder deze ontwikkelingen echter zou de voedselproduktie in hoeveelheden zoals we die nu kennen, volkomen onmogelijk zijn geworden (2, 6). Het is daarom van het grootste belang, dat landbouwdeskundigen alle energiebronnen, oude en nieuwe, aan een kritisch onderzoek onderwerpen. De energiebronnen die niet onuitputtelijk zijn, zoals steenkool, olie, aardgas, en in de plaats kwamen van hout en mest als brandstoffen, brachten lagere kosten, betere betrouwbaarheid en groter gemak met zich mee. Zij zijn echter in beperkte hoeveelheden voorradig. Dat de voorraden van deze fossiele brandstoffen inderdaad uitgeput kunnen raken, wordt op 't ogenblik wel algemeen ingezien; dit heeft echter nog meer te maken met de kosten van het delven en verwerken dan met de schattingen van de hoeveelheden, die uit de aarde verkregen kunnen worden. Ook kostenfactoren als milieuvervuiling, transport e.d., gaan steeds meer een rol spelen. Alleen aardgas schijnt volledig acceptabel te zijn, maar tevens blijkt, dat deze voorraad het eerst uitgeput zal zijn (14, 16, 27, 31).

Het energieverbruik in de landbouw kan onderverdeeld worden in een aantal groepen (1):

- a) - energie benodigd voor het verbouwen van het produkt
(inclusief machines, kunstmest, irrigatie, etc.)
- b) - transport

- c) - verwerking (levensmiddelenindustrie)
- d) - transport naar consument
- e) - energie thuis toegevoerd door de consument.

In 1970 zag de verdeling van het totale energieverbruik over de verschillende onderdelen er als volgt uit (6):

verbouw + transport	24%
verwerking van de produkten	39%
marketing, energie toegevoegd door de consument	37%

In het kader van dit onderzoek zijn we vooral geïnteresseerd in het onder punt c) genoemde onderdeel: de verwerking van het produkt tot een duurzaam levensmiddel. In deze tak van industrie werden in Nederland in 1972 69×10^{15} J geconsumeerd; d.i. 3% van de nationale totale hoeveelheid gebruikte energie (25).

Wanneer energie schaarser en duurder wordt, zal de industrie overgaan op processen, die minder energie vragen. De eerste stap hierbij is de huidige kostenstructuur te analyseren. Produktiekosten zijn samengesteld uit:

- energiekosten (ca. 10 - 30 %)
- arbeidskosten (ca. 30 - 40 %)
- grondstoffen en bedrijfsgebouwen (ca. 30 - 40%)
- diversen (o.a. afschrijvingen, interest, etc.)

Bovengenoemde percentages moeten beschouwd worden als benaderingen voor processen, waarbij energiekosten significant zijn.

Een relatieve verhoging van de energieprijs t.o.v. andere produktiekosten zal het bedrijf er toe aanzetten wegen te zoeken om het energieverbruik terug te dringen. Voorbeelden van mogelijke energiebesparingen die het bedrijf zelf kan uitvoeren zijn (11, 25, 27, 28):

1. - beperking van de verliezen bij de processen, bijv. door automatische procescontrole.
2. - een intensiever gebruik van de warmte door een betere warmte-uitwisseling en betere isolatie.
3. - efficiënter warmtegebruik bij verbrandingsprocessen.
4. - vervanging van de bestaande processen door processen die minder energie gebruiken.
5. - overschakeling van elektriciteit naar aardgas of olie als warmtebron, indien dit voordeliger is.
6. - werken met grotere produktie eenheden, waardoor de investerings- en produktiekosten per eenheid produkt lager worden.

In dit onderzoek werd m.n. punt 4 - het zoeken naar minder energie-consumerende processen - bestudeerd.

De energiebronnen, die ons ter beschikking staan, zijn de volgende:

- fossiele brandstoffen
- zonne-energie
- windkracht
- waterkracht
- kernenergie

Van deze bronnen zal de eerste binnen afzienbare tijd uitgeput zijn. Veel onderzoek wordt gedaan naar de toepassingsmogelijkheden van de alternatieve bronnen, waarvan vooral de kernenergie veel aandacht heeft gekregen.

Bij de behandeling van levensmiddelen kunnen verschillende stralen gebruikt worden: elektromagnetische stralen (gamma- en Röntgenstralen) en elektronenstralen. De elektromagnetische stralen hebben geen massa en dringen dieper door in het te bestralen object dan elektronen met dezelfde energie, die ten gevolge van hun massa snel afgeremd worden.

Deze stralen zijn rijk aan energie en zijn in staat chemische veranderingen, ionisatie en radikaalvorming te veroorzaken. De stralen kunnen afkomstig zijn van installaties zoals Röntgenapparatuur en van (al of niet) kunstmatige radioactieve isotopen zoals ^{60}Co en ^{137}Cs .

De energie welke door bestralen aan het produkt wordt toegevoegd, wordt uitgedrukt in rad, waarbij 1 rad gelijk is aan een hoeveelheid opgenomen energie van 100 erg per gram bestraald produkt (13, 15).

Experimenten met het bestralen van levensmiddelen wijzen uit, dat het doden van microorganismen en insekten mogelijk is, waarbij minder schade aan het produkt wordt toegebracht dan bij conventionele conserveermethoden, omdat temperatuursverhoging achterwege blijft. De praktische toepassing is echter nog in ontwikkeling.

- Grote voordelen t.o.v. conventionele conserveringsmethoden zijn de volgende:
- Door bestraling vindt er nauwelijks een temperatuursverhoging in het produkt plaats; zo resulteert bijv. bestraling van water met een dosis van 2 Mrad in een temperatuursverhoging van slechts 5 °C. Hierdoor is het mogelijk produkten zoals groenten en vers fruit te verwerken zonder het weefsel te beschadigen. Pathogene bacteriën in bevroren produkten kunnen gedood worden zonder dat het produkt eerst ontdood hoeft te worden. (Dit is bijv. het geval bij de radiosterilisatie van diepgevroren commerciële dieten voor patienten in omgekeerde isolatie.)
 - Gammastralen kunnen door verpakkingsmaterialen zoals metaal, plastic, hout, papier, heendringen en zo insecten en micro-organismen onschadelijk maken. De mogelijkheid om het produkt te behandelen in zijn uiteindelijke verpakking voorkomt nabesmetting.
 - Het doordringend vermogen van stralen kan ook gebruikt worden om insecten of microorganismen te doden in produkten, die niet op een andere wijze behandeld kunnen worden zonder het produkt te beschadigen. Een voorbeeld is het doden van inkteneieren en larven in granen en meelprodukten, en in spierweefsel van vlees.

Een belangrijk voordeel van conservering d.m.v. bestralen kan een lager energieverbruik zijn dan bij toepassing van de bestaande conserveermethoden. Gegevens hierover zijn verzameld en in het volgende hoofdstuk weergegeven.

2. Te beschouwen factoren van het energieverbruik

Aangezien de studie werd verricht in verband met een te houden congres, was de beschikbare tijd de voornaamste beperkende factor. Besloten werd daarom om uit de verschillende aspecten, die aan het energieverbruik verbonden zijn een selectie te maken.

De volgende overwegingen hebben hierbij een rol gespeeld.

Er zijn tal van produkten, waarbij bestraling een uitbreiding is van het bestaande proces, waardoor een langere houdbaarheid wordt verkregen. In dit geval is het moeilijk om een vergelijking betreffende het energieverbruik te maken, aangezien er ten opzichte van de bestaande methode alleen maar extra energie wordt toegevoegd aan het produkt, wat dan resulteert in een verhoogde kwaliteit. Om bij dit soort produkten de verschillende conserveringsmethoden te kunnen vergelijken moet een grootheid gezocht worden, waarin beide parameters, energieverbruik en houdbaarheid, uitgedrukt kunnen worden. Voorlopig moet worden volstaan met een beschrijving van de voor- en nadelen van de verschillende conserveringsmethoden (zie hoofdstuk 5).

Het leek nu het meest zinvol om alleen die produkten bij het onderzoek te betrekken, waarvoor bestraling duidelijk een alternatieve methode is. Zo kan bijv. een hittebehandeling vervangen worden door bestraling of door een combinatie van korte verhitting en bestraling. Belangrijke vertegenwoordigers van deze groep produkten zijn groenten, fruit en vlees (ham).

De fysische conserveringsmethoden die gebruikt kunnen worden zijn koelen, diepvriezen, drogen en steriliseren. Niet elk van deze methoden is even geschikt voor de betreffende groente- of fruitsoort. Per produkt moet bepaald worden wat de beste resultaten geeft. Het invriezen van zacht fruit (aardbeien) bijv. heeft een volkomen textuurverlies ten gevolge, terwijl slechts enkele fruitsoorten zich lenen voor drogen. De meeste groentesoorten worden zowel diepgevroren als gesteriliseerd. Hierbij verdient een koudeconservering veelal de voorkeur, aangezien daarbij de produkteigenschappen zoveel mogelijk behouden blijven.

Daar de meeste levensmiddelen slechte warmtegeleiders zijn, zijn hoge temperaturen en lange sterilisatietijden vereist, om een goede conservering te bewerkstelligen. Dit kan een ernstige beschadiging van de textuur, on-

gewenste veranderingen in smaak en geur, en een vermindering van de voedingswaarde ten gevolge hebben.

Door een combinatie van een minder intensieve hittebehandeling met bestraling kan de enzymactiviteit stop gezet en het aantal micro-organismen voldoende gereduceerd worden, terwijl toch de oorspronkelijke kenmerken van het produkt in belangrijke mate behouden blijven (13, 18, 21, 26).

Andere combinaties, waarbij bestraling goed toepasbaar is, zijn de radiosterilisatie van complete (vetarme) diëten in diepgevroren toestand en de sterilisatie of SPF (Specific Pathogen Free) stralingsbehandeling van diervoeders. De eerste zijn nodig voor patiënten, die orgaantransplantaties of andere zware operaties ondergaan hebben of wier natuurlijk afweermecanisme tegen infecties niet goed functioneert. De diervoeders worden gebruikt voor proefdieren, bijv. bij toxicologisch onderzoek.

Als voorbeelden voor de conservering van fruit werden aardbeien en peren gekozen, voor de groenten doperwtjes en asperges, aangezien hierover voldoende gegevens beschikbaar waren.

Naast het aanbrengen van een beperking wat betreft het soort produkt, is het ook nodig het energieverbruik nader te definiëren.

Het totale energieverbruik bij de bereiding van conserven is uit een aantal factoren opgebouwd, zoals:

- a) transport van het produkt naar het bedrijf.
- b) energie voor bouwmaterialen van het bedrijf.
- c) energie voor bedrijfsinstallaties en hulpmaterialen.
- d) energieverbruik tijdens het proces.
- e) licht en verwarming van bedrijfsruimten.
- f) energie voor opslag en distributie.

ad a) Aangezien de bestaande conservenbedrijven goed verspreid zijn, worden de produkten van het land gewoonlijk naar het dichtstbijzijnde bedrijf vervoerd. Zoals de situatie op het ogenblik is, zal het energieverbruik bij transport groter worden, indien het produkt bestraald wordt, aangezien er slechts op één plaats in ons land een stralingsbron aanwezig is. Wanneer in de toekomst meer verspreid stralingsbronnen geplaatst zouden worden, worden de transportkosten minder.

- ad b) Voor de vervaardiging van bouwmaterialen en het bouwen van het bedrijf is uiteraard ook een hoeveelheid energie nodig. Deze hoeveelheid is afhankelijk van de gebruikte materialen, de grootte en indeling van het bedrijf, etc..
- ad c) Voor de inrichting van het bedrijf geldt mutatis mutandis hetzelfde als onder b). Behalve de energie voor de vervaardiging van de benodigde apparatuur, wordt hierbij ook gerekend de energie nodig voor de bereiding van hulpstoffen, b.v. suiker voor confituren, kleur- en smaakstoffen, andere toevoegingen, vloeibaar N₂ of freon voor koelapparatuur, verpakkingsmateriaal, etc.
- ad d) Het energieverbruik tijdens het proces kan vrij nauwkeurig bepaald en eventueel berekend worden. Het toepassen van een andere conserveringsmethode zal op deze post van het totale energieverbruik een directe invloed hebben.
- ad e) De energiekosten voor verlichting en verwarming zijn afhankelijk van de grootte van het bedrijf, isolatie, werktijden etc.. De grootste hoeveelheid fruit en groente komt in de maanden juni t/m september ter beschikking. Het kan dan nodig zijn in deze maanden 24 uur per dag in ploegen te werken, terwijl de rest van het jaar normale werktijden aangehouden worden. Ook komt het voor, dat het bedrijf enkele maanden per jaar sluit of in het hoogseizoen alleen in "bulk"-verpakking produceert en het produkt later verder verwerkt. De werktijden en het aantal werkdagen zijn mede bepalend voor het energieverbruik voor verlichting en verwarming.
- ad f) Het energieverbruik tijdens bewaren is afhankelijk van de bewaar-duur en -temperatuur. Voor produkten, welke lang opgeslagen moeten worden (fruit, zomergroenten, aardappelen), zal het energieverbruik tijdens het bewaren groot zijn. Ook het al of niet bewaren onder geconditioneerde omstandigheden (luchtvochtigheid, O₂- en CO₂-percentage) is een belangrijke faktor in het energieverbruik. Het energieverbruik tijdens distributie wordt behalve door de afstand ook bepaald door het al of niet noodzakelijk zijn van gekoeld vervoer.

Uit de opsomming blijkt, dat de grootte van de verschillende factoren per bedrijf en per produkt belangrijk kan verschillen. Alleen de faktor genoemd onder d) is duidelijk gedefinieerd en kon in de beschikbare tijd vrij nauwkeurig bepaald worden.

Bij het bepalen van het energieverbruik bij de verschillende conserveringsmethoden is daarom alleen het energieverbruik van het conserveringsproces zelf, in beschouwing genomen.

3. Vergelijking van het energieverbruik door de processen bij de meer conventionele conserveringsmethoden met het energieverbruik door de benodigde processen bij methoden met bestraling.

3.1 Conservering van groenten

Conventionele conserveringsmethoden zijn sterilisatie, diepvriezen en drogen. Van deze methoden veroorzaakt het diepvriesproces de minste veranderingen aan de eigenschappen van het produkt. De voedingswaarde blijft zoveel mogelijk behouden, terwijl ook de organoleptische kwaliteit (geur, kleur, smaak, textuur) nauwelijks achteruit gaat. Het produkt is niet steriel, maar de houdbaarheid van het diepvriesprodukt is groot, mits de nodige voorzieningen getroffen worden, zoals koelvitruines in winkelbedrijven.

Voor het bewaren van gesteriliseerde produkten zijn nauwelijks extra maatregelen nodig. Een nadeel van deze methode is echter een verlies aan voedingswaarde (vitamines), vaak een achteruitgang in kleur en smaak. Een voordeel van het gesteriliseerde produkt is een reductie van het kiemgetal zodanig, dat met name pathogene microörganismen niet meer aanwezig zijn. Het produkt kan bij kamertemperatuur bewaard worden en is voor gebruik gereed.

Drogen van produkten heeft als voordeel, dat het volume enorm veel kleiner wordt (groenten bestaan voor 70 - 90% uit water) en dus minder opslagruimte, verpakkingsmateriaal en transportmiddelen nodig zijn. Deze methode wordt echter niet veel toegepast (soepgroenten, bamigroenten).

Om voedsel m.b.v. ioniserende stralen te steriliseren, zijn dermate hoge doses nodig, dat over het algemeen smaak- en textuurveranderingen optreden (18, 21). Bovendien worden enzymen niet volledig door bestraling geïnaktiveerd, zodat dan alsnog bederf zal optreden. Om aan deze nadelen te ontkomen, kan een combinatie van een hittebehandeling (voldoende om enzymaktiviteit te stoppen) en bestraling toegepast worden. Ten gevolge van een minder intensieve hittebehandeling blijven vitamines (ascorbinezuur, riboflavine) behouden.

Sreenivasan (29) constateerde ten gevolge van bestraling een kooktijdverkorting.

Langerak onderzocht voor asperges een combinatie van 8 minuten op 115 °C met een bestralingsdosis van ca. 0,25 Mrad, en bij erwten een behandeling van 9,1 min op 121 °C met een bestraling van 0,5 Mrad (21).

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de verzamelde gegevens. Bij de interpretatie van deze en volgende vergelijkingen dient rekening te worden gehouden met het feit, dat de cijfers van verschillende bronnen afkomstig zijn. Bij de beoordeling is derhalve enige terughoudendheid op zijn plaats.

Het energieverbruik wordt uitgedrukt in Joules per ton produkt.

Tabel 1. Energieverbruik bij conservering van erwten en asperges

	<u>diepvries</u>	<u>sterilisatie</u>	<u>verhitten + bestralen</u> (γ)**
wassen produkt 1 (20 ton water/ton)	217.10 ⁶	217.10 ⁶	217.10 ⁶
blancheren 2	610.10 ⁶		
verhitten 8			490.10 ⁶ asperges 505.10 ⁶ erwten
koelen 3	217.10 ⁶		
vriezen 4	1407.10 ⁶ - 2167.10 ⁶		
steriliseren 5		588.10 ⁶	
koelen 6		271.10 ⁶	271.10 ⁶
bestralen			5.10 ⁶ erwten 3.10 ⁶ asperges
Totale proceskosten ca.	2451.10 ⁶ - 3211.10 ⁶	1076.10 ⁶	981.10 ⁶ asperges 998.10 ⁶ erwten
Opslag 7	3780.10 ⁶		

** erwten : verhitting 9,1 min 121 °C, bestraling 0,5 Mrad
asperges : " 8 min 115 °C, " 0,25 Mrad

1 Energieinhoud van water van 20 °C: ca. 3 kWh/m³. Dit betekent 3.860.20 = 51.000 kcal/ton = 217.10⁶ J/ton. (1 kWh = 860 kcal)

2 Verbruik ca. 2 ton water / ton produkt (31), dus energie inhoud is 5160 kcal/ton = 21,7.10⁶ J/ton.

Benodigde warmte om 2 ton water te verwarmen van 20° naar 90°C =

2000.1.70 = 140.000 kcal = 588.10⁶ J.

Totaal: 21,7.10⁶ + 588.10⁶ = 610.10⁶ J/ton.

3 Verbruik: 20 ton water/ton produkt (31) = 217.10⁶ J/ton produkt.

4 Volgens opgave van IGLO (32) (koeling m.b.v. koude lucht in een vriestunnel): 150 - 200 kWh/ton.

Volgens (2) voor een vriestunnel: 130 kWh/ton.

Volgens (2) voor een fluidized bed: 150 kWh/ton.

Voor de produktie van 1 "elektrische" calorie zijn 3 warmtecalorien nodig.

Energie-inhoud: 130 kWh = 130.860.3 = 335.000 kcal = 1407.10⁶ J/ton.

200 kWh = 200.860.3 = 516.000 kcal = 2167.10⁶ J/ton.

5 Het energieverbruik hangt af van de volgende factoren:

- de wijze, waarop het verhittingsproces plaats vindt: a) batch proces

b) continu proces

- grootte van de blikken: kleine blikken hebben een grotere verhouding oppervlakte tot inhoud, waardoor een betere warmteoverdracht plaats vindt.

Volgens opgave van Stork (30) wordt bij sterilisatie gebruikt ca. 100 kcal/kg.

Hierbij wordt uitgegaan van warm afgevuuld produkt (60 °C). Voor de opwarming van 20 ° naar 60 °C moeten dus nog 40 kcal/kg geteld worden.

Totaal 140 kcal/kg = 588.10³ J/kg = 588.10⁶ J/ton.

6 Koelen van 120 ° - 20 °C: Nodig 25 ton water/ton produkt = 3.860.25 = 64.500 kcal = 271.10⁶ J/ton produkt.

7 Volgens opgave van IGLO (32) is de gemiddelde opslagtijd 6 maanden.

Warmteverliezen ca. 200 kcal/u. ton.

Totaal 200.4320 kcal = ca. 900.000 kcal/ton = 3780.10⁶ J/ton.

8 Een commerciële sterilisatie bestaat uit de volgende behandeling:

Asperges : 19,3 min/115 °C

Erwten : 18,0 min/121 °C

De hittebehandeling, die in combinatie met bestraling wordt toegepast, is als volgt:

Asperges : 8 min./115 °C
 Erwten : 19,1 min./121 °C

Dit zijn F_{-} waarden (proceswaarden) en niet de totale autoclaveringstijden. Ze zijn hier echter goed bruikbaar voor een vergelijkend inzicht in het energieverbruik.

In het kader van deze berekeningen mag ervan uitgegaan worden, dat voor de verhitting van het produkt van 20 °C naar 120 °C nodig zijn 100 kcal/kg. De resterende 40 kcal/kg (zie punt 5) zijn dan vereist voor het realiseren van de werkelijke sterilisatieduur.

$$\text{Asperges: } 100.000 + \frac{8}{19,3} \cdot 40.000 \text{ cal/kg} = 116.580 \text{ cal/kg} = 490 \cdot 10^6 \text{ J/ton}$$

$$\text{Erwten: } 100.000 + \frac{9,1}{18} \cdot 40.000 \text{ cal/kg} = 120.222 \text{ cal/kg} = 505 \cdot 10^6 \text{ J/ton}$$

Omdat bij een combinatie van verhitten en bestraling een minder intensieve hittebehandeling nodig is, levert dit proces voordeel op wat betreft energieverbruik. Het conserveren door koude is duidelijk een proces, dat enorm veel energie vereist. Zoals al eerder vermeld, blijven de produkteigenschappen echter beter behouden.

3.2 Conservering van fruit

Voor het bewaren van fruit bestaan er verschillende mogelijkheden, variërend van methoden waarbij het produkt duidelijk herkenbaar blijft (drogen, steriliseren) tot die, waarbij een geheel nieuw produkt ontstaat (jam, moes, vruchtensap). In dit verslag worden alleen eerstgenoemde methoden in beschouwing genomen om een goede onderlinge vergelijking mogelijk te maken.

Als voorbeeld dienen peren en aardbeien. Van peren wordt het energieverbruik bekeken bij bewaring in koelhuizen (4), en bij drogen. Van aardbeien alleen de conservering door een hitte pasteurisatie.

Daarnaast wordt de volgende behandeling vergeleken:

peren: verhitting 7,2 min. 85 °C bestraling 300 krad (21)

aardbeien: " 0,9 min. 85 °C " 50 Mrad.

Tabel 2. Het energieverbruik bij de conservering van appels en aardbeien (J/ton)

	<u>koelhuis</u>	<u>peren</u> <u>drogen</u>	<u>aardbeien</u> <u>hitte-</u> <u>pasteurisatie</u>	<u>peren + aardbeien</u> <u>verhitten +</u> <u>bestralen</u>
wassen		217.10 ⁶	217.10 ⁶	217.10 ⁶
verhitten ³				409.10 ⁶ peren 326.10 ⁶ aardbeien
drogen ¹ (met hete lucht)		5355.10 ⁶		
sterilisatie			588.10 ⁶	
bestraling				3.10 ⁶ peren 0,5.10 ⁶ aardbeien
koeling ²	1512.10 ⁶		271.10 ⁶	217.10 ⁶
Totale proceskosten	ca. 1512.10 ⁶	5572.10 ⁶	1076.10 ⁶	846.10 ⁶ peren 761.10 ⁶ aardbeien

- 1 Bij een grote installatie zal het energieverbruik bij ca. 1500 kcal/kg verdampt water liggen. (22). Aannemend, dat het watergehalte van appels 90% bedraagt, en gedroogd wordt tot een eind-watergehalte van 5%, dan moet per kg appels 850 gr water verdampt worden; d.i. per ton produkt 850 kg. Per ton produkt worden dus $850 \cdot 1500 = 1275.000$ kcal verbruikt = $5355 \cdot 10^6$ J.
- 2 Het gemiddeld stroomverbruik in fruitkoelhuizen per 1000 kg (4) (medio september - medio april) bedraagt 140 kWh. Voor de produktie van 140 kWh (= 140×860 kcal) zijn nodig $3 \cdot 140 \cdot 860 = 360.000$ kcal = $1512 \cdot 10^6$ J.
- 3 Voor een commerciële pasteurisatie wordt de volgende behandeling toegepast:
 peren 10 min./85 °C
 aardbeien 3,2 min./85 °C.
- Volgens Stork moet voor de pasteurisatie een energieverbruik van 110 kcal/kg berekend worden (30), uitgaande van een produkttemperatuur van 20 °C.
- Bij de gecombineerde methode wordt het energieverbruik:
- Peren:
 $(85-20) \cdot 10^3 \text{ cal/kg} + \frac{7,2}{10,0} \cdot (110-65) \cdot 10^3 \text{ cal/kg} = 97.400 \text{ cal/kg} = 409 \cdot 10^6 \text{ J/ton.}$
- Aardbeien:
 $(85-20) \cdot 10^3 \text{ cal/kg} + \frac{0,9}{3,2} \cdot (110-65) \cdot 10^3 \text{ cal/kg} = 77.660 \text{ cal/kg} = 326 \cdot 10^6 \text{ J/ton.}$

Drogen blijkt in dit geval de conserveringsmethode te zijn, die het meeste energie vraagt. Een goede vergelijking blijft echter moeilijk.

In het geval van aardbeien bijv., ontstaat bij hittesterilisatie een produkt dat weliswaar lang houdbaar is (tot 1 jaar), maar dat een weke textuur en een onaantrekkelijk uiterlijk heeft.

Bij een gecombineerde behandeling behoudt dit produkt een betere structuur (21).

3.3 Sterilisatie van diervoeders

Bij het kiemvrij maken van diervoeders kunnen de volgende methoden gebruikt worden: sterilisatie door autoclaving of door bestraling. Voor de hittebehandeling wordt ca. 15 min. op 121 °C aangenomen, bij bestraling wordt een dosis van 2,5 Mrad gebruikt.

De energiebalans ziet er dan als volgt uit:

Tabel 4. Vergelijking van het energieverbruik bij het kiemvrij maken van diervoeders (J/ton)

	hittebehandeling	bestraling
verhitten ¹	588.10 ⁶	
bestralen ²		25,2.10 ⁶ J/ton
koelen ³	271.10 ⁶	
Totale proceskosten ca.	869.10 ⁶	25,2.10 ⁶ J/ton

¹ Zie 3.1 noot 5.

² 2,5 Mrad = 2,5 x 2,4 cal/gr = 6000 kcal/ton = 25,2.10⁶ J/ton

³ Zie 3.1 noot 6

4. De invloed van de verpakkingsbehoeften en de bewaaromstandigheden op het energieverbruik bij de verschillende conserveringsmethoden.

Aangezien de keuze van verpakkingsmateriaal in belangrijke mate bepaald wordt door de gebruikte conserveermethode, dient ook dit aspect in beschouwing genomen te worden.

Voor diepvriesprodukten wordt meestal een kartonnen doosjes gebruikt. Verbruik ca. 40 gr/kg produkt (voor 1/2 kg verpakking). De energie-inhoud van papier bedraagt ca. $4 \cdot 10^6$ kcal/ton (7, 8, 15, 25). Totaal verbruik dus 160.000 kcal/ton produkt = $672 \cdot 10^6$ J/ton produkt.

Voor gesteriliseerde produkten komen blik en "flexible" in aanmerking. Energie-inhoud blik ca. $7 \cdot 10^6$ kcal/ton. Verbruik van blik (1/2 kg verpakking) is 154 gr/kg produkt. Energieverbruik dus ca. 1.100.000 kcal/ton = $4620 \cdot 10^6$ J/ton.

Energie-inhoud van plastics $7 \cdot 10^6$ kcal/ton, voor aluminium geldt $7 \cdot 10^7$ kcal/ton. Verbruik van materiaal is ca. 20 gr plastic/kg produkt en 5,5 gr aluminium/kg produkt. Het energieverbruik wordt nu $20 \cdot 7 \cdot 10^3 + 5,5 \cdot 7 \cdot 10^4 = 525.000$ kcal/ton produkt = $2205 \cdot 10^6$ J/ton produkt.

Soms wordt de "flexible" nog verpakt in een kartonnen doosje. Stel deze verpakking gelijk aan die van diepvriesprodukten dan wordt het totaal 700.000 kcal/ton = $2940 \cdot 10^6$ J/ton.

Wanneer we de energie-inhoud van het verpakkingsmateriaal bekijken, komen we tot de volgende konklusie.

De energie-inhoud van blik is een faktor 2 groter dan die van een "flexible". Aangezien bij bestraling slechts een korte verhitting wordt toegepast, waardoor het produkt zijn stevigheid behoudt, is een verpakking in blik niet strikt noodzakelijk. Heel goed kan een "flexible" met eventueel een kartonnen doosje om beschadiging van het produkt te voorkomen, gebruikt worden. Het resultaat is een behoorlijke energiebesparing.

Ook de manier van bewaren is een belangrijke energie-consumerende faktor. Gesteriliseerde produkten (hetzij door een hittebehandeling, hetzij door een combinatie van een hittebehandeling en bestraling) kunnen bij kamertemperatuur bewaard worden. Diepvriesprodukten echter dienen op een temperatuur < -18 °C te blijven, wil geen bederf optreden. Dit betekent nog een enorme post op de energie-begroting. Volgens opgave van IGLO

is de gemiddelde opslagtijd 6 maanden (fabriek, tussenhandel, winkelier). Zoals uit tabel 1 en 3 blijkt, wordt door deze speciale bewaaromstandigheden het energieverbruik bijna verdubbeld.

5. Enkele andere produkten, waarvoor een exacte vergelijking van het energieverbruik tussen verschillende conserveringsmethoden (nog) niet mogelijk is.

5.1 Vlees

Voor de conservering van vlees staan de volgende methoden ter beschikking (12, 24): - conservering door melkzuurvorming (worstsoorten)

- pekelen
- roken
- steriliseren
- diepvriezen.

Over de eerste drie methoden zijn geen gegevens bekend ten aanzien van het energieverbruik. Het energieverbruik van steriliseren en diepvriezen zal globaal overeenkomen met de cijfers genoemd in 2.2..

Voor beide processen valt de energiebehoefte gunstiger uit, aangezien de soortelijke warmte (kcal/kg. °C) 0,51 (varkensvlees) tot 0,6/0,77 (rundvlees, vet resp. mager) bedraagt (24), terwijl voor een groente een waarde gelijk aan die van water is aangenomen (1 kcal/kg. °C).

Bij de bestaande conserveringsmethoden is de houdbaarheid toch nog zeer beperkt.

Alternatieve methoden die ter beschikking staan zijn bestraling en een combinatie van bestraling en een hittebehandeling.

Nieuwe mogelijkheden ontstaan bij het conserveren van vlees in grote containers. Wanneer een hele kalkoen of een grote ham door hitte gesteriliseerd moeten worden, duurt het proces enkele uren. De buitenkant van het produkt wordt dan te lang verhit en er ontstaat een zachte pappige structuur.

Wanneer dergelijke produkten echter normaal in een oven gebraden worden, vervolgens onder vacuum verpakt en bestraald met een dosis van 4,5 Mrad, behoudt het produkt zijn gewenste textuur en is toch voldoende gesteriliseerd (10, 13, 24).

Wanneer vlees met 4,5 Mrad bestraald wordt bij kamertemperatuur ontstaat een zgn. "wet dog flavour". Dit kan voorkomen worden door het vlees in te vriezen in vloeibare stikstof tot -30° à -40° C en daarna te bestralen.

Wanneer de warmteonttrekking plaats vindt door onderdompeling of besproeiing met vloeibaar N_2 , zijn de extra energiekosten niet zo groot (3), als bij het gebruik van een vriestunnel.

Vlees, dat bij -30°C bestraald was en vervolgens opgeslagen werd bij $2^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$, bleek 12 jaar bewaard te kunnen worden zonder dat de kwaliteit achteruit gegaan was. Na het koken kreeg het vlees een wat bittere nasmaak, wat voorkomen kon worden door de proteolytische enzymen te inaktiveren door een korte hittebehandeling (23).

Over het energieverbruik van een hittesterilisatie konden geen gegevens verkregen worden, zodat een vergelijking niet mogelijk is.

5.2 Kruiden en specerijen

Specerijen worden in een aantal bedrijven als grondstof bij het vervaardigen van eindprodukten verwerkt. Bovendien worden zij bij het bereiden van spijzen in het huishouden gebruikt.

De verwerkende industrie heeft een duidelijke behoefte aan "ontsmette" specerijen, daar het niet-ontsmette produkt doorgaans een hoge microbiële besmettingsgraad heeft (17), welke aanleiding kan zijn tot afwijkingen in het geproduceerde.

Voor het ontsmetten kwam tot nu toe alleen het gassen in aanmerking. Bij deze ontsmettingsmethode is het eindresultaat echter afhankelijk van een groot aantal factoren (druk, temperatuur, gasmengsel, tijdsduur, etc.), waardoor de bedrijfszekerheid nadelig beïnvloed wordt.

Bovendien is gas een contactstof; de wijze van verpakken dient derhalve zodanig te zijn, dat ieder deeltje van de inhoud langdurig met het gas in contact komt. Gasdichte verpakkingen dienen dus vóór de behandeling geopend, en er ná gesloten te worden. Het sluiten na het ontsmetten brengt hier het risico van nabesmetting met zich mee. Sedert enige tijd is bovendien bekend, dat het gebruik van ethyleen- of propyleenoxide onder bepaalde omstandigheden oorzaak kan zijn van de vorming van de toxische chloorhydrines

Ook kan de industrie gebruik maken van vloeibare extracten. Deze zullen doorgaans steriel zijn, omdat de extractie bij hoge temperatuur (ca. 80°C) en gedurende langere tijd plaats vindt. Een nadeel van verhitten is echter, dat bepaalde aromacomponenten vervluchtigen, hetgeen aanleiding kan geven tot smaakveranderingen.

De derde mogelijkheid is het ontsmetten door γ -straling. Om een

aanvaardbare reductie van het kiemgetal (faktor 10^4) te verkrijgen, blijkt een dosis van 1 Mrad reeds voldoende (9).

Aangezien geen gegevens verkregen konden worden over het energieverbruik van gassen (energie-inhoud gas, ventilatoren, etc.) en extraheren, is het moeilijk een vergelijking te maken. Extraheren is meestal een energetisch duur proces. De extractievloeistoffen met de kruiden moeten om een zo groot mogelijk contactoppervlak te creëren intensief in beweging gehouden worden (pompen, roerwerken, etc.), terwijl bovendien het geheel gedurende lange tijd op een hoge temperatuur moet worden gehouden.

Op het eerste gezicht lijkt bestraling minder energie te kosten dan de gebruikelijke methoden. Het feit, dat bij gassen giftige stoffen gevormd kunnen worden, kan ook een belangrijke reden zijn om tot bestraling over te gaan.

5.3 Panklare groenten/ champignons

De vraag naar voorverpakte, voorgesneden groenten neemt enorm toe als gevolg van het zelfbedieningssysteem in winkels en supermarkten, het gebrek aan personeel in kantines, ziekenhuizen, e.d. Bovendien gaat de huidige ontwikkeling in een richting, dat steeds meer (werkende) mensen in mindere mate bereid of in staat zijn veel tijd te besteden aan het bereiden van een maaltijd.

Bij de produktie van voorgesneden, gewassen groenten is het erg moeilijk om de vraag per dag te bepalen. Aangezien de produkten reeds na 2 dagen microbieel bederven en er bruine verkleuringen optreden, betekent elke overproduktie verlies. Bovendien houdt dit in, dat dagelijks aanvoer van verse voorraad moet plaats vinden.

Een oplossing hiervoor is bestraling van het produkt na het wassen en verpakken. De houdbaarheid wordt hierdoor met 100 % verlengd. Bovendien kan het produkt bij 10° bewaard worden en is geen koeling tot 2°C meer noodzakelijk, zoals bij het onbestraalde produkt.

De optimale dosis voor uien en andijvie bedraagt resp. 75 en 100 krad. Hogere doses doen de verkleuring toenemen (20).

Het bovengenoemde probleem doet zich ook voor bij champignons. Reeds 2 dagen na het plukken, begint de paddestoel zwart te worden, te verschrompelen en gaat de hoed zich open vouwen. Door koeling (2°C)

en door bestraling kan dit proces aanzienlijk vertraagd worden.

Wanneer de champignons direkt na het plukken bestraald worden met γ -stralen (150 krad), blijft de oorspronkelijke kwaliteit (kleur, stevigheid) bij bewaartemperaturen van 10°C , resp. 2°C , resp. 5 en 7 dagen behouden.

Aangezien bestraling een extra toevoeging aan het bestaande proces is, kan geen vergelijking betreffende het energieverbruik gemaakt worden. Het bestralingsproces vraagt extra energie, waar echter tegenover staat, dat aanvoer van het produkt minder frequent behoeft plaats te vinden. Op de faktor transport wordt dus energie bespaard.

Een globale berekening kan misschien wel gemaakt worden.

Wanneer ervan wordt uitgegaan, dat het onbestraalde produkt 2 x zo vaak moet worden aangevoerd, ontstaat het volgende beeld:

Gerekend is met een autotransport van 200 km vice versa, met een lading van 20 ton per rit.

Verbruik (1 kg brandstof / km) = 400 kg brandstof / 20 ton. Met 1 kg brandstof = 10.000 kcal betekent dit een verbruik van 200.000 kcal / ton.

Energiebalans:

Bestraling met	75 krad (uien)	= 180 kcal / ton = $0,75 \cdot 10^6$ J/ton
	100 krad (andijvie)	= 240 kcal / ton = $1 \cdot 10^6$ J/ton
	150 krad (champignons)	= 480 kcal / ton = $1,5 \cdot 10^6$ J/ton

Besparing op transport: 100.000 kcal / ton = $420 \cdot 10^6$ J/ton

Besparing op koeling:

Theoretisch benodigd om groente van $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$ te koelen:

10.000 cal / kg = 10.000 kcal / ton = $42 \cdot 10^6$ J/ton

$20^{\circ}\text{C} \rightarrow 2^{\circ}\text{C}$:

18.000 cal / kg = 18.000 kcal / ton = $75,6 \cdot 10^6$ J/ton

Besparing dus: $\underline{\underline{33,6 \cdot 10^6}}$ J/ton

Indien door toepassing van een bestralingsdosis van 100 krad de transportfrequentie gehalveerd kan worden en de produkttemperatuur tot 10°C kan worden verhoogd, levert dit een energiebesparing op van $450 \cdot 10^6$ J/ton. Hierbij is de winst op de gekoelde bewaring tijdens transport (?) en opslag buiten beschouwing gelaten.

6 Conclusie

Uit het voorgaande blijkt, dat het conserveren van levensmiddelen door bestraling zeker perspectieven biedt. Energetisch is bestraling voordeliger dan een hittesterilisatie. Betrekken we ook de verpakkingswijze, de bewaaromstandigheden, houdbaarheid en transport in de berekening, dan zijn de energiekosten van bestralen beduidend lager in vergelijking met andere conserveringsmethoden.

Bij de gemaakte vergelijking is ervan uitgegaan, dat de bestralingsbron zich bevindt op de plaats van verwerking. Een praktische toepassing van het bestralingsprocédé zal uiteraard optimaal zijn, indien extra transportkosten vermeden kunnen worden. De praktijk heeft echter geleerd, dat deze bijkomende kosten in vele gevallen niet opwegen tegen de voordelen van het procédé.

Een ander aspect, dat zeker een belangrijke rol speelt, is het energieverbruik bij de produktie van kernenergie. Volgens een rapport van prof. dr. J. Kistemaker, aangeboden aan de Landelijke Stuurgroep voor Energie Onderzoek, ligt het energieverbruik bij de produktie van kernenergie, inclusief de gehele toevoerlijn van de kernbrandstof, het bouwen van de kerncentrale, de energie nodig om uranium te verrijken, het bouwen van generatoren om elektriciteit op te wekken, etc., veel lager dan bij de exploitatie van de huidige energiebronnen.

Bovendien zal bij gebruik van kernenergie de behoefte aan fossiele brandstoffen zoals olie of aardgas, met ca. 85% afnemen, zelfs bij een zwaar bouwprogramma van grote kerncentrales.

7 Samenvatting

Met het oog op de dreigende tekorten aan fossiele brandstoffen, werd een onderzoek gedaan naar het energieverbruik van verschillende conserveringsmethoden. Het doel hiervan was met name na te gaan of bestraling van levensmiddelen een energetisch voordeliger methode zou zijn dan de conventionele methoden.

Onderzocht werden groente, fruit, vlees, proefdiervoeders en panklare groenten.

Bij alle genoemde produkten blijkt het conserveren door bestraling of door een combinatie van verhitting en bestraling minder energie te kosten dan de conventionele conserveringsmethoden.

Een overzicht wordt gegeven in tabel 1 t/m tabel 4.

8 Literatuur

1. Anonymus. Energy for Agriculture, Agric. Research, 22(1973) 2(Aug.)
2. Anonymus. Energy in Agriculture, Agricultural Engineering (1975) (May): 17-1
3. Anonymus. Freezing systems: Investment and operating costs. Food Engineering (1971) (Sept.) 76.
4. Anonymus. Koelen van fruit en groente. Mededelingen Sprenger Instituut Wageningen, Nr. 29, 1972.
5. Bailie, Riley en Zaltman. Modern Plastics Inst. (1973) July. 50.
6. Borgström, G. The price of a tractor. Ceres (1974) (nov./dec.), 16-19.
7. Bunt, B.P. The energy used by packaging and its minimization. Journal of the Society of Dairy Techn. 28(1975), 136-143.
8. Chapman, P. New Scientist (1973) (May) 408.
9. Dijck, L.G.M. van. Studie over de toepassingsmogelijkheden van bestraling bij het ontsmetten van specerijen. Rapport nr. 3, 1970, Proefbedrijf voedselbestraling.
10. Ehlermann, D. Erfahrungen mit der Strahlenkonservierung tierischer Lebensmittel, Bestrahlungstechnik, Aktion Irad. (1968)
11. Federal Energy Administration, Washington, D.C., USA. Industrial energy study of selected food industries. (1974) (July) 582 p.
12. Frouin, A. Sterilized meat products. Ind. Al. et Agric. 89(1972), 603-611.
13. Goresline, H.E. The potentials of ionizing radiation for food preservation. Food Irradiation Information, No. 2, (1973) 20-34.
14. Gormley, T.R. Energy use in food processing and preparation, Farm and Food Res. 5(1974) 14-15.
15. Grünwald, Th. Welche Bestrahlungsanlagen stehen für die Behandlung von Lebensmitteln zur Verfügung? Bestrahlungstechnik, Aktion Irad. (1968)
16. Hirst, E. Food-related energy requirements. Science USA 184(1974) 134-138.
17. Labots, H. Vleesdist. en Vleestechn. 3(1968) 211.
18. Langerak, D. Is. De toepasbaarheid van straling bij bewaring van groenten en fruit. Voedingsm. Techn. 3(1972) no. 34/35.
19. Langerak, D. Is. The influence of irradiation and packaging upon the keeping quality of fresh mushrooms. Mushroom Sci. 8e congres(1972)
20. Langerak, D. Is. The influence of irradiation and packaging on the keeping quality of prepacked cut endive, chicory and onions. Acta Alimentaria 2(1973) 229-243.
21. Langerak, D. Is. en Bruurs, M.F.J. Preliminary study concerning the influence of combined heat and radiation treatment on the quality of some horticultural products. Acta Alimentaria 2(1973)

22. Leniger, H.A., De technologie van het verduurzamen van voedingsmiddelen door drogen, uit: Het verduurzamen van voedingsmiddelen, deel I, pag. 323. N.V. Uitgeverij Argus, 's-Gravenhage.
23. Licciardello, J.J.; Nickerson, J.T.R.; Goldblith, S.A. Observations on radio-pasteurized meats after 12 years of storage at refrigerator temperatures above freezing. Food Technology 20(1966) 1232.
24. Krol, B. Inleiding in de vleestecnologie, deel I en II. (1971).
Rijksuniversiteit Utrecht, Uitgave: Pressa Trajectina, Utrecht.
25. Over, J.A. en Sjoerdsma, A.C. Energy conservation: Ways and Means.
Future Shape of Technology, Publication Nr. 19, 1974.
26. Penner, H. Erfahrungen mit der Strahlenkonservierung pflanzlicher Lebensmittel. Bestrahlungstechnik, Aktion Irad. (1968)
27. Pimental, D. e.a. Food production and the energy crisis. Science 182(1973) 444-448.
28. Poulain, M. Savings in industrial use of energy. Ind. Al. et Agric. 91 (1974) 1189-1192.
29. Sreenivasan, A. Improvement of food quality by irradiation. Proceedings of a panel, Vienna, I.A.E.A. Vienna (1974).
30. Stork Apparatenbouw, B.V. Amsterdam, Afd. Kontini-sterilisatoren.
(persoonlijke mededelingen)
31. Stout, R.R. Agriculture's energy requirements. A new look at energy sources.
Amer. Soc. Agronomy, Spec. Publ. No. 22(1974)
32. Ven, B. van der; Unilever, persoonlijke mededelingen.
33. Wesley, F. e.a. Food Science 30(1965) 1037.