

SCHUIMHOUDENDE VERPAKKINGEN EN MILIEU

milieuvergelijking van enkele kunststofschuimhoudende verpakkingen en alternatieven

J. Guinée

E. van der Voet

G. Huppes

Centrum voor Milieukunde te Leiden

juli 1988.

Centrum voor Milieukunde
Garenmarkt 1 b
Postbus 9518
2300 RA LEIDEN
071-277486

CIP-gegevens:

Guinée, J.

Schuimhoudende verpakkingen en milieu : milieuvergelijking van enkele kunststofschuimhoudende verpakkingen en alternatieven / J. Guinée, E. van der Voet, G. Huppés. -

Leiden : Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden. - (CML mededelingen ; nr. 40)

2e dr.: 1989. - Met lit. opg.

ISBN 90-5191-019-3

SISO 570.3 UDC 504.054:[621.798.1:541.64]

Trefw.: verpakkingsmaterialen en milieu ; onderzoek.

INHOUD

Inhoudsopgave		i
Voorwoord		iii
Woord vooraf bij de tweede druk		iii
Samenvatting		v
1	<u>Inleiding</u>	1
2	<u>Kenmerken en toepassingen van enkele verpakkingsmaterialen</u>	3
2.1	Kwalitatieve inventarisatie geschuimde en alternatieve verpakkingsmaterialen	3
2.1.1	Polystyreen-schuimplastic	4
2.1.2	Polyurethaan-schuimplastic	5
2.1.3	Polyetheen-schuimplastic	6
2.1.4	Polyvinylchloride-schuimplastic	8
2.1.5	Polypropeen-schuimplastic	8
2.1.6	Andere verpakkingsmaterialen	8
2.1.7	Konklusie	10
2.2	Kwantitatieve inventarisatie geschuimde en alternatieve verpakkingsmaterialen	11
2.2.1	Geëxpandeerd polystyreen-schuimplastic	12
2.2.2	Geëxtrudeerd polystyreen-schuimplastic	12
2.2.3	Polyurethaan-schuimplastic	12
2.2.4	Polyetheen-schuimplastic	13
2.2.5	Polyvinylchloride- en polypropeen-schuimplastic	13
2.2.6	Andere verpakkingsmaterialen	14
2.2.7	Konklusie	15
2.3	Verpakkingen en afval: kwantificering	16
3	<u>Milieu-analyse van enkele verpakkingsmaterialen en van toegepaste verpakkingsalternatieven</u>	20
3.1	Toerekening en beoordeling milieu-effecten: theorie	20
3.1.1	Milieu-analyse	21
3.1.2	Milieubeoordeling	23
3.2	Milieuaspecten van enkele verpakkingsmaterialen	26
3.2.1	Beschrijving van de aard van de milieu-effecten	26
3.2.2	Milieubeoordeling van enkele verpakkingsmaterialen	30

3.3	Milieubeoordeling van verpakkingsalternatieven van enkele produkten	32
3.3.1	Vleesschaaltjes	33
3.3.2	Printer-verpakkingen	37
3.3.3	Walkman-verpakkingen	39
3.3.4	Eierdozen	41
3.3.5	Boormachine-verpakkingen	43
3.3.6	Kleurentelevisie-verpakkingen	45
3.3.7	Homecomputer-verpakkingen	47
3.4	Milieuwinst door verschuiving naar de meest milieuvriendelijke verpakking	49
4	<u>Konklusies</u>	52
	Literatuur	53
Bijlagen	1 Verpakkingsmateriaal van polystyreenschuim - kwantitatief	55
	2.1 Toerekening van aromatische ringverbindingen in emissiegassen van vuilverbrandingsinstallaties aan materialen	58
	2.2 Toerekening van dioxinen en furanen in vvi-gassen aan materialen	59
	3 Milieuaspecten van de productie-konsumptiecyclus van polystyreen-schuimverpakkingen voor een produkt	61

VOORWOORD

In opdracht van het Ministerie van VROM is op het Centrum voor Milieukunde een onderzoek gestart naar schuimplastic bevattende verpakkingen en de alternatieven daarvoor. Het onderzoek richtte zich enerzijds op het kwantificeren van de milieugevolgen van schuimplastic bevattende verpakkingen en de alternatieven daarvoor, en anderzijds op het definiëren van beleidsmogelijkheden om de problemen van deze verpakkingen te voorkomen. In de loop van dit onderzoek bleek dat wat eerst als hoofdprobleem van schuimhoudende verpakkingen was gezien, de CFK's in het schuim, in de praktijk een relatief gering en afnemend probleem was geworden. Het onderzoek is toen verkort afgerond en toegespitst op de overige complexe milieuproblemen van verpakkingen. Het uiteindelijke onderzoeksrapport wordt in eigen verantwoordelijkheid door het Centrum voor Milieukunde uitgegeven.

Speciale dank is verschuldigd aan Ing. A.G.J. Hug van het Instituut voor Verpakking van TNO-Delft voor zijn konstruktieve bijdrage aan dit rapport.

WOORD VOORAF BIJ DE TWEDE DRUK

De milieugegevens van processen die de basis vormen van de milieubeoordelingen van de in deze studie onderzochte verpakkingen, veranderen regelmatig. Idealiter zouden bij een tweede druk van dit rapport alle cijfers aan een update onderwerpen worden. Dit is niet gebeurd omdat deze studie een voorstudie is geweest voor het onderzoek "Milieueffekten van huishoudelijke verpakkingen". Laatstgenoemd onderzoek is inmiddels afgerond en in de rapportage hiervan zijn de inmiddels opgetreden veranderingen in de milieugegevens van processen verwerkt. Voor dit rapport, "Schuimhoudende verpakkingen en milieu", is een regelmatige update echter een ondoenlijke zaak. De eerdergenoemde veranderingen in de milieugegevens van processen hebben op dit moment echter nauwelijks of geen gevolgen voor de eindresultaten en konklusies van deze studie.

In principe zouden de milieugegevens van processen en daarmee de milieubeoordelingen van produkten continu op de nieuwste ontwikkelingen ge-

checkt moeten worden. Het Centrum voor Milieukunde te Leiden (CML) zal zich de komende jaren bezighouden met de ontwikkeling van een informatie-systeem dat hiervoor de basis kan vormen.

J. Guinée
E. van der Voet
G. Huppes

Leiden, september 1989

Samenvatting

Deze studie naar schuimplastic bevattende verpakkingen en alternatieven daarvoor is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM. Kern van de studie is aan te geven welke milieoverschillen er zijn tussen de verpakkingalternatieven voor één produkt. Het resultaat kan dienen ter onderbouwing van produktgericht milieubeleid.

Bij de milieuanalyse en -beoordeling zijn schuimhoudende en alternatieve verpakkingen van een zevental divers gekozen produkten betrokken, te weten verpakkingen van vleeswaren, printers, walkmans, eieren, boormachines, televisies en home-computers. De materialen, die in de verpakkingen van deze produkten voorkomen, zijn polystyreenschuim ('piepschuim') en hard polystyreen, polyetheenschuim en polyetheenfolie, polyurethaanschuim, PVC-folie, golfkarton, vlakkarton en aluminium.

Van elk verpakkingalternatief is een analyse en beoordeling gemaakt van de milieu-effecten die aan de betreffende materialen verbonden zijn. Het gaat daarbij om de hele levensloop van een verpakkingalternatief, van grondstofproductie tot afvalverwerking. De milieu-effecten worden zoveel mogelijk gekwantificeerd.

De potentiële schadelijkheid van emissies kan aangegeven worden door ze te vergelijken met een norm. Dergelijke normen bestaan voor lucht, de zogenaamde MAC-waarden (Maximaal Aanvaardbare Concentratie), en voor water, de OvD-normen (Oppervlaktewater bestemd voor Drinkwater). Met behulp van deze normen kan worden aangegeven hoeveel lucht c.q. water potentiëel voor consumptie onbruikbaar gemaakt kan worden met de totale emissies van een produkt. Deze EVL's (Eenheden Verontreinigde Lucht) en EVW's (Eenheden Verontreinigd Water) vormen zo overkoepelende maten voor de milieuschadelijkheid van een produkt. Het is vooralsnog niet mogelijk EVL's en EVW's tot één waarde te aggregeren en ongelijksortige milieu-effecten - grondstoffengebruik, emissies naar water en lucht en afvalvolume/afvalgewicht - tot één gefundeerde totaal-milieubeoordeling te integreren.

In de milieubeoordeling zijn nu gewogen emissies (EVL's en EVW's) en energie betrokken. Grondstoffengebruik en afvalvolume/afvalgewicht worden

In de milieubeoordeling zijn nu gewogen emissies (EVL's en EVW's) en energie betrokken. Grondstoffengebruik en afvalvolume/afvalgewicht worden wel genoemd, maar komen ongewogen in de milieubeoordeling voor. Zwerfvuil is niet bij de beoordeling betrokken, hoewel dit voor piepschuim wel degelijk een belangrijk milieu-aspekt kan vormen. Natuuraantasting, dat met name bij de winning van grondstoffen kan optreden, is ook niet bij de beoordeling betrokken.

De chloor-fluor-koolwaterstoffen (CFK's), die soms als blaasmiddel worden toegepast in schuimplastics, zijn niet in de milieuanalyse en -beoordeling opgenomen, hoewel deze stoffen de beoordeling van een verpakkingalternatief sterk zouden kunnen beïnvloeden. Hiervoor zijn verschillende redenen: ten eerste zijn de effecten van CFK's slecht vergelijkbaar met die van andere stoffen. Ten tweede ontbreken normen voor CFK's. Ten derde vindt een teruglopend gebruik van deze stoffen als blaasmiddel in verpakkingstoepassingen van schuimplastics plaats.

Bij de analyse en beoordeling is de funktionele uitwisselbaarheid van verpakkingalternatieven buiten beschouwing gelaten. Wel blijkt uit hun feitelijk voorkomen op de markt dat ze tot op zekere hoogte equivalent zijn.

Om het mogelijk effect van op verpakkingen gericht produktbeleid in te schatten, is de milieuwinst berekend bij een volledige marktverschuiving naar het voor dit moment meest milieuvriendelijke alternatief voor een produktverpakking. Bij de meeste produktverpakkingen blijken ten aanzien van de gewogen milieuaspekten energie, EVW en EVL en het ongewogen aspekt afvalgewicht verbeteringen mogelijk van enkele procenten tot meer dan 90%. Echter, het afvalvolume scoort tegelijkertijd dikwijls slechter ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel : Berekende milieuwinsten als percentage t.o.v. huidige situatie

	verpakking van						
	vlees- waren	printers	walk- mans	eieren	boor- machines	T.V.'s	P.C.'s
energie	66%	2%	33%	36%	72%	25%	15%
EVW	38%	10%	43%	-4%	25%	10%	19%
EVL	99%	-0,1%	16%	99%	55%	4%	12%
afvalgewicht	65%	-1%	23%	60%	44%	7%	6%
afvalvolume	-27%	2%	84%	-196%	-197%	19%	-13%

Konklusies

1. Tussen de verpakkingsalternatieven voor één produkt blijken zeer grote verschillen in milieu-effecten mogelijk te zijn, afhankelijk van het verpakte produkt. Daarbij kan de milieubelasting tot een faktor 15 uiteen lopen.
2. Schuimbevattende verpakkingen scoren dikwijls relatief gunstig op de milieu-aspekten energie, EVW, EVL en afvalgewicht. Het afvalvolume van dergelijke verpakkingen is over het algemeen groter dan van alternatieve verpakkingen. Wanneer aspecten als grondstoffengebruik, CFK's en zwerfvuil in de milieubeoordeling betrokken worden, zal de milieuscore voor schuimbevattende verpakkingen waarschijnlijk veel negatiever uit vallen.
3. Naast materiaalkeuze speelt zuinigheid in het gebruik van het materiaal bij het ontwerp van verpakkingen een zelfstandige en omvangrijke rol bij de bepaling van de grootte van de milieu-effecten van de betreffende verpakkingen.
4. Uit de diversiteit van verpakkingen voor één type produkt blijkt dat kosten-overwegingen niet volledig bepalend zijn voor de aard en omvang van de verpakking. Dit impliceert dat bij milieugericht ontwerpen van verpakkingen aanzienlijke verbeteringen te realiseren zijn ten opzichte van de huidige situatie.

1 INLEIDING

In deze studie wordt, in kwalitatieve en kwantitatieve zin, aangegeven welke milieuaspekten aan schuimhoudende verpakkingen en de alternatieven daarvoor verbonden zijn. Kern van de studie is hoe verpakkingsalternatieven voor één produkt in hun milieu-effecten kunnen verschillen. Het resultaat kan dienen ter onderbouwing van produktgericht milieubeleid. Deze milieuanalyse is voor een zevental willekeurig gekozen schuimplastic bevattende verpakkingen en hun alternatieven uitgevoerd, te weten de verpakkingen van vleeswaren, printers, walkmans, eieren, boormachines, televisies en home-computers.

In deze studie wordt niet ingegaan op functionele aspecten van verpakkingen.

Bij de milieuanalyse is gebruik gemaakt van de materiaalstudies van bureau B & G (v. Duin en de Graaf, 1987; v. Duin en Kerkhoven, 1987) en van het Bundesamt für Umweltschutz (BUS, 1984). In materiaalstudies worden alle milieu- en energieaspecten, die een rol spelen bij de productie, distributie, gebruik en afvalverwerking van een materiaal toegerekend aan een massa-eenheid geproduceerd materiaal.

Bij de milieuanalyse van een verpakkingsalternatief wordt de verpakking kwalitatief en kwantitatief geanalyseerd op aanwezige materialen. Op basis van deze analyse en de genoemde materiaalstudies kunnen vervolgens uitspraken worden gedaan over de milieu-effecten van een verpakkingsalternatief. In tegenstelling tot materiaalstudies staan nu geen massa-eenheden maar eenheden verpakking centraal.

De beoordeling van de milieu-effecten is gebaseerd op eerdere studies aan het Centrum voor Milieukunde (CML), waarbij de begrippen EVL (eenheden verontreinigde lucht) en EVW (eenheden verontreinigd water) zijn ontwikkeld. De potentiële milieuschade van een verpakkingsalternatief wordt nu bepaald op basis van emissieomvang en de schadelijkheid van de emissie, door weging van luchtmissies met MAC-waarden en wateremissies met OvD-normen (Oppervlaktewater bestemd voor Drinkwater). Voor elke stof, waarvan een hoeveelheid wordt geëmitteerd bij productie, distributie, gebruik en/of afvalverwerking van een verpakkingsalternatief, kan zo

worden vastgesteld hoeveel kubieke meter water en lucht (en eventueel ook bodem) daarmee net voor menselijk gebruik ongeschikt gemaakt zou kunnen worden. Deze kubieke meters zijn voor verschillende stoffen per kompartiment optelbaar tot een totaalvolume door een verpakking potentiëel onbruikbaar gemaakt milieu (Druijff, 1984; van den Berg e.a., 1986). Met deze beoordeling van de milieu-effecten worden alleen de potentiële effecten van produkten aangegeven, zonder rekening te houden met de precieze ruimtelijke lokatie van de effecten.

Produktbeleid heeft als basis de produktvergelijking bij gegeven processen. Het is echter mogelijk dat de gegeven processen relatief eenvoudig en/of goedkoop aangepast kunnen worden, waardoor de produktvergelijking verandert. Naast formulering van produktbeleid zal later dus een vergelijking en combinatie met procesbeleid moeten plaatsvinden.

Nadat in hoofdstuk 2 eerst een algemeen kwalitatieve en kwantitatieve inventarisatie is gemaakt van schuimplastic materialen en hun alternatieven en de milieuproblematiek van verpakkingen globaal is geïnventariseerd, wordt in hoofdstuk 3 de milieuanalyse en -beoordeling van deze materialen en enkele bijbehorende verpakkingsalternatieven uitgevoerd. Hoofdstuk 4 bevat de konklusies.

2 Kenmerken en toepassingen van enkele verpakkingsmaterialen

2.1 Kwalitatieve inventarisatie geschuimde en alternatieve verpakkingsmaterialen

Schuimplastics worden al sinds 50 jaar gemaakt. Sinds die tijd zijn sterke verschuivingen in het materiaalgebruik opgetreden. Nu nog worden elke dag nieuwe materialen ontwikkeld en getest.

Schuimplastics zijn zeer lichte materialen met vooral goede isolerende en schokabsorberende eigenschappen. Schuimplastics worden vooral toegepast in verpakkingen en als isolatiemateriaal. Daarnaast worden deze materialen verwerkt in artikelen voor verschillende industrietakken, waaronder de meubel-, auto- en textielindustrie. Op bedrijfsnivo (kunststoffenverwerkende industrieën) is het verpakkingsaandeel in de totale verwerking van polystyreen-schuim ca. 33% (Smout,1982).

Schuimplastics uit thermoplasten worden als verpakking het meest gebruikt. Thermoplasten zijn plastics, die gekenmerkt worden door de fysische eigenschap dat ze bij verwarming boven een bepaalde temperatuur op reversibele wijze verwerkings- en smeltverschijnselen vertonen (o.a. polystyreen (PS), polyetheen (PE), polyvinylchloride (PVC), polypropeen (PP) e.v.a.).

Schuimplastics uit thermoharders worden weinig als verpakkingsmateriaal toegepast (vnl. polyurethaan (PU)). Thermoharders zijn plastics, die in hun definitieve vorm geen smeltverschijnselen vertonen, dus geen vloeibare fase kennen, maar bij hogere temperaturen ontleden door gehele of gedeeltelijke afbraak van het macromoleculaire bouwsel (polyesters, polyurethaan, epoxyharsen e.v.a.;Schouten/van der Vegt,1988).

De schuimplastics, die als verpakkingsmateriaal een rol spelen, zijn in volgorde van gebruiksomvang: polystyreen, polyurethaan, polyetheen, polyvinylchloride en polypropeen. Per schuimplastic zullen nu de samenstelling, fysische eigenschappen en verpakkingstoepassingen worden behandeld, voorzover gegevens daarover bekend zijn.

2.1.1 Polystyreen-schuimplastic

Polystyreenschuim is er in twee hoofdvormen:

- 1) geëxpandeerd polystyreenschuim (hierna EPS), herkenbaar aan een bolletjesstructuur, dat door middel van de verwerkingsprocessen spuitgieten of handmatig snijden verwerkt wordt tot verpakkingen;
- 2) geëxtrudeerd polystyreenschuim (hierna GPS), herkenbaar aan het gladde oppervlak, dat door middel van vacuümervormen of thermovormen kan worden verwerkt tot verpakkingen.

De samenstelling van EPS en GPS is vrijwel gelijk. Beide materialen bestaan uit polystyreen, restmonomeer styreen, blaasmiddel en additieven. Het polystyreengehalte maakt het overgrote merendeel van het schuimplastic uit. Het monomeergehalte van EPS is zeer laag; aangenomen wordt dat hiervan de helft bij verwerking vrijkomt (VROM, 1986). Het monomeergehalte van GPS ligt over het algemeen nog lager dan bij EPS.

Voor EPS wordt meestal pentaan als blaasmiddel gebruikt, terwijl bij GPS zowel pentaan als CFK's (freon 11/freon12) worden gebruikt. In het schuim blijft 3-7% blaasmiddel achter (Modern Plastics Encyclopedia 1986-1987). Freonen zijn onbrandbaar en hebben goede isolerende eigenschappen; pentaan isoleert minder goed en is wel brandbaar. Verschil in kwaliteit tussen hamburgerverpakkingen die met pentaan en verpakkingen, die met freonen geschuimd zijn, is echter niet merkbaar (MacDonalds, pers. mededeling).

Als additieven worden op verzoek van de eindproducent kleurstoffen en vlam-/brandvertragers toegevoegd; deze additieven zullen bij verpakkingen nauwelijks een rol spelen. Eén van de belangrijkste vlamvertragers zijn de organische broomverbindingen; ongeveer 1/3 deel van de vlamvertragers bestaat hieruit (CCRX,1986). Afgezien van cadmium is over de milieuaspekten van additieven weinig bekend. Een uitgebreidere beschrijving van mogelijke additieven hebben van Duin en Joziassie in hun rapport "Energiebesparings- en milieu-aspekten bij de verwerking van kunststoffen" gegeven (van Duin/Joziassie,1985). In dit rapport zijn de additieven echter niet naar de toepassing van een kunststof in verpakkingen gespecificeerd.

Aan levensmiddelen verpakkingen van GPS worden vaak nog vezels toegevoegd om de vochtbestendigheid te verbeteren; de samenstelling van deze vezels is onbekend.

EPS-hardschuimprodukten hebben een goede schokdemping, licht gewicht, goede stabiliteit en daarnaast isolerende eigenschappen. Of de goede stabiliteit afhankelijk is van de toevoeging van antioxidanten is onduidelijk. De dichtheid van dit schuim ligt over het algemeen tussen 20-30 kg/m³ (Brüggemann e.a., 1985).

GPS wordt in foliebanen geproduceerd. De dichtheid ligt onder 100 kg/m³ bij dikke folies en tot 200 kg/m³ bij dunne folies. De folies hebben goede warmte-isolerende eigenschappen, een goede vochtbestendigheid en schokdemping.

EPS wordt verwerkt tot vormstukken voor de verpakking van gevoelige apparatuur (audiovisuele-, huishoudelijke-, foto-, komputer- en muziekapparatuur) en ook speelgoed bijvoorbeeld. Verdere toepassingen zijn mogelijk; zo werd in 1987 zeer veel EPS afgezet voor de verpakking van de toen verplicht gestelde fietsreflektoren.

GPS wordt verwerkt tot de bekende vlees-, kip-, en groenteschaaltjes, eierdozen en hamburgerverpakkingen van de fast-food industrie en de chips, die als vulmiddel in omverpakkingen worden gebruikt.

2.1.2 Polyurethaan-schuimplastic

Polyurethaan (PU) schuimverpakkingen zijn in opmars. Eerst werd PU-schuim vooral als industriële verpakking gebruikt, maar nu ook op kleine schaal als verpakking voor consumentenartikelen.

Van polyurethanen bestaan thermoplasten en thermoharders, waarvan voor de schuimtoepassingen vooral de thermoharders van belang zijn. PU-schuimen komen voor als harde en flexibele schuimen.

De samenstelling valt uiteen in polymeer, restmonomeer/grondstoffen, blaasmiddel en additieven. Voor de harde schuimen is methaan-difenyldiisocynaat (MDI) en voor flexibele schuimen toluen-diisocynaat (TDI) een belangrijke grondstof. PU-schuimen worden opgebouwd uit deze grondstoffen gekombineerd met polyolen of polyethers (Schouten/van der

Vegt, 1988). Voor een nauwkeurige reactiebeheersing zijn katalysatoren (organische tinverbindingen en tertiaire aminen) en stabilisatoren (siliconoliën) nodig.

Voor flexibele schuimen is de CO₂-ontwikkeling, die in het reactiemengsel plaatsvindt (regelbaar door waterdosering) meestal voldoende voor de beoogde schuimvorming. Voor de harde schuimen zijn nog blaasmiddelen nodig, waarvoor freon 11 en dichlooretheen worden gebruikt.

Naast stabilisatoren worden vlamvertragers op verzoek van de eindproducent toegevoegd (bij verpakkingen minimaal).

PU-schuimen hebben een goede schokdemping en isoleren goed. Deze schuimen zijn minder goed bestendig tegen hitte, chemikaliën en vocht en zijn brandbaar. De dichtheid bedraagt ca. 25-50 kg/m³.

PU-schuimen kunnen evenals partikel PE-schuim en EPS worden gebruikt als verpakking van gevoelige apparatuur. Steeds bredere toepassing vindt de 'injectie-in-de-doo's' methode. Hierbij wordt in een doos eerst een schuimlaag gespoten, waarna het te verpakken artikel in de doos geplaatst wordt en het PU-schuim ter plekke in vorm van het artikel aangebracht wordt. PU-schuimen worden voornamelijk toegepast bij het verpakken van kleinere series van een bepaald produkt.

2.1.3 Polyetheen-schuimplastic

PE-schuim is in meerdere vormen verkrijgbaar:

- 1) onvertakt geëxtrudeerd PE-schuim, dat als direkt bruikbaar folie wordt opgeleverd. Dit materiaal wordt als beschermende en isolerende folie in konsumentenverpakkingen toegepast. Het wordt op verzoek van de eindproducent gelamineerd met papier, Low-Density polyetheen (LDPE; niet geschuimd), High-Density polyetheen (HDPE; niet geschuimd) of aluminium;
- 2) vertakt geëxtrudeerd PE-schuim. Dit materiaal vindt vooral zijn toepassing in de automobiellindustrie, in sportartikelen, in de bouw en in bijvoorbeeld zwemvesten. Dit materiaal wordt op kleine schaal als verpakking van konsumentenartikelen (exclusievere en duurdere artikelen) toegepast;
- 3) partikel-schuim (vgl. EPS) dat door middel van de verwerkingsprocessen spuitgieten of snijden verwerkt kan worden tot verpakkingen.

Alle drie de hoofdvormen schuim worden uit LDPE vervaardigd.

PE-schuimen bestaan uit polymeer, restmonomeer, blaasmiddel en additieven. Het polyetheengehalte is verreweg het hoogst hiervan. Het monomeer etheen komt in zeer kleine concentraties in het eindprodukt voor.

Voor onvertakte PE-schuimen worden vooral pentaan en in mindere mate CFK's als blaasmiddelen gebruikt; voor partikel-schuim wordt voornamelijk iso-butaan als blaasmiddel gebruikt (Stange,1984).

Als additieven in geschuimd PE worden stabilisatoren, kleurstoffen, vlam-/brandvertragers en anti-oxidantengebruikt; deze additieven spelen bij verpakkingen een ondergeschikte rol. Welke additieven precies gebruikt worden is sterk afhankelijk van de producent en het type gebruik; dit geldt overigens voor alle schuimen.

Onvertakt PE-schuimfolie heeft een goede schokdemping, vochtbestendigheid, warmte-isolatie, temperatuursbestendigheid en is beter bestand tegen chemikaliën dan GPS-folies. Bovendien heeft het een gesloten, niet krassend oppervlak. PE-partikel schuim heeft in principe dezelfde eigenschappen als PE-schuimfolie, terwijl de schokdemping beter is.

PE-schuimfolie kan worden toegepast als verpakking van video- en hifi-apparatuur (tussenlegvellen, beschermende lagen), huishoudelijke apparatuur (oppervlaktebescherming, buffermateriaal), glas, porcelein, keramiek en spiegels (buffermateriaal, tussenlegvellen), muziekinstrumenten (beschermende laag), levensmiddelen (tussenlegger, isolerende verpakking) etc.

PE-partikelschuim kan verwerkt worden tot vormstukken voor de verpakking van gevoelige apparatuur (zie EPS-toepassingen).

Voor de vergelijking van PE-partikelschuim met EPS is zinvol. PE-schuim is duurder dan EPS. Aan de andere kant is PE-schuim een flexibeler materiaal en kan het grotere schokken opvangen dan EPS, waardoor in principe met kleinere hoeveelheden volstaan kan worden. Bovendien zijn schuimverpakkingen van PE niet breekbaar, i.t.t. EPS-verpakkingen, en daarom beter geschikt voor direct hergebruik in retoursystemen. PE-schuim

heeft echter het nadeel dat het materiaal onder druk vervormt en dus een minder grote statische belasting dan EPS kan verdragen.

2.1.4 Polyvinylchloride-schuimplastic

PVC-schuim is er in vele vormen maar wordt weinig als verpakkingsmateriaal gebruikt. PVC-schuim wordt o.a. als dichting in drankverpakkingen gebruikt (in kroonsluiting van bierflessen).

Het materiaal bestaat uit polyvinylchloride, blaasmiddel (N₂, CO₂, lucht; geen CFK's), weekmakers, stabilisatoren en vulstoffen. De dichtheid is minimaal 50 kg/m³.

2.1.5 Polypropeen-schuimplastic

Schuimen op basis van polypropeen-copolymeren in de vorm van partike-schuim waren in 1984 nog in ontwikkeling (Stange, 1984). Op dit moment brengt één bedrijf in Nederland polypropyleenschuim op de markt. Het schuim bestaat uit een copolymeer van propeen en styreenacryl. PP-schuim kan verwerkt worden tot vormstukken voor de verpakking van gevoelige apparatuur. Dit schuim heeft een niet krassend oppervlak, waardoor verdere krasbeschermende verpakkingsfolies achterwege kunnen blijven. Het lijkt voor de nabije toekomst dus een serieuze concurrent te kunnen worden voor EPS, PE-partikelschuim en PE-schuimfolies.

2.1.6 Alternatieve verpakkingsmaterialen

Verpakkingsmaterialen kunnen grofweg gekategoriseerd worden in de hoofd-komponenten papier/karton, kunststoffen, glas, ferro en voor non-ferro (vnl. aluminium). Als alternatieven voor de schuimplastic verpakkingen komen vnl. papier/karton (ipv. schuim vormstukken), niet geschuimde kunststoffen (eierdozen, speelgoed e.v.a.), aluminium (vleesschaaltjes), rubber, vezels en zelfs 'haar' in aanmerking. Deze laatste drie materialen worden weinig toegepast.

Papier en karton bestaan uit de grondstoffen houtslijp, cellulose, oud papier en vulstoffen, minerale pigmenten e.d. Vulstoffen zijn o.a. 'China klei', CaSO₄, CaCO₂, TiO₂ en minerale pigmenten. Daarnaast worden lijmen gebruikt en bestaat het produkt papier/karton nog uit een kleine rest vocht.

De inzet van oud papier bedraagt op dit moment 99% voor golfkarton, 80% voor massief-/vouwkarton en 75% voor pakpapier. Pakpapier wordt nauwe-

lijks als alternatief voor schuimplastics toegepast. Massief-/vouwkarton en golfkarton worden wel als alternatief toegepast voor schuimplastics als verpakking voor gevoelige apparaten en ook voor levensmiddelen (kartonnen vleesschaaltjes, eierdozen etc.).

Kombinaties van schuimplastics en karton als alternatief voor karton of schuimplastic alleen komen ook voor. Zo worden voor de verpakking van computers veelal schuimcontouren in dozen gebruikt, maar ook karton-PU-blokken komen voor.

Het grootste voordeel van papier/karton ten opzichte van schuimplastics is dat hergebruik voor het eerste materiaal op grote schaal plaatsvindt, terwijl het hergebruik van bijvoorbeeld PS-schuim nog zeer gering is. De warmte-isolatie, schok- en vochtbestendigheid van papier/karton is slechter dan van schuimplastics.

Niet geschuimde kunststoffen van PS, PE, PP, PVC en PU worden tot aan de verwerkingsprocessen analoog geproduceerd aan de schuimplastics. PS, PE (o.a. de veel gebruikte plastic tassen) PP en PVC treden vooral in de levensmiddelen verpakkingen als alternatieven voor schuimplastics naar voren; PU wordt nauwelijks of niet als niet geschuimde verpakking toegepast. Zo bestaan er transparant-polystyreen eierdozen en vlees- en groenteschaaltjes. De gevoelige producten kunnen over het algemeen niet in ongeschuimde kunststoffen verpakt worden, vanwege de geringe schokabsorptie van deze materialen. Er zijn echter ook zeer diverse producten (mikrofoons, TL-armaturen, verftuben en speelgoed) die zowel in schuimplastics als in niet geschuimde kunststoffen verpakt worden.

Naast PS, PE, PP en PVC zijn er nog meer kunststof materialen, die in de verpakkingsector gebruikt worden, zoals polyester, polyamides, polyetheenvinylalcohol (EVOH) en polycarbonaat. Het gebruik van deze nieuwere materiaal als alternatief voor de schuimen in schuimhoudende verpakkingen is echter nog relatief gering.

Levensmiddelenverpakkingen van niet geschuimd PS hebben evenals geschuimd PS een relatief hoge permeabiliteit voor gassen en organische oplosmiddelen en zijn o.a. vanwege mogelijk aromaverlies slechts geschikt voor kortdurige verpakking. Vleesschaaltjes van PE en PP worden niet geproduceerd omdat deze materialen niet de hardheid bezitten, die PS kan hebben.

Aluminium is het meest gebruikte non-ferro metaal ter wereld. Het grootste deel van het ruw aluminium wordt geproduceerd uit ertsen (bauxiet). Daarnaast vindt hergebruik van schroot plaats. De gemiddelde inzet van schroot in de aluminiumproductie wordt op 30% geschat (v. Duin en Kerkhoven, 1987).

Primair aluminium wordt gemaakt uit de grondstoffen bauxiet, natronloog, kalksteen en een grote hoeveelheid energie. Aluminium is in hoge mate zuiver (>96%).

Als verpakking wordt aluminium toegepast voor levensmiddelen in de vorm van doppen, folies, schaaltes (van pizza- tot vleesschaal), tubes, spuitbussen en verpakking van koffie en thee.

Aluminium bevat geen additieven, is hitte- en vochtbestendig, ondoorlatend voor gassen maar is zeer slecht warmte-isolerend.

2.1.7 Konklusie

In praktijk blijken PVC- en PU-schuim nauwelijks een konkurrent op verpakkingsgebied van konsumentenprodukten voor EPS- en PE-schuim. PU-schuim blijkt wel een konkurrent te kunnen zijn, wanneer het gaat om de verpakking van kleinere series produkt. Deze verpakkingsmethode ('injeکتie in de doos') is duur en komt weinig voor bij het verpakken van konsumptie-artikelen.

In de nabije toekomst zou PP-schuim nog een grote konkurrent voor EPS- en PE-schuim kunnen worden.

Welke materialen als alternatief kunnen dienen voor kunststofschuimen in verpakkingen is afhankelijk van de verpakkingstoepassing. De materialen karton/papier, niet-geschuimde kunststoffen en aluminium blijken bijvoorbeeld bij de levensmiddelenverpakkingen in vele toepassingen naast elkaar te bestaan met geschuimde kunststoffen. Het is overigens de vraag in hoeverre alternatieven voor kunststofschuimen uit milieu-oogpunt gewenst zijn.

2.2 Kwantitatieve inventarisatie geschuimde en alternatieve verpakkingsmaterialen

Kwantitatieve gegevens over verpakkingen zijn schaars. Het CBS heeft gegevens over de import en export van alle schuimverpakkingen (polystyreen, polyetheen, etc.) als lege verpakkingen (tabel 2.2). Over het verbruik van verpakkingen door bedrijven in Nederland bestaan cijfers in geldwaarde (niet in kg schuimverpakking), maar deze zijn nog niet gepubliceerd.

Wel zijn er cijfers uit 1979 over het materiaalgebruik door de kunststofverwerkende industrie voor verpakkingen, maar deze cijfers zijn slechts deels uitgesplitst naar schuimen (alleen EPS) en ook niet naar consumenten en industriële verpakkingen. Bovendien betreffen het consumptiecijfers van de verwerkende industrie en omdat import en export van verpakkingen niet bekend zijn, kan hieruit geen consumentenverbruik berekend worden (Smout, 1982).

Tabel 2.2: Import en export van schuimverpakkingen in Nederland (1986).

	stapelbakken/dozen/vlees-schaaltjes/bekertjes	hoeken/vormstukken/eierverpakkingen/loose-fill
Import		
kg	39.313.000	9.522.000
f	218.640.000,-	67.894.000,-
Export		
f	20.843.000	4.114.000
kg	130.393.000,-	30.479.000,-

Bron: CBS.

Verdere statistieken op verpakkingsgebied ontbreken in Nederland. Het Instituut voor Verpakkingen van het TNO en het Nederlands Verpakkingscentrum (NVC) zijn een aantal jaren samen met de Stichting Verpakkingen en Milieu (SVM) bezig geweest dergelijke statistieken van de grond te krijgen, maar dat heeft niet tot concrete resultaten geleid. Het is dan ook zeer moeilijk om in het kader van dit onderzoek kwantitatieve gegevens te verstrekken. Cijfers die hier gegeven zullen worden berusten op afleidingen en schattingen op basis van buitenlandse gegevens en onderzoeken en schattingen van de huishoudelijk afvalstroom.

Per kunststofschuim wordt nu nagegaan welke schattingen omtrent de omvang van het verbruik kunnen worden gemaakt.

2.2.1 Geëxpandeerd polystyreen-schuimplastic

In 1985 bedroeg het West-Europese EPS-verbruik 420 kton, waarvan 9% in de Benelux werd verbruikt (Philipp,1986). Als het verbruik per land evenredig is met het aantal inwoners van dat land, kan het verbruik van EPS in verpakkingen in Nederland in 1985 geschat worden op $0,09 \times 420 \times 0,59 = 7,3$ kton EPS/jaar¹.

Andere schattingen op basis van het verbruik aan verpakkingsmateriaal per hoofd van de bevolking, per gezin per week en op basis van het totaal verbruik in Nederland komen uit tussen 5-10 kton EPS/jaar (zie bijlage 1). Deze schattingen zijn goed met elkaar in overeenstemming.

2.2.2 Geëxtrudeerd polystyreen-schuimplastic

In 1983 bedroeg het West-Europese verbruik van schuimen van geëxtrudeerd polystyreen ca. 20% van het EPS-verbruik, dwz. $0,2 \times 450 = 90$ kton/jaar.

Geëxtrudeerd polystyreenschuim (GPS) wordt toegepast in

- a) platen voor de bouwindustrie, en
- b) vakuümvormbare folies voor de verpakkingsindustrie.

Voor de folies wordt het verbruik in West-Europa geschat op 50 kton/jaar (Stange,1984). Op basis van het bevolkingsaandeel van Nederland op de Westeuropese bevolking (4,1%) kan het Nederlands verbruik van deze verpakkingsfolies (vlees-, groente- en kipschaaltjes, eierdozen en fast-foodverpakkingen) geschat worden op $0,04 \times 50 = 2$ GPS kton/jaar.

2.2.3 Polyurethaan-schuimplastic

Polyurethaanschuimen werden in West-Europa in 1985 en 1986 op grote schaal verbruikt (resp. 1101 en 1114 kton/jaar; Modern Plastics Interna-

¹ In de berekening van het Nederlands verbruik uit het West-Europees verbruik is de differentiatie naar het specifieke verbruik per land niet verrekend. Aangenomen is nu dat elke Westeuropese inwoner evenveel geëxtrudeerd PS-schuim per jaar verbruikt. Dit is echter in de praktijk niet zo (Gellert,1987). Het verbruik van schuimverpakkingen zou wellicht beter benaderd kunnen worden met het percentage Bruto Nationaal Produkt van Nederland in verhouding tot geheel West-Europa (pers. mededeling ing. Hug, TNO/IvV). Het Nederlands verbruik, zoals hierboven en hierna berekend, zou dan ca. 14% hoger worden.

tional,1987). Het aandeel verpakkingen, voor het grootste deel waarschijnlijk industriële verpakkingen, daarin was klein (resp. 20 en 22 kton). Omrekening naar Nederlands verbruik van PU-schuimen voor verpakking op basis van West-Europese cijfers betekent een verbruik van resp. 0,8 en 0,9 kton PU-schuimverpakkingen/jaar.

2.2.4 Polyetheen-schuimplastic

Het toepassingsgebied voor PE-schuimen ligt voor 40-50% bij de verpakkingindustrie.

In West-Europa produceren 14 groter producenten op ongeveer 8 manieren PE-schuimen. Capaciteitsschattingen voor de vervaardiging van PE-schuimen kunnen ivm. de vele kleinere producenten slechts een grove schatting zijn. De capaciteit in West-Europa bedroeg in 1980 ongeveer 14-15 kton/jaar en was in 1984 tot ca. 18 kton/jaar gestegen (Stange,1984).

Het totaalverbruik van deze schuimen is moeilijk in te schatten. Het zou in Europa in de loop van de tijd (ca. 1985) gelijk moeten zijn aan de eerder genoemde productiecapaciteit van 14-15 kton PE-schuim/jaar; dat is nog minder dan 0,5% van het totale West-Europese LDPE-verbruik. In de gezamenlijke westelijke wereld schat men het verbruik op minder dan 70 kton voor het jaar 1983 (Stange,1984).

Voor het verbruik van deze schuimen in Nederland kan nu een schatting gemaakt worden op basis van deze Europese cijfers. Daarbij wordt van een Europees verbruik van 15 kton/jaar uitgegaan, waarvan 45% toegepast wordt in verpakkingen. Uitgaande van 4,1% voor het aandeel van de Nederlandse bevolking op de totale West-Europese bevolking, kan het Nederlands verbruik van PE-schuimen geschat worden op $0,04 \times 0,45 \times 15 = 0,27$ kton PE-schuim/jaar. Dit is nog geen 0,2% van het totaal LDPE-verbruik in Nederland in 1985.

Een verdere uitsplitsing naar kwantitatieve gegevens voor diverse PE-schuimverpakkingen is vooralsnog onmogelijk.

2.2.5 Polyvinylchloride- en polypropeen-schuimplastic

Voor deze schuimen zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar. PVC-schuimen worden op kleine schaal als dichtingen in drankverpakkingen gebruikt. PP-schuimen zijn net op de markt, waardoor cijfers nog niet bekend zijn.

In tabel 2.3 staan de hoeveelheden schuimverpakkingen, die jaarlijks verbruikt worden, nog eens samengevat.

	schuimverpakkingen van					
	EPS	GPS	PE	PU	PVC	PP
verbruik in kton/jaar (ca 1984)	7,3	2,0	0,27	0,8	?	?

2.2.6 Andere verpakingsmaterialen

Het huidige aandeel van papier/karton in de verpakingsafvalstroom bedraagt 35% (RIVM,1987). De totale papier- en kartonproductie in Nederland voor verpakkingdoeleinden in 1984 bedroeg 1000 kton (CBS,1986). Het geschatte verbruik bedroeg in 1986 voor **golfkarton** 390 kton, voor **vouwkarton** 170 kton en voor **pakpapier** 220 kton (Kunststof & Rubber,1987/7).

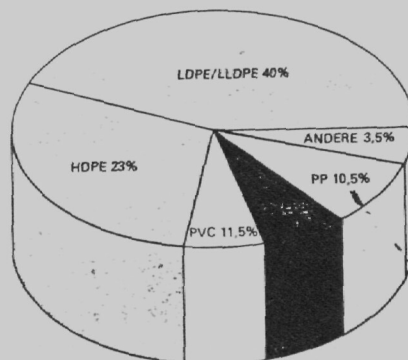
Het aandeel van de verschillende kunststoffen in de verpakking is geschetst in figuur 2.1.

Het verbruik van deze **kunststoffen** (inclusief geschuimde kunststoffen) als konsumentenverpakking in Nederland wordt geschat op 230 kton/jaar (Kunststof & Rubber,1987/7).

Voor 1984 kan het verbruik van **aluminium** verpakingsmateriaal geschat worden op 7 kton/jaar (Kunststof & Rubber,1987/7).

Kunststoffen in de verpakking

De aandelen van de verschillende kunststoffen in de verpakking lopen nogal uiteen. Diverse leveranciers hebben schattingen gemaakt over de verdeling van de kunststoffen in de wereld op dit moment. In deze grafiek een schatting van Shell van oktober 1986.



2.2.7 Konklusie

In tabel 2.4 zijn de verbruikscijfers van de materialen vermeld, die een rol spelen in de verpakkingindustrie. De konklusie is dat karton-/papierverpakkingen verreweg het meest toegepast worden. Kunststoffen worden als verpakingsmaterialen eveneens veel gebruikt, terwijl het marktaandeel van aluminium klein is.

Tabel 2.4: Geschat Nederlands verbruik van enkele materialen in verpakkingen.

Materiaal	kunststoffen		papier/karton	aluminium
	geschuimd	overig		
Verbruik (kton/jaar)	10	220	780	7

Bronnen: 1. CBS, 1986; 2. Kunststof & Rubber, 1987/7; 3. Philipp, 1986; 4. Stange, 1984

2.3 Verpakkingen en afval: kwantificering

De Nederlandse huishoudens produceren per jaar bijna 5 miljoen ton huishoudelijk afval, waarvan ruim 4 miljoen ton via vuilniszakken of minikontainers wordt ingezameld.

Huishoudelijk afval bestaat voor de helft (49%) uit komposteerbaar organisch materiaal (groente-, fruit- en tuinafval) en verder uit papier/karton (24%), glas (6%), blik (3%), kunststof (7%) en diversen (11%; tabel 2.5).

Tabel 2.5: Overzicht van de gemiddelde samenstelling van huishoudelijk afval in 4 wijken over 1986 (in procenten).

samenstelling	Arnhem	A'dam O.S.	A'dam N.S.	Overasselt	gemidd
G.F.T.	55,6	50,2	43,2	46,8	48,9
Papier/karton	21,4	22,5	28,4	23,0	23,8
Kunststoffen	5,7	6,9	7,2	8,6	7,1
Glas	5,3	5,3	8,6	5,8	6,2
Ferro	2,6	2,7	2,6	3,1	2,7
Non-ferro	0,5	0,5	0,9	0,5	0,6
Textiel	2,0	2,2	2,0	3,1	2,3
Brood	1,6	2,5	2,3	1,4	2,0
Dierlijk afval	1,9	2,7	2,1	2,6	2,4
Keramiek	1,2	2,3	0,7	1,5	1,5
Tapijten/matten	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3
Leder/rubber	0,7	0,8	0,4	1,2	0,8
Hout	0,7	0,7	0,4	1,8	0,9
bijzonder afval	0,4	0,4	0,9	0,4	0,5

Bron: Cornelissen, 1987

Bijna de helft (tabel 2.6) van bovengenoemde niet-komposteerbare materialen is afkomstig van verpakkingsmiddelen (zakken, dozen, schaalpjes etc.). Dat betekent dat bijna een vierde deel, 1 miljoen ton, afkomstig is van verpakkingen. Ook in West-Duitsland worden dergelijke verhoudingen gevonden (Verpackungsgrundschau, 1986/3).

Tabel 2.6: Overzicht verpakkingsmateriaal in huishoudelijk afval.

Hoofdcomponent gemiddeld 1984	huish. afval totaal	verpakking voedsel	verpakking drank	verpakking overig	totaal
Papier/karton	23,8%	4,4%	0,3%	2,6%	7,3%
Kunststoffen	7,1%	2,5%	0,1%	2,9%	5,5%
Glas	6,2%	2,8%	2,8%	0,3%	5,9%
Ferro	2,7%	1,6%	0,3%	0,2%	2,1%
Non-ferro	0,6%	0,1%	0,0%	0,2%	0,3%
Totaal		11,4%	3,5%	6,2%	21,1%
aandeel comp. in verpakking		54,0%	16,6%	29,4%	100%

Bron: Cornelissen, 1987

Bij de verpakkingsmiddelen spelen na papier/karton, glas en kunststoffen de belangrijkste rol (tabel 2.6). De kunststoffen kunnen onderverdeeld worden naar diverse materialen (tabel 2.7).

Tabel 2.7: De hoeveelheid kunststofverpakking uitgesplitst naar diverse materialen.

Materiaal	Aandeel materiaal in kunststofverpakkingen (%)
LDPE/LLDPE	40
HDPE	23
PS/EPS	11.5
PVC	11.5
PP	10.5
Andere	3.5
Kunststoffen	100

bron: Roessel, 1987.

Het overgrote deel van de kunststoffen in huishoudelijk afval (77%) blijkt afkomstig van verpakkingsmateriaal. Van deze 77% is 35% deel voedselverpakking en 42% deel overige verpakking.

Het TNO heeft voor 1979 vergelijkbare sorteerprouven gedaan als het RIVM en heeft toen ook het EPS- gehalte nog bepaald. De EPS-fractie van het

kunststofafval uit zakkenvuil bleek 4,2% te bedragen (Brüggemann e.a., 1985)¹.

Uit de RIVM-sorteerproeven is het niet mogelijk het aandeel van schuim-plastics in de kunststofverpakkingen voor latere jaren nader te kwantificeren. Desondanks kan op basis van schattingen (zie 2.2) gekonkludeerd worden dat schuimverpakkingen een substantieel deel van de totale hoeveelheid uitmaken.

Speciaal voor schuimplastics is de verhouding volume-gewicht van deze materialen van belang. Wanneer er jaarlijks 3 kton schuimplastics (voor-zichtige schatting) met een gemiddeld soortelijk gewicht van $0,1 \text{ kg/m}^3$ in het zakkenvuil belanden, zou dit overeenkomen met een afvalvolume van 30.000 m^3 . Met dit afvalvolume kan men een toren bouwen met een basis van 10 bij 10 meter en een hoggte van 300 meter.

Is het gewichtspercentage schuimplastic verpakkingen op de totale hoeveelheid verpakkingen al substantieel, het volumepercentage ligt derhalve nog beduidend hoger. Met name bij zwerfvuil speelt het volume een belangrijke rol.

Papier/karton, één van de alternatieven voor schuimplastics en andere kunststoffen komt in veel grotere hoeveelheden dan kunststoffen voor in het huishoudelijk afval, nl. 23,8% tegen 7,1% (tabel 2.6). Een derde deel van deze hoeveelheid papier/karton is afkomst van verpakkingen.

De non-ferro metalen, waarvan aluminium de belangrijkste vertegenwoordiger is, spelen een kwantitatief een bescheiden rol in het huishoudelijk afval, nl. 0,6% (tabel 2.6). Ruim de helft van de non ferro metalen in het huishoudelijk afval is afkomstig van verpakkingen.

Als de getallen van het afvalonderzoek van het RIVM vergeleken worden met de verbruiksgetallen uit paragraaf 2.2.7 (vnl. handelsgetallen), blijken de verbruiksgetallen voor zowel papier/karton (780 kton/jaar) als voor kunststoffen (230 kton/jaar) hoger te liggen dan de getallen die op basis van het afvalonderzoek berekend kunnen worden resp. 292 kton/jaar en 220

¹ De resultaten van de sorteerproeven van TNO en RIVM verschillen van elkaar. Dit valt o.a. te wijten aan het feit dat het RIVM-afval een grotere vervuilingsgraad had en meer niet-huishoudelijk afval bevatte dan het TNO-afval.

kton/jaar. Voor aluminium is een dergelijke vergelijking niet mogelijk, omdat het afvalonderzoek daar geen specifieke gegevens over geeft. De cijfers voor de kunststoffen komen goed overeen. Het cijfer voor papier/karton in zakkenvuil is duidelijk lager dan op grond van de 'handelsgetallen' verwacht mocht worden. Papier/karton wordt echter op grote schaal apart ingezameld en komt dus voor het grootste deel niet in het zakkenvuil terecht.

3 Milieu-analyse van enkele verpakkingsmaterialen en van toegepaste verpakkingsalternatieven

3.1 Toerekening en beoordeling milieu-effecten: theorie

In dit hoofdstuk wordt een analyse en beoordeling uitgevoerd van de milieu-effecten die toe te schrijven zijn aan schuimplastic verpakkingen en de alternatieven ervoor.

Een belangrijk deel van de milieu-analyse heeft betrekking op de materialen waaruit de produkten zijn samengesteld: uit de literatuur worden gegevens verzameld met betrekking tot de milieu-effecten van de productie-, gebruiks- en afvalfase van de verschillende materialen zoals in hoofdstuk 2 aan de orde zijn gekomen. De materialenstudie van Bureau B & G, met achterliggend een grote studie van de EMPA St. Gallen (het Zwitserse TNO; uitgegeven bij het Bundesamt für Umweltschutz) vormen voor dit onderdeel een belangrijke basis. Vervolgens wordt de stap gemaakt naar het niveau van het produkt: van enkele verpakkingstoepassingen worden de bestaande alternatieven met elkaar vergeleken. Op die manier worden bijvoorbeeld verpakkingen van eieren vergeleken door de milieu-effecten van 1 polystyreen-schuim eierdoos te vergelijken met die van 1 kartonnen eierdoos en 1 niet-geschuimde polystyreen eierdoos. Op dezelfde wijze worden verschillende verpakkingen van vleeswaren, printers, walkmans, boormachines, televisies en homecomputers doorgelicht. De milieu-analyse t.a.v. de materialen wordt als het ware gewogen met behulp van de samenstelling en het gewicht van de produktalternatieven. Ook levensduur en hergebruiksmogelijkheden zijn in principe factoren die bij de weging betrokken moeten worden. Bij wegwerpverpakkingen spelen deze, zeker op dit moment, echter nauwelijks een rol.

De volgende stap is die van de beoordeling: de ongelijksoortige milieu-effecten van de produktalternatieven moeten zo vergaand mogelijk onder één noemer gebracht worden om een kwantitatieve vergelijking mogelijk te maken. De milieubeoordeling vormt de basis voor een eventueel te voeren produktbeleid, in dit geval verpakkingsbeleid. Voor de toerekening van milieu-effecten vormt de wegingsmethode zoals die in eerdere CML-studies is ontworpen de basis (Druijff, 1984; Van den Berg e.a., 1986). Deze me-

thode is in principe kwantitatief en grijpt aan op het niveau van het produkt.

3.1.1 Milieu-analyse

Om zoveel mogelijk milieu-aspekten van de diverse verpakkingstoepassingen kwantitatief te kunnen vergelijken moet de hele levensloop van het produkt in beschouwing worden genomen. Figuur 3.1 laat zien, dat bij elke stap in de levensloop van een produkt milieu-effecten kunnen optreden.

De milieu-effecten hebben betrekking op:

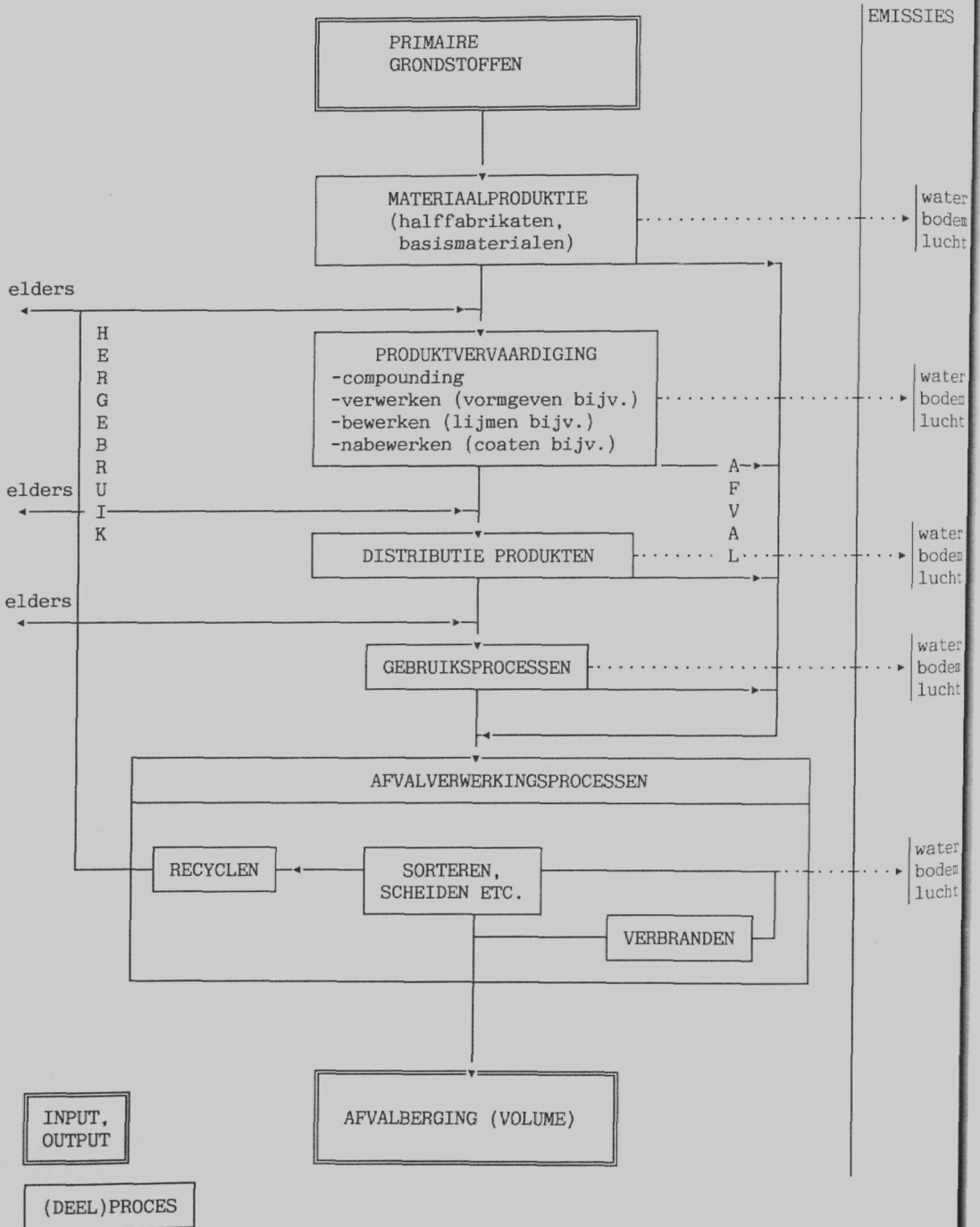
- gebruik van grondstoffen en energie
- verontreiniging van het milieu door emissies van schadelijke stoffen
- ontstaan van vast afval.

Andere milieu-effecten komen niet voor in figuur 3.1. Dat betekent niet dat deze er niet zijn: met name kan gedacht worden aan aantasting van natuur en landschap, bijvoorbeeld door mijnbouw of aanleg van infrastructuur. Mogelijk zijn deze effecten zeer omvangrijk en zou het daarom wenselijk zijn ze bij de beoordeling mee te nemen. In de eerdere CML-produktstudies bleek het echter zeer moeilijk deze effecten toe te schrijven aan produkten, waardoor er ook geen mogelijkheden bestaan voor produktgericht beleid voor dat type effecten. Ook in deze studie zal daartoe om dezelfde redenen geen poging toe worden ondernomen.

Bij de vergelijking van produkten van verschillende materialen moet in principe rekening worden gehouden met de levensduur en de hergebruiksmogelijkheden. In vorige CML-studies is daarom gerekend met 'funktionele eenheden produkt' in plaats van 'fysieke eenheden produkt'. Op die manier zijn bijvoorbeeld 1000 kartonnen melkverpakkingen vergeleken met 25 glazen retourflessen. Ook in deze studie wordt in principe gewerkt met funktionele eenheden produkt. In hoeverre dit van belang is bij wegwerpverpakkingen die bedoeld zijn voor eenmalig gebruik, is echter de vraag. In § 3.3 wordt hierop nader ingegaan.

In het onderstaande wordt op elk van de in figuur 3.1 genoemde processen kort ingegaan.

Figuur 3.1: Milieuaspekten van de productie-konsumptiecyclus



Winning van grondstoffen

Hierbij zijn aan de orde:

- uitputting van grondstoffen. In het geval van schuimplastic zal dat voornamelijk gaan om aardolie. Een maat hiervoor is eenvoudig het grondstofgebruik in kg of ton. Wanneer gebruik van verschillende grondstoffen met elkaar vergeleken moet worden, zal een wegingsfaktor toegepast moeten worden (zie § 3.1.2). Op dit moment bestaat deze mogelijkheid nog niet.
- energieverbruik. Bij alle alternatieven is de maat hiervoor (M)J. Bij de winning van grondstoffen zal het energieverbruik relatief gering zijn.
- emissies van verontreinigende stoffen. De emissies die optreden bij winning van grondstoffen zijn gewoonlijk klein t.o.v. die bij de produktie (Bureau B & G). Bij de beoordeling komen zij niet als aparte categorie aan de orde, maar worden geïntegreerd bij de emissies van het produktieproces.

Produktie uit grondstoffen

Hierbij wordt gekeken naar

- energieverbruik in (M)J/ton geproduceerd materiaal bij het produktieproces, en de bijbehorende emissies van schadelijke stoffen. Afhankelijk van de methode van energieproduktie kunnen emissies worden toegerekend per geproduceerde (M)J. Het zal hierbij meestal gaan om emissies van SO_2 , NO_x , C_xH_y en CO_2 naar de lucht.
- emissies van schadelijke stoffen in kg/ton geproduceerd materiaal. Deze post zal bij de produktvergelijking erg belangrijk zijn. In § 3.2.2 wordt ingegaan op de weging en beoordeling van emissies van ongelijksoortige stoffen.

Distributie en gebruik

Bij de distributie-stap treden effecten op die te maken hebben met het vervoer van de produkten. Met name het gebruik van vervoersmiddelen (vrachtauto, boot, vliegtuig) en de daarbij behorende aanleg van infrastructuur zijn hierbij aan de orde. Hoewel dit aspect ook bij verpakkingen van belang kan zijn (denk bijv. aan uit het buitenland geïmporteerde reeds verpakte produkten) is zoals reeds opgemerkt toerekening aan een individuele produkteenheid een dermate gekompliceerde zaak, dat deze

effekten buiten beschouwing gelaten worden bij de kwantitatieve produkt-vergelijking.

Bij verpakkingen is niet te verwachten, dat tijdens het gebruik ervan grondstofverbruik, emissies of afval een rol spelen. Ook de gebruiksstap wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

Afvalverwerking

Afvalverwerking is de volgende fase in de levensloop van het produkt waar weer omvangrijke problemen te verwachten zijn. Twee aspecten zijn hierbij van belang:

- emissies van schadelijke stoffen naar het milieu. Bij afvalverbranding gaat het met name om emissies naar de lucht en het ontstaan van vast afval in de vorm van slakken en vlieggas, bij afvalstort om emissies naar het grondwater.
- de afvalmassa en het volume bij afvalstort.

Voor beide aspecten geldt of mag op basis van RIVM-onderzoek (Cornelissen, 1987) verwacht worden, dat verpakkingen een substantieel aandeel hebben in de totale afvalproblematiek. Ook de mogelijkheid tot hergebruik is een aspect dat in deze fase aan de orde is. Voorzover mogelijk is dat opgenomen bij de definitie van 'funktionele eenheid produkt'. Wanneer dit niet mogelijk is, zal volstaan worden met kwalitatieve opmerkingen die niet betrokken worden bij de kwantitatieve milieu-analyse van de produktalternatieven.

3.1.2 Milieubeoordeling

Bij de beoordeling van de milieu-aspecten van de produktalternatieven gaat het erom, ongelijksoortige milieu-effekten onder één noemer te brengen om zo een kwantitatieve vergelijking mogelijk te maken.

In eerdere CML-studies is een dergelijke beoordelingsmethode gebruikt voor de emissies van verontreinigende stoffen. De methode komt neer op het omrekenen van emissies naar 'eenheden verontreinigd milieukompartiment' met behulp van bestaande milieuhygiënische normen voor het betreffende compartiment (voor water de OvD-norm en voor lucht de MAC-norm). De norm voor het kwik-gehalte in oppervlaktewater bestemd voor drinkwater (OvD-norm) bijvoorbeeld bedraagt 0,3 µg/l. Een kwik-emissie naar het oppervlaktewater van 50 g is dus voldoende om $1,7 \cdot 10^5$ m³ water tot aan de norm te verontreinigen, en kan daarmee worden omschreven als $5 \cdot 10^6$ EVW (Eenheden Verontreinigd Water). Eenzelfde berekeningswijze kan gelden voor emissies naar lucht (EVL) en bodem (EVB).

Een andere mogelijkheid in dezelfde richting is de emissies niet te konfronteren met milieukompartimentgebonden normen, maar met normen die direkt gericht zijn op de menselijke gezondheid. Meer specifiek kunnen hiervoor ADI-waarden gebruikt worden. De emissies worden dan als het ware uitgedrukt in 'eenheden verontreinigd mens' (EVM).

Op zichzelf levert dit een mooiere beoordeling op omdat op deze wijze de normen die de basis vormen voor de vergelijking eenvormig zijn; milieukompartiment-normen zijn er van allerlei aard en met allerlei achterliggende beleidsdoelen, en zijn daarom niet altijd goed vergelijkbaar.

Bovendien kunnen op deze manier emissies naar alle milieukompartimenten bij elkaar worden opgeteld.

De 'EVM-benadering' kan op dit moment nog niet toegepast worden, aangezien voor vele geëmitteerde stoffen nog geen ADI-waarde bestaat. Daarom is het, om al te veel ongelijksoortige maten in de milieuvergelijking te voorkomen, voorlopig beter om kompartimentgerichte normen aan te houden.

Een nadeel van de bovengenoemde wegging met normen is dat de emissies zo uitsluitend beoordeeld worden op het menselijke gezondheids-aspekt. Bij kompartimentgerichte normen bestaat er in tegenstelling tot de 'EVM-benadering' nog de vrijheid ook natuurgerichte of multifunktionaliteitskriteria in te voeren. Daarnaast is het mogelijk, voor deze aspekten afzonderlijk een beoordelingsmethode te ontwikkelen, maar dat vergt een complete studie op zichzelf.

Naast de emissies van verontreinigende stoffen is bij de analyse van milieu-effekten ook nog sprake van de uitputting van grondstoffen, het energiegebruik en het ontstaan van vast afval. Voor de laatste twee aspekten is de vergelijking niet moeilijk: verbruikte hoeveelheid energie in MJ, resp. het ontstaan van vast afval in ton en m³.

Bij uitputting van grondstoffen hebben we wel weer te maken met het vergelijken van ongelijksoortige dingen: in het geval van verpakkingen gaat het bijvoorbeeld om aardolie vs. bauxiet vs. hout. Er wordt in dit geval van afgezien hieraan een beoordeling te koppelen: er zijn geen bestaande normen voor, en een normaflleiding voor dit aspekt zou (ook weer) een uitgebreide studie op zichzelf zijn, indien al mogelijk.

De milieubeoordeling van produkten, zoals in deze studie toegepast, is dus een voorlopige partiële beoordeling.

3.2 Milieuaspekten van enkele verpakkingsmaterialen

Aan de verpakkingsmaterialen kunststoffen, karton en aluminium kunnen diverse milieu-effecten - dat zijn hier energie- en grondstoffenverbruik, emissies en afval - toegerekend worden. De empirische basis voor de toerekening van deze milieu-effecten aan materialenproductie, -gebruik en -afganging is in verschillende bronnen gevonden. Deze bronnen zullen genoemd worden bij de behandeling van de milieuaspekten per fase van de levenscyclus van een materiaal. In 3.2.1 wordt nu een beschrijving van de aard van de milieu-effecten gegeven. Daarbij zal vooral de afvalverwerkingsfase belicht worden, aangezien hier het minst van bekend is wat betreft de toerekening van milieu-effecten aan materialen en er daarom eigen bevindingen in verwerkt zijn. Bij de behandeling van de productie- en gebruiksfase in de levenscyclus van de materialen zullen voornamelijk de literatuur bronnen genoemd worden. In 3.2.2 worden de diverse milieu-effecten zoveel mogelijk geaggregeerd weergegeven in de milieubeoordeling van de verpakkingsmaterialen kunststoffen, karton en aluminium.

3.2.1 Beschrijving van de aard van de milieu-effecten

Bij de productie van een materiaal en verwerking tot een produkt spelen grondstoffen- en energieverbruik, emissies en afval een rol. Als empirische basis bij het kwantificeren van de milieu-effecten zijn de materialenstudies van de EMPA (BUS, 1984), een met het Nederlandse TNO vergelijkbare instelling, en bureau B & G (v. Duin en de Graaf, concept, 1987; v. Duin/kerkhoven, concept, 1987) gebruikt. Bij het bepalen van het energieverbruik is verder nog gebruik gemaakt van een studie van Kemna (Kemna, 1981). Bij de omrekening van de hoeveelheden materiaal in een produktverpakking (benuttingsfactoren afhankelijk van vast afval in produktiefase) naar hoeveelheden grondstof, energie en emissies is gebruik gemaakt van eigen werk (Druijff, 1984; van den Berg e.a., 1986).

Uitputting van grondstoffen speelt vooral bij kunststof- (aardolie en aardgas) en aluminium (bauxiet) een rol en minder bij kartonnen-verpakkingen (ca. 90% oud papier).

Het energieverbruik voor de productie van aluminium is per gewichtseenheid verreweg het grootst; de verschillen in energieverbruik tussen de andere materialen zijn veel geringer (zie ook tabel 3.2).

In de EMPA-studie worden enkele emissies, die bij de produktie van alle genoemde verpakkingsmaterialen vrijkomen, specifiek genoemd. Daarbij gaat het om emissies van CO, NO_x, SO₂, koolwaterstoffen, BOD, fosfaat en organische verbindingen een rol. Daarnaast speelt bij de PVC-produktie de kwikemissie een overheersende rol. Voor de basis en nadere specificatie van de gegevens, moet verwezen worden naar de EMPA in St. Gallen, die over de basisgegevens beschikt.

Bij de verwerking van het materiaal tot de verpakking van een produkt zijn milieu- en energie-effecten afhankelijk van het produkt; bij de verwerking treden voornamelijk emissies op door energieverbruik (CO, NO_x en SO₂).

Tijdens de gebruiksfase van de produktverpakking treden in het algemeen geen emissies van betekenis op.

Bij de afvalverwerking zijn belangrijkste processen storten en verbranden (naast hergebruik). Per produkt kunnen ook nog andere afvalverwerkingsprocessen een rol spelen, maar deze zullen hier niet behandeld worden vanwege hun kwantitatief geringe aandeel in de totale afvalverwerking van verpakkingsmaterialen. De verwerkingsprocessen storten en vooral verbranden zullen hier nader uitgewerkt worden.

Van het storten van afval is weinig bekend over emissies, die daarbij kunnen optreden. De emissies die bekend zijn (enkele zware metalen), spelen voor de genoemde verpakkingsmaterialen nauwelijks een rol, omdat metaalbevattende additieven nauwelijks toegepast worden in verpakkingen en zij zullen hier niet toegerekend worden.

Storten van afval wordt steeds moeilijker vanwege de ruimte die daardoor wordt ingenomen. Daarom is een verdere verschuiving in de richting van verbranden te verwachten. Bij de emissies, die bij het storten van afval kunnen optreden speelt de afbreekbaarheid van de kunststof een cruciale rol. Als de kunststof niet biologisch afbreekbaar is, zal het lange tijd op de ruimte beslag leggen zonder noemenswaardige emissies. Is de kunststof daarentegen wel biologisch afbreekbaar, dan kunnen diverse emissies naar water en bodem optreden (vnl. eventueel aanwezige additieven, zoals zware metalen en broomverbindingen).

Karton is biologisch afbreekbaar en zal op de stortplaats vergaan. Daarmee gaat een aantal emissies gepaard, die afhankelijk zijn van de

mate van vervuiling van het oud papier, dat als grondstof voor de fabricage van karton wordt gebruikt (inkt, kleurstoffen).

Aluminium is niet biologisch afbreekbaar en zal op de lange duur emissies kunnen veroorzaken.

Aangenomen is dat recycling van aluminium, karton en kunststoffen niet plaatsvindt. Recycling van oud papier, als grondstof voor karton, wordt meegenomen bij de milieubeoordeling van karton.

Over de emissies van de afvalverbranding is veel meer bekend. Incidenteel zijn deze emissies toegerekend aan materialen (HCl-emissie aan PVC; van Duin en de Graaf, 1987). Deze incidentele schattingen zijn niet verwerkt in de materiaalbeoordeling, aangezien dit diskriminerend zou zijn t.o.v. de materialen waarvoor deze schattingen (nog) niet zijn gemaakt. De emissie van aromatische ringverbindingen en dioxinen uit vuilverbrandingsinstallaties is aan alle verpakkingsmaterialen toegerekend op basis van eigen schatting en is een milieuaspekt dat ook betrokken is bij de uiteindelijke milieubeoordeling.

Verbranden van kunststoffen wordt wel getypeerd als een soort uitgesteld verbruik van aardolie; bij verbranding wordt echter slechts een beperkt deel van de energie-inhoud van kunststof teruggewonnen (RDF, productie elektriciteit, warmte-kracht koppeling). Het rendement ligt maximaal op 20%, terwijl dit voor op olie of gas gestookte elektriciteitscentrales op ca. 40% ligt.

Daarnaast komen bij verbranding diverse typen ringverbindingen vrij, die schadelijk zijn voor de gezondheid van de mens. Een maximum-schatting (bijlage 2.1) laat zien dat ca 9% van de ringverbindingen die vrijkomen uit vuilverbrandingsinstallaties (vvi's), toegerekend kan worden aan kunststoffen en daarvan weer 77% aan verpakkingen. Op basis van deze schatting zijn dioxinen en furanen uit vvi's toegerekend aan enkele verpakkingsmaterialen (bijlage 2.2). Aan de verbranding van de verpakkingsmaterialen karton/papier en kunststoffen tezamen zou op basis van deze schatting een emissie van 27 kg ringverbindingen (vnl. PAK's) en ca 551 gram dioxinen en furanen (equivalenten 2,3,7,8-TCDD) toegerekend moeten worden.

De CO-emissie, die in de verdere beoordeling als pm-post opgevoerd is, zou op basis van het C-gehalte, na het groente-, tuin- en fruit afval, voornamelijk aan papier/karton en kunststoffen toegerekend moeten worden, waarbij relatief weinig aan PVC, terwijl de HCl-emissie (ook pm-post) voornamelijk aan PVC toegerekend zou moeten worden.

Daarnaast komen bij de afvalverbranding de eventueel aan de materialen toegevoegde additieven en blaasmiddelen vrij (pm). Over de vorm waarin deze vrijkomen en de effecten die deze verbindingen op de kwaliteit van de emissiegassen kunnen hebben is nog weinig bekend.

Karton kan allerlei verontreinigingen bevatten (zware metalen en oplosmiddelen uit inkt van oud papier), die bij verbranding gevolgen voor de samenstelling van de vvi-emissiegassen kunnen hebben (pm).

De afvalverbranding van aluminium zal nauwelijks emissies naar lucht veroorzaken. Aluminium brandt niet en kan in een vvi plaatselijk de temperatuur verlagen, waardoor emissies van aromatische ringverbindingen, dioxinen, furanen, aldehyden e.d. bevorderd zouden kunnen worden. Toerekening van deze emissies aan aluminium is zeer moeilijk en van gering belang aangezien non-ferro metalen slechts 0,5% van het verbrande afval uitmaken en het vochtpercentage bij onvolledige verbranding een veel belangrijkere rol zal spelen.

In tabel 3.1 staat het verpakkingsprobleem nog eens kwantitatief samengevat (zie pagina 30).

Tabel 3.1: Milieu- en energieaspecten van alle huishoudelijke verpakkingen in Nederland¹.

		basis:productie in Nederland (schatting)		basis:verpakkingsmateriaal in Nederlands huish. afval	
verbruik grondstoffen			%totaal verbruik		%totaal verbruik
aardgas	kg/jaar	6,8x10 ⁸	8,9%	3,4x10 ⁸	4,4%
aardolie	kg/jaar	6,1x10 ⁸	9,6%	3,8x10 ⁷	5,9%
steenkolen	kg/jaar	9,7x10 ⁷	3,1%	4,8x10 ⁷	1,5%
procesemissies			% totale industriële emissies		%totale industriële emissies
CO	kton/jaar	10,1	4%	5,0	2%
NO _x	kton/jaar	25,4	34%	13,9	19%
SO ₂	kton/jaar	43,1	61%	20,4	29%
KW	kton/jaar	22,9	12%	13,5	7%
afvalfase					% totale afvalverbranding
volume gestort afval m ³ /jaar				ca 6,7x10 ⁵	
dioxinen en furanen g/jaar				551	27%
aromaten kg/jaar				27	16%

Bronnen:1 Bundesamt für Umweltschutz,1984; 2 CBS,1986; 3 Modern Plastics International,1987/1.

3.2.2 Milieubeoordeling van enkele verpakkingsmaterialen

In tabel 3.2 (zie pagina 31) zijn de gewogen milieu-en energie-effecten van de productie van enkele verpakkingsmaterialen samengevat.

De produktverpakkingen worden over het algemeen éénmalig gebruikt en de levensduur is derhalve geen zelfstandige faktor bij de beoordeling van de milieu-effecten.

LDPE komt er bij de beoordeling op materiaalnivo gunstig uit wat betreft milieu- en energieaspecten. Verdere konklusies over de milieu- en energieaspecten op materiaalnivo hebben niet veel zin, omdat de uiteinde-

¹ De hier gegeven cijfers berusten op grove schattingen en geven derhalve alleen een globale indikatie.

lijke produktbeoordeling bepaald wordt door de gewichtsverhoudingen waarin de materialen op produktnivo toegepast worden.

Bij de produktvergelijking (3.3) komen een aantal verpakkingsmaterialen aan de orde, waaronder kunststoffen, karton en aluminium. De gewogen milieu- en energie-effecten van deze materialen vormen de basis voor deze produktvergelijking.

Tabel 3.2: Milieu- en energieaspecten van de productie en afvalverwerking van enkele verpakkingsmaterialen per kg materiaal.

Materialen	aluminium	karton	PS	EPS	LDPE	PVC
verbruik grondstoffen (g)	schroot 300 bauviet 196 ov. 735	o.p.800 water 75 hout 430 hulpst.74 ov. pm	nafta 1020 ov. pm	nafta 1020 ov. pm	nafta 1020 ov. pm	nafta 1020 ov. pm
productie materiaal						
energie MJ	159	24	33	35	24	17
EVW dm ³	17000	1835	6300	6300	1600	2700
EVL m ³	7000	3910	80	80	90	700
vast afval g	15712/2212	45	10,5	0,5	1,2	1,4
vast afval cm ³	13093/1843	38	9	0,4	1,0	1,2
verwerking materiaal tot produkt	grondstof-, energieverbruik, emissies en afval afhankelijk van specifieke verpakkingstoepassingen voor een produkt					
energie MJ						
EVW dm ³						
EVL m ³						
vast afval g/cm ³						
afvalverwerking ¹						
energie MJ	0	-2,1	-7,4	-7,4	-7,4	-3
EVW dm ³	pm	pm	pm	pm	pm	pm
EVL m ³	pm	pm	pm	pm	pm	pm
EVL*10 ⁴ + dioxinen m ³	pm	1,3-1,4	1,4-5,2	1,4-5,2	1,3-1,4	8,4

Bronnen:

1 van Duin/de Graaf, concept, 1987; 2 van Duin/Kerkhoven, concept, 1987;

3 Bundesamt für Umweltschutz, 1984

1. Afvalverwerkingsmogelijkheden zijn hier standaard gekozen, terwijl in de praktijk de mogelijkheden afhankelijk zijn van het te verwerken produkt.

3.3 Milieubeoordeling van verpakkingsalternatieven voor enkele produkten

In deze paragraaf vindt de milieubeoordeling van de verpakkingsalternatieven voor de produkten vleeswaren, printers, walkmans, eieren, boormachines, kleurentelevisies en homecomputers plaats. Deze produkten zijn aselekt gekozen. De milieubeoordelingen van de verpakkingsalternatieven geeft een kwantitatieve schatting van optredende milieu-effecten per verpakkingseenheid. Voordat deze milieubeoordeling plaatsvindt en wordt besproken, is het nodig de status van deze beoordeling aan te geven. In paragraaf 3.1 is al aangegeven welke aspecten wel en niet meegewogen zullen worden; in deze paragraaf zal worden aangegeven welke verdere onvolkomenheden er nog binnen de hier gepresenteerde analyse en beoordeling bestaan. Deze betreffen deels het ontbreken van empirische gegevens over samenstelling van de verpakking en emissies, deels het ontbreken of niet geheel adequaat zijn van beoordelingsnormen. Ook wordt de aard van bepaalde posten toegelicht.

Algemene opmerkingen

1. Emissies door energieverbruik worden opgeteld bij de overige emissies. Bij het energieverbruik gaat dus zuiver nog om uitputtingseffecten, waarvoor nog geen beoordelingsmethode ontworpen is.
2. Het afvalvolume en -gewicht geven samen een indicatie voor de hoeveelheid te storten vast afval; het volume afval is berekend op basis van het soortelijk gewicht van het materiaal, waarbij geen rekening is gehouden met eventuele volumeverkleining door shredderen, pletten en vergelijkbare technieken. Het afvalvolume van het vaste afval in de produktiefase is berekend met een standaardfaktor (Ökobilanzen, 1984), omdat voldoende informatie voor een betere methode ontbreekt. Het afvalvolume van de afvalverwerking is exclusief afvalverbrandingslakken.
3. De beoordeling van karton berust op buitenlandse gegevens (Ökobilanzen, 1984), waarvan de bronnen onbekend zijn. Onduidelijk is in hoeverre deze cijfers ook op de Nederlandse situatie van toepassing zijn.
4. Er is bij de berekeningen vanuit gegaan dat recycling van de verschillende verpakkingsalternatieven geen rol speelt. Wel is rekening gehouden met het feit dat sommige verpakkingsmaterialen ten dele samengesteld worden uit gerecyclede materialen.

5. De afvalverwerkingsmogelijkheden zijn verschillend per produkt of materiaal, maar zijn hier standaard gekozen, 40% verbranden en 60% storten. Dit zal voor het merendeel van de verpakkingen van produkten overeenkomen met de feitelijke situatie.

6. Emissies van milieugevaarlijke stoffen, waarvoor geen normen geformuleerd zijn (bijv. CFK's), kunnen niet bij de beoordeling betrokken worden en blijven vooralsnog buiten beschouwing. Dit kan de waarde van de beoordeling ernstig verminderen.

7. Natureffecten zijn niet meegewogen.

Algemene pm-posten kunnen als volgt gerangschikt worden:

<u>Verbruik grondstoffen</u>	-oplosmiddelen	pm
	-additieven	pm
	-katalysatoren	pm
	-blaasmiddelen	pm

De blaasmiddelen, katalysatoren, additieven en oplosmiddelen verschillen per producent en gegevens daarover zijn geheim.

<u>Productie materiaal</u>	-emissies van gechlloreerde aromaten ¹	pm
	-specifieke emissies, die afhankelijk zijn van gebruikte oplosmiddelen en katalysatoren	pm
	-specificatie kleinere afvalstoffen moeilijk	pm

Verwerking materiaal tot produkt

De emissies en benuttingsfactoren van het materiaal bij de vorming van het uiteindelijke produkt zijn afhankelijk van het te vormen produkt.

-emissies bij mengproces van kunststof met additieven	pm
-energie-, emissie- en afvalcijfers van enkele ver- en bewerkingsprocessen (o.a. schuimen LDPE, vacuümvormen,	

¹ Bij gebruik van AlCl als katalysator voor de alkylering van benzeen (poystyreenproduktie) ontstaan gechlloreerde aromaten, zoutzuur en AlCl. In de literatuur zijn hierover nog geen kwantitatieve gegevens gevonden (van Duin, de Graaf, conceptrapport 1988).

thermovormen)	pm
-alle energie-, emissie- en afvalcij- fers van ver- en bewerkingen van karton	pm

Afvalverwerking

-de toerekening van emissies in vuil- stortplaatsen aan materialen en produkten	pm
-de toerekening van emissies van vuilverbrandinsinstallaties aan materialen en produkten	pm

In een voorbeeld van een productie-konsumptieschema van polystyreen (bijlage 3) staan de algemene pm-posten aangeduid. Per produkt zullen specifieke pm-posten, voorzover bekend, in voetnoten bij de tabellen vermeld worden.

3.3.1 Vleesschaaltjes

Bij de vergelijking zijn vier vleesschaaltjes betrokken van 4 x 16 cm. De samenstelling van de vleesschaaltjes was:

- A) geëxtrudeerd polystyreenschuim (GPS);
- B) slagvast polystyreen (HIPS);
- C) karton en vetvrij papier;
- D) aluminium.

De respektievelijke gewichten staan vermeld in tabel 3.3.

Uit tabel 1 blijkt dat produkt A, het GPS-vleesschaaltje, de minste emissies naar het milieu veroorzaakt, zowel met als zonder dioxinen-toerekening bij de beoordeling. Het verschil met produkt B (HIPS) is vrijwel uitsluitend toe te schrijven aan het verschil in gewicht; het basismateriaal is gelijk. Ook wat betreft energie-aspekten is produkt A het meest milieuvriendelijk. Alleen het volume van het vaste afval is voor dit produkt het hoogst, maar de betekenis hiervan moet niet overschat worden, zoals eerder opgemerkt (Inleiding).

De vergelijking tussen produkt B (HIPS) en D (aluminium) valt in alle opzichten uit in het voordeel van B, zowel met als zonder dioxinen toerekening. Een vergelijking van deze beide produkten met produkt C

(karton) is moeilijker: tegenover een relatief lage lucht-emissie van C staat een relatief hoge wateremissie. De verschillen in luchtmissies zijn groter, wanneer dioxinen wel worden meegerekend; in dat geval komt C ongunstiger uit de bus.

In de volgende tabel wordt de produktvergelijking nog eens samengevat:

	milieu-effecten geringst ---- omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	GPS > HIPS ,karton ,aluminium en HIPS > aluminium
met toerekening dioxinen	GPS > HIPS, karton, aluminium

Tabel 3.3: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 1000 vleesschaaltjes van A) 1200 g GPS; B) 2900 g HIPS; C) 4400 g karton en 700 g vetvrij papier (=5100 g karton) of D) 1800 g aluminium.

produkten	A:GPS	B:HIPS	C:karton	D:aluminium
verbruik grondstoffen g (MJ) dm ³	nafta 1240 (60) add. e.d. pm water pm	nafta 2990 (140) add. e.d. pm water pm	o.p. 4488 hulpst. 377 hout 2193 water 383+pm	schroot 540 bauxiet pm water pm
produktie materiaal energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	40 7640 100 13 11	100 18450 240 31 26	120 8070 17200 198 165	290 30600 12600 3980 3320
verwerking materiaal tot produkt energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	6 pm (gering) pm (" 12 96	15 pm (" pm (" 29 28	pm pm (" pm (" pm pm	114 pm (" pm (" =0 =0
afvalverwerking energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ +dioxinen*10 ³ m ³ vast afval g vast afval cm ³	-9 pm pm 16,5-62,5 720 5760	-21 pm pm 39,9-151,0 1740 1660	-10,7 pm pm 70,1-66,4 2640 5100	=0 pm pm 0 1080 400
som totaal energie MJ EVW *10 ³ dm ³ EVL *10 ³ m ³ +CFK's m ³ +dioxinen*10 ³ m ³ vast afval g vast afval cm ³	37 7,6 0,1 buiten be- schouwing 16,6-62,6 745 5867	94 18,5 0,2 - 40,1-151,2 1800 1714	109 8,1 17,2 - 87,3-83,6 2838 5265	404 30,6 12,6 - 12,6 5060 3720

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz (BUS), 1984; 2. van Duin/de Graaf, concept 1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept, 1987

3.3.2 Printer-verpakkingen

De verpakkingen van printers bestaan uit

A een geëxpandeerd polystyreenschuimen (EPS) binnenverpakking met LDPE-folie in een golfkartonnen buitendoos;

B een lage-dichtheid polyetheen-schuimen (LDPE) binnenverpakking met LDPE-folie in een golfkartonnen buitendoos.

Uitgaande van een gelijk volume valt het gewicht van de LDPE-partikel-schuim contouren hoger uit, vanwege het grotere soortelijk gewicht van dit schuim.

De verschillen tussen de beide produkten komen in dit geval uitsluitend voort uit de verschillen in materiaal van de binnenverpakking. Bij vergelijking van de resultaten uit tabel 3.4 blijkt dat met dioxinen-toerekening de LDPE-contouren in alle opzichten milieuvriendelijker zijn dan de EPS-contouren. Zonder dioxinen-toerekening is de luchtmissie, die toegeschreven kan worden aan de LDPE-contouren iets hoger en moeten hogere luchtmissies worden afgewogen tegen lagere wateremissies. Het relatieve verschil in luchtmissies tussen beide produkten is echter gering, zodat ook in dit geval een informele voorkeur voor de LDPE-schuimcontouren kan worden uitgesproken.

Onderstaande tabel vat de produktvergelijking nog eens samen:

	milieu-effekten geringst----omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	onduidelijk; EVW en EVL niet vergelijkbaar
met toerekening dioxinen	LDPE-schuim > EPS

Tabel 3.4: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 100 verpakkingen van printers A) 9000 g EPS, 82000 g karton, 4000 g LDPE-folie en B) 12000 g LDPE-partikelschuim, 82000 g karton, 4000 g LDPE-folie.

produkten	A:EPS	B:LDPE-schuim
verbruik grondstoffen g (MJ) dm ³	nafta 13260 g (611 MJ) add. e.d. pm oud papier 72160 hout 35260 hulpst. 6068 water 6150	nafta 16320 g (752 MJ) add. e.d. pm oud papier 72160 hout 35260 hulpst. 6068 water 6150
productie materiaal energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	2397 216609 321742 3699 3122	2355 176327 321974 3709 3126
verwerking materiaal tot produkt energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	172 pm (rel.gering) pm (") 490 20043	142 ¹ pm (rel.gering) pm (") 160 ² 4043
afvalverwerking energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ EVL+dioxinen*10 ⁴ m ³ vast afval g vast afval cm ³	-268 pm pm 1253,4-1305,4 57000 324609	-290 pm pm 1270,0-1180,6 58800 324609
som totaal energie MJ EVW *10 ³ dm ³ EVL *10 ³ m ³ +CFK's m ³ +dioxinen*10 ³ m ³ vast afval g vast afval cm ³	2301 216,6 321,7 - 1575,1-1627,1 61189 347774	2207 176,3 322,0 buiten beschouwing 1592,0-1502,6 62669 331778

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz, 1984; 2. van Duin/de Graaf, concept, 1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept, 1987.

¹ Energie schuimen LDPE onbekend (pm).

² Vast afval schuimen LDPE onbekend (pm).

3.3.3 Walkman-verpakkingen

Vergeleken zijn drie walkman-verpakkingen, bestaande uit

- A een geëxpandeerd polystyreenschuim-binnenverpakking (EPS) in een doos van vlak en bewerkt karton;
- B een geëxpandeerd polystyreenschuim-binnenverpakking (EPS) in een doos van met goudpapier beplakt en geplastificeerd vlakkarton;
- C een vlakkartonnen binnendoos in een vlakkartonnen bedrukte buitendoos met een plastic zakje, waarvan aangenomen is dat het bestond uit LDPE-folie.

Voor verpakking B is, zoals blijkt uit tabel 3.5, veel meer materiaal gebruikt dan voor verpakking A. Het feit dat bijbehorende walkman (B) iets groter is verklaart dit slechts voor een klein gedeelte; het verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de luxere uitvoering van verpakking B. Opdruk en geplastificeerde laag zijn niet bij de beoordeling betrokken.

Uit tabel 3.5 blijkt dat de luxe verpakking B de meeste emissies en ook het meeste afval veroorzaakt en energie verbruikt. Het verschil tussen B en A, die beide uit dezelfde onderdelen en materialen bestaan, wordt voor het grootste deel veroorzaakt door onzuinig materiaalgebruik. Zonder toerekening van dioxinen kan tussen A en C geen verschil worden gemaakt, omdat hogere luchtmissies dan weer vergeleken moeten worden met lagere wateremissies. Met dioxinen-toerekening komt C, de kartonnen verpakking, als beste uit de bus. De reden hiervoor ligt vooral in het zuinige materiaalgebruik van deze verpakking.

In onderstaande tabel wordt de produktvergelijking nog eens samengevat:

	milieu-effekten geringst----omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	karton, EPS/karton (A) > EPS/karton (B, luxe)
met toerekening dioxinen	karton (C) > EPS/karton (A) > EPS/karton (B)

Tabel 3.5: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 100 walkman-verpakkingen van A) 1700 g EPS en 5000 g karton, B) 2500 g EPS en 13500 g karton of C) 650 g LDPE-folie en 7200 g karton.

produkten	A:EPS/karton	B:EPS/karton	C:karton
verbruik grondstoffen	nafta 1825 (84) o.p. 4400 hout 2150 add. e.d. pm hulpst. 370 water 375+pm	nafta 2684 (124) o.p. 11800 hout 5800 add. e.d. pm hulpst. 999 water 1013+pm	nafta 670 (31) o.p. 6336 hout 3096 add. e.d. pm hulpst.533 water 540+pm
dm ³			
productie materiaal			
energie MJ	183	417	189
EVW dm ³	20446	41348	14262
EVL m ³	19693	52996	28211
vast afval g	226	609	325
vast afval cm ³	118	508	271
verwerking materiaal tot produkt			
energie MJ	29	42	3
EVW dm ³	pm (gering)	pm (")	pm (")
EVL m ³	pm (")	pm (")	pm (")
vast afval g	85	125	7
vast afval cm ³	3778	5556	7
afvalverwerking			
energie MJ	-23	-47	-20
EVW dm ³	pm	pm	pm
EVL m ³	pm	pm	pm
+dioxinen*10 ⁴ m ³	3,5-6,3	8,4-12,6	4,3-4,1
vast afval g	4020	9600	4710
vast afval cm ³	50333	80167	7624
som totaal			
energie MJ	189	412	172
EVW *10 ⁴ dm ³	2,0	4,1	1,4
EVL *10 ⁴ m ³	2,0	5,3	2,8
+dioxinen*10 ⁴ m ³	5,5-8,3	13,7-17,9	7,1-6,9
vast afval g	4431	10334	5042
vast afval cm ³	54299	86231	7902

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz,1984; 2. van Duin/de Graaf, concept,1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept,1987.

3.3.4 Eierdozen

Er zijn vijf verschillende eierdozen vergeleken:

A helder (hard) polystyreen eierdoos, bedrukt;

B geëxtrudeerd polystyreen (GPS) eierdoos, bedrukt;

C geëxpandeerd polystyreen (EPS) eierdoos, met opgeplakt etiket;

D kartonnen eierdoos, bedrukt;

E combinatie-doos met en kartonnen bodem, een helder (hard) polystyreen deksel, PVC-krimpfolie ter afsluiting en een los etiket.

Etiketten, lijm en inkt van de opdrukken zijn niet bij de beoordeling betrokken.

Bij de produktvergelijking blijkt, dat zowel met als zonder dioxinen-toerekening de GPS- en EPS-doos (B en C) gunstig afsteken ten opzichte van de andere drie dozen, met name door hun geringe luchtemissies. De lagere wateremissie van karton staat tegenover de veel hogere luchtemissie van GPS/EPS, zodat een informele voorkeur voor de EPS/GPS eierdoos kan worden uitgesproken. De combinatie-doos (E) heeft vooral een hoge dioxinen-emissie, die grotendeels valt toe te schrijven aan het PVC-krimpfolie. Met toerekening van dioxinen komt deze laatste doos zeer ongunstig uit de bus. Zonder dioxinen-toerekening is moeilijk een voorkeur uit te spreken voor A, D of E, vanwege de onvergelykbaarheid van water- en luchtemissies.

Een samenvatting van bovenstaande produktvergelijking geeft de volgende tabel:

	milieu-effecten geringst ---- omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	GPS en EPS > helder PS, karton en combinatie
met toerekening dioxinen	GPS en EPS > karton, helder PS, combinatie en karton > combinatie

Tabel 3.6: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van eierdozen (zonder recycling) voor de verpakking van 1000 eieren in A) 2120 g helder PS; B) 1480 g GPS; C) 1500 g EPS; D) 4810 g karton of E) 1850 g karton, 300 g PVC krimpfolie en 1050 g helder PS.

produkten	A:helder PS	B:GPS	C:EPS	D:karton	E:kombinatie
verbruik grondstoffen g (MJ)	nafta 2184 (101) addit.	nafta 1525 (70) addit. pm	nafta 1610 (74) addit. pm	o.p. 4233 hout 2068 hulpst.356	nafta 1086 (64) add. e.d.pm o.p. 1628 hout 796 hulpst.137 water pm
dm ³	water pm	water pm	water pm	water 361+ pm	water pm
produktie materiaal					
energie MJ	71	49	52	115	85
EVW dm ³	13490	9417	9946	8826	10897
EVL m ³	171	120	126	11807	7531
vast afval g	23	16	1	216	95
vast afval cm ³	19	13	1	180	79
verwerking materiaal tot produkt					
energie MJ	11	8	25	pm	8
EVW dm ³	pm (gering)	pm (")	pm (")	pm (")	pm (")
EVL m ³	pm (")	pm (")	pm (")	pm (")	pm (")
vast afval g	21	15	75	pm	14
vast afval cm ³	20	118	3333	pm	13
afvalverwerking					
energie MJ	-16	-11	-11	-10	-13
EVW dm ³	pm	pm	pm	pm	pm
EVL m ³	pm	pm	pm	pm	pm
EVL dioxinen*10 ³ m ³	12-44	8-31	8-31	26	131-116
vast afval g	1272	888	900	2886	1980
vast afval cm ³	1211	7104	40000	4810	2570
som totaal					
energie MJ	66	46	66	105	80
EVW *10 ³ dm ³	13,5	9,4	9,9	8,8	10,9
EVL *10 ³ m ³	0,2	0,1	0,1	11,8	7,5
+CFK's m ³	-	buiten be- schouwing	-	-	-
+dioxinen*10 ⁴ m ³	12,2-44,2	8,1-31,1	8,1-31,1	37,8	138,5-123,5
vast afval g	1316	919	976	3102	2089
vast afval cm ³	1250	7236	43334	4990	2671

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz, 1984; 2. van Duin/de Graaf, concept, 1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept, 1987.

3.3.5 Boormachine-verpakkingen

Drie boormachineverpakkingen zijn betrokken bij de produktvergelijking, bestaande uit:

- A een EPS-schuimdoos, 34 x 24 x 9,5 cm, met een vlakkartonnen bedrukte deksel
- B een 3 laags golfkartonnen doos, 29 x 19 x 9 cm, bedrukt, en een EPS-vormstuk als binnenverpakking
- C een kartonnen buitendoos, 37 x 20 x 10 cm, bedrukt; met een kartonnen binnendoos, beide 3 laags golfkarton.

De opdruk van de buitendozen is niet bij de beoordeling betrokken.

De verpakkingen zijn niet geheel vergelijkbaar omdat de boormachines iets verschillen in omvang en bijgeleverde hulpstukken. De verschillen zijn echter niet erg groot, zodat een vergelijking toch tot relevante conclusies kan leiden.

Uit tabel 3.7 blijkt dat C, de geheel uit karton bestaande verpakking, de minst milieuvriendelijke is. Tussen verpakkingen A en B is geen voorkeursvolgorde aan te geven, zowel met als zonder toerekening van dioxinen. Hier gaat een grotere luchtmissie weer samen met een lagere wateremissie. In onderstaande tabel wordt dit aangegeven.

	milieu-effecten geringst----omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	EPS/karton (A), EPS/karton (B) > karton (C)
met toerekening dioxinen	EPS/karton (A), EPS/karton (B) > karton (C)

Tabel 3.7: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 100 boormachineverpakkingen van A) 7300 g EPS en 9800 g karton; B) 1700 g EPS en 14500 g karton of C) 57200 g karton.

produkten	A	B	C
verbruik grondstoffen g (MJ) dm ³	nafta 7837 (361) add. e.d.pm oud papier 8624 hout 4214 hulpst.725 water 735+ pm	nafta 1825 (84) add. e.d. pm oud papier 12760 hout 6235 hulpst.1073 water 1088+ pm	oud papier 50336 hout 24596 hulpst. 4233 water 4290+pm
produktie materiaal energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	504 66386 38933 445 371	411 37879 56838 653 544	1373 104962 223652 2574 2145
verwerking materiaal tot produkt energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	118 pm (gering) pm (gering) 365 16222	28 pm (") pm (") 85 3778	pm pm (") pm (") pm pm
afvalverwerking energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ +dioxinen*10 ⁴ m ³ vast afval g vast afval cm ³	-74 pm pm 9,4-10,1 10260 204467	-43 pm pm 8,9-11,1 9720 59833	-154 pm pm 31,5-29,8 34320 57200
som totaal energie MJ EVW *10 ⁴ dm ³ EVL *10 ⁴ m ³ +dioxinen*10 ⁴ m ³ vast afval g vast afval cm ³	548 6,6 3,9 13,3-14,0 11070 221060	396 3,8 5,7 14,6-16,8 10458 64155	1219 10,5 22,4 53,8-52,2 36894 59345

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz, 1984; 2. van Duin/de Graaf, concept, 1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept, 1987.

3.3.6 Kleurentelevisie-verpakkingen

Twee complete verpakkingen, beide van een kleurentelevisietoestel met een beeldbuis van 40 cm, zijn met elkaar vergeleken. Hun samenstelling:

A een 3 laags golfkarton buitendoos 47 x 44 x 47 cm, schaars bedrukt, geniet; EPS-schuimcontouren van beperkte omvang; LDPE-schuimfolie; LDPE-folie.

B een 5 laags golfkarton buitendoos 41 x 38 x 48 cm, wit, bedrukt; bodem- en bovenplaat van EPS-schuim; LDPE-schuimfolie; LDPE-folie.

Nietjes en opdruk van de buitendozen zijn niet bij de vergelijking betrokken.

Voor de verpakkingen A en B zijn dezelfde materialen in dezelfde functies gebruikt. De verschillen die blijken uit tabel 3.8 zijn dan ook uitsluitend toe te schrijven aan de zuinigheid van het materiaalgebruik. Bij verpakking A is konsekwent 10 à 65% minder materiaal gebruikt dan bij verpakking B, en dientengevolge komt A gunstiger uit de bus dan B. Onderstaande tabel vat dit samen.

	milieu-effekten geringst----omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	A (minder materiaal) > B
met toerekening dioxinen	A (minder materiaal) > B

Tabel 3.8: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 100 verpakkingen van kleurentelevisies van A) 14000 g EPS, 129500 g karton 500 g LDPE-folie en 1600 g LDPE-schuimfolie of B) 21800 g EPS, 139500 g karton, 1600 g LDPE-folie en 3500 g LDPE-schuimfolie.

produkten	A	B (idem materialen A)
verbruik grondstoffen g (MJ) dm ³	nafta 17193 (793) o.p. 113960 addit. e.d. pm hout 55685 hulpst.9583 water 9713+pm	nafta 28658 (1320) o.p. 122760 addit. e.d. pm hout 59985 hulpst.10323 water 10463+pm
produktie materiaal energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval g vast afval cm ³	3233 333858 507715 5873 4864	4274 408779 547745 6296 5247
verwerking materiaal tot produkt energie ¹ MJ EVW dm ³ EVL m ³ vast afval ² g vast afval cm ³	246 pm (gering) pm (gering) 721 31436	393 pm (") pm (") 1141 49161
afvalverwerking energie MJ EVW dm ³ EVL m ³ +dioxinen*10 ⁴ m ³ vast afval g vast afval cm ³	-391 pm pm 80,1-97,7 87360 522359	-492 pm pm 91,5-120,7 99840 763876
som totaal energie MJ EVW *10 ⁴ dm ³ EVL *10 ⁴ m ³ +dioxinen*10 ⁴ m ³ +CFK's m ³ vast afval g vast afval cm ³	3088 33,4 50,8 130,9-148,5 buiten be- schouwing 93918 558659	4175 40,9 54,8 146,3-175,5 buiten be- schouwing 107277 818284

1. Energie schuimen LDPE onbekend (pm).

2. Vast afval schuimen LDPE onbekend (pm).

3.3.7 Home-computerverpakkingen

Drie verpakkingen van vrijwel identieke homecomputers hebben de basis gevormd voor deze vergelijking. Het gaat hierbij uitsluitend om de verpakkingen van de computer hardware en niet om die van monitor en toetsenbord. De verpakkingen bestaan uit:

- A een 5 laags golfkartonnen doos, 50 x 26 x 60 cm, wit, bedrukt; en twee EPS-schuimcontouren
- B eenzelfde doos als A; en twee LDPE-schuimcontouren
- C een 5 laags golfkartonnen doos, 53 x 30 x 63 cm, wit, bedrukt; en twee contouren van 3 laags golfkarton met poly-urethaan (PU) stootblokjes.

De kleuring en opdruk van de dozen zijn niet bij de vergelijking betrokken.

De vergelijking tussen verpakkingen A en B komt in feite neer op die van de printer-binnenverpakkingen, omdat de kartonnen buitendozen identiek zijn. Verpakking B, met LDPE-schuimcontouren, is dan milieuvriendelijker dan verpakking A met EPS-schuimcontouren. Verpakking C (PU-schuim en karton) lijkt milieu-onvriendelijker dan A en B, hoewel hier hogere luchtmissies gepaard gaan met lagere wateremissies; de cijfers berusten echter op schattingen waardoor aan dit oordeel alleen een voorlopige indicatieve waarde kan worden toegekend.

	milieu-effecten geringst----omvangrijkst
zonder toerekening dioxinen	B (karton,LDPE-schuim) > A (karton,EPS) > C (karton,PU-schuim)
met toerekening dioxinen	B (karton,LDPE-schuim) > A (karton,EPS) > C (karton,PU-schuim)

Tabel 3.9: produktvergelijking m.b.t. energie- en milieuaspekten van het verbruik van 100 homecomputerverpakkingen van A) 123000 g karton en 24750 g EPS-schuim, B) 123000 g karton en 33000 g LDPE-schuimparkitels, en C) 173500 g karton en 16000 g hard PU-schuim.

produkten	A:karton/EPS	B:karton/LDPE	C:karton/PU ¹
verbruik grondstoffen g (MJ) dm ³	nafta 26570 (1224) add. e.d. pm oud papier 108240 hout 52890 hulpst.9102 water 9225+pm	nafta 34000 (1567) add. e.d. pm o.p. 108240 hout 52890 hulpst.9102 water 9225+pm	nafta pm add. e.d. pm o.p. 152680 hout 13013 hulpst.12839 water 13013+ pm
productie materiaal			
energie MJ	4463	3752	5207
EVW dm ³	389814	279038	379238
EVL m ³	483014	483930	690558
vast afval g	5538	5575	7824
vast afval cm ³	4600	4650	6521
verwerking materiaal tot produkt			
energie MJ	417	333 ²	35+pm
EVW dm ³	pm (rel.ger.)	pm (rel.ger.)	pm
EVL m ³	pm (")	pm (")	pm
vast afval g	1303	333 ³	1390
vast afval cm ³	57911	11100	34750
afvalverwerking			
energie MJ	-441	-502	-482
EVW dm ³	pm	pm	pm
EVL m ³	pm	pm	pm
EVL dioxinen*10 ⁴ m ³	81,3-115,6	8,6-81,2	106,1-98,5
vast afval g	88650	93600	113700
vast afval cm ³	734000	734000	413500
som totaal			
energie MJ	4439	3583	4760
EVW *10 ⁴ dm ³	38,9	27,9	37,9
EVL *10 ⁴ m ³	48,3	48,4	69,1
+CFK's m ³	-	buiten be- schouwing	buiten be- schouwing
+dioxinen*10 ⁴ m ³	129,6-163,9	57,0-129,6	167,6-175,2
vast afval g	95491	98512	122914
vast afval cm ³	796511	749750	454771

Bronnen: 1. Bundesamt für Umweltschutz, 1984; 2. van Duin/de Graaf, concept, 1987; 3. van Duin/Kerkhoven, concept, 1987.

1. De cijfers voor PU-schuim zijn gebaseerd op schattingen uit de literatuur en op eigen schattingen, waarbij er vanuit is gegaan dat de emissie-energiecijfers voor PU liggen tussen die voor LDPE en PS.

2. Energie schuimen LDPE onbekend (pm).

3. Vast afval schuimen LDPE onbekend (pm).

3.4 Milieuwinst door verschuiving naar de meest milieuvriendelijke verpakking

Binnen het nog beperkte onderzochte veld van verpakkingsalternatieven blijken de verpakkingen van de meeste produkten omvangrijke verschillen te vertonen in milieu-effecten. De relatief milieuvriendelijkste alternatieven hebben een energieverbruik, afvalhoeveelheid en emissieomvang, die 10 à 90% lager ligt dan bij de milieu-onvriendelijkste alternatieven.

Welke milieuwinst zou er nu te behalen zijn bij overschakeling van de feitelijke marktverdeling naar het meest milieuvriendelijke alternatief bij de onderzochte produktverpakkingen?

Harde gegevens ontbreken, maar enkele ruwe schattingen van marktaandelen, op basis van eigen waarnemingen, van verpakkingsalternatieven geven toch een indicatie van de mogelijke milieuwinsten. Zie tabel 3.10 en 3.11 voor een overzicht van de resultaten van deze schattingen (zie pagina 50).

Bij de berekeningen is aangenomen dat de vergeleken produktalternatieven representatief zijn voor alle alternatieven en dat de verdeling onderling gelijk is. Bij 3 produktalternatieven heeft ieder alternatief dan een marktaandeel van 33%. Voor de vleesschaaltjes en eierdozen zijn andere schattingen gemaakt (tabel 3.12).

Tabel 3.12: marktaandelen van verschillende vleesschaaltjes en eierdozen (eigen schattingen).

vleesschaaltjes materiaal geschat marktaandeel	GPS 35%	HIPS 20%	karton 35%	aluminium 10%
eierdozen materiaal geschat marktaandeel ¹	EPS/GPS 20%	helder PS 10%	karton 65%	kombinatiedoos 5%

Van de vleesschaaltjes en eierdozen zijn alle op de markt voorkomende alternatieven meegenomen in de milieuvergelijking. Voor de verpakkingsal-

¹ Schatting van het verpakte aantal eieren per produktalternatief; omrekening naar aantal eierdozen betekent dat het % van de kombinatiedoos gedeeld moet worden door 2 (bevat 20 eieren per doos).

Tabel 3.10: Berekende milieuwinsten bij overschakeling op milieuvriendelijkste produktalternatief (absoluut), op basis van schattingen van marktaandelen van de verschillende produktalternatieven.

		verpakking van							
		vleeswaren	printers	walkmans	eieren	boormachines	T.V.'s <40 cm	P.C.'s	
energie	MJ	5,6x10 ⁷	5,9x10 ⁴	4,2x10 ⁵	5,6x10 ⁷	8,2x10 ⁵	3,0x10 ⁵	2,5x10 ⁶	
EVW	dm ³	5,1x10 ⁹	2,5x10 ⁷	5,4x10 ⁷	-5,9x10 ⁸	2,7x10 ⁷	2,1x10 ⁷	2,6x10 ⁸	
EVL	m ³	8,0x10 ⁹	-1,9x10 ⁵	2,7x10 ⁷	1,4x10 ¹⁰	9,2x10 ⁷	1,1x10 ⁷	2,4x10 ⁸	
EVL+dioxinen	m ³	4,2x10 ¹⁰	-1,1x10 ⁷	7,9x10 ⁷	4,0x10 ¹⁰	2,1x10 ⁸	4,2x10 ⁷	23,0x10 ⁸	
vast afval	ton	2,2x10 ¹⁰	7,8x10 ⁷	20,1x10 ⁷	1,3x10 ¹⁰	1,9x10 ⁸	7,4x10 ⁷	9,7x10 ⁸	
vast afval	m ³	1,5x10 ³	-0,9	7,5	2,5x10 ³	13,6	3,7	23,5	
		-1,4x10 ³	10,0	2,1x10 ²	-2,9x10 ⁴	-1,5x10 ²	71,4	-3,4x10 ²	

Tabel 3.11: Berekende milieuwinsten bij overschakeling op milieuvriendelijkste produktalternatief in % t.o.v. huidige situatie, op basis van schattingen van marktaandelen van de verschillende produktalternatieven.

		verpakking van							
		vleeswaren	printers	walkmans	eieren	boormachines	T.V.'s	P.C.'s	
energie		66%	2%	33%	36%	72%	25%	15%	
EVW		38%	10%	43%	-4%	25%	10%	19%	
EVL		99%	-0,05%	16%	99%	55%	4%	12%	
EVL+dioxinen		83%/24%	-0,5%/4%	18%/37%	74%/19%	48%/44%	6%/8%	51%/16%	
vast afval		65%	-1%	23%	60%	44%	7%	6%	
vast afval		-27%	2%	84%	-196%	-197%	19%	-13%	

ternatieven van deze twee produkten is daarom in tegenstelling tot de overige produkten, waar het totaal aantal alternatieven veel onoverzichtelijker is, een meer gedetailleerde schatting van de marktaandelen van de diverse alternatieven gemaakt.

Uit tabel 3.11 blijkt dat er bij alle aldaar vergeleken produkten grote milieuwinsten mogelijk zijn. Opvallend daarnaast is dat de grootste milieuwinst, in absolute termen en in procenten, mogelijk blijkt bij het kleinste produkt: het vleesschaaltje. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de enorme omzet van deze schaaltes, namelijk ca 1 miljard vleesschaaltes per jaar.

4. Konklusies

In hoofdstuk 3 zijn verpakkingsalternatieven van een aantal produkten vergeleken en beoordeeld op milieu- en energieaspecten. Om een betrouwbaardere en meer valide beoordeling van de produktalternatieven te kunnen maken dan nu in hoofdstuk 3 is gedaan, is het echter nodig de kennis over de grondstof, milieu- en energieaspecten van de betreffende produktie- en afvalverwerkingsprocessen uit te breiden en uit te diepen.

Over verpakkingen bleek kwantitatief weinig bekend te zijn.

CFK's zijn in deze studie niet in de milieubeoordeling betrokken, terwijl deze stoffen een zeer ernstige bedreiging van het milieu vormen in verband met de afbraak van de ozonlaag. De beoordeling van kunststoffen, die geschuimd zijn met CFK's, zou op grond daarvan aanzienlijk negatiever uit moeten vallen dan de beoordelingen, zoals in hoofdstuk 3 weergegeven.

Welke lijnen zijn er nu in de resultaten van de studie te vinden?

Ten eerste blijkt dat er per produkt zeer grote verschillen in milieueffekten van verpakkingen bestaan, waarbij de milieubelasting tot een faktor 15 uiteen kan lopen. Deze verschillen treden echter niet bij alle produkten op.

Ten tweede blijkt dat de milieuscore van de verschillende produktverpakkingen niet altijd direkt is te herleiden naar de materiaalkeuze. Schuimbevattende verpakkingen scoren dikwijls relatief gunstig, met name wanneer de verpakkingen PE-schuim bevatten. Echter, er zijn ook verpakkingen waar het alternatief voor de schuimverpakking uit milieu-oogpunt te prefereren valt, zoals bij de kartonnen verpakking van de walkman.

De resultaten voor karton zouden relatief gunstiger kunnen worden, indien ook de grondstoffenproblematiek in de weging betrokken zou kunnen worden.

Ten derde blijkt dat zuinigheid in het gebruik van materiaal bij het ontwerp van verpakkingen een zelfstandige en belangrijke faktor is bij de bepaling van de grootte van de milieu-effekten van de betreffende verpakkingen.

Ten vierde blijkt uit de diversiteit van verpakkingen voor één type produkt dat kosten-overwegingen niet volledig bepalend zijn voor de aard en omvang van de verpakking. Dit impliceert (zie §3.4) dat bij milieugericht ontwerpen aanzienlijke verbeteringen te realiseren zijn ten opzichte van de huidige situatie. Een handzame methode voor de nu vrij bewerkelijke berekening van milieu-effekten is daarbij echter wel onontbeerlijk.

LITERATUUR

- * Arbeidsinspektie, Nationale MAC-lijst 1986
- * Berg, M.M.H.E. van den, D.Schmidt, M. van Koten-Hertogs, G. Huppés, W.T. de Groot, Potenties van produktbeleid, CML-mededelingen nr. 26, Leiden, 1986
- * Brüggemann, H.M. e.a., Kunststof verpakkingsmaterialen in huishoudelijk afval, Delft, 1985
- * Bundesamt für Umweltschutz (BUS), Ökobilanzen von Packstoffen, Bern, 1984
- * Carlowitz, B., Kunststof-Tabellen, München, 1986
- * CBS, Statistisch zakboek 1986, Den Haag, 1986
- * Cornelissen, A.A.J., Sorteertproeven met huishoudelijk afval; resultaten 1986, Bilthoven (RIVM), 1987
- * Duin, R. van en T.A. Joziassé, Energiebesparings- en milieu-aspekten bij de verwerking van kunststofafval, Leidschendam, 1985
- * Duin, R. van en B. de Graaf, Milieu- en energieaspecten van kunststoffen (conceptversie; voorlopige resultaten), deelrapport 1 van NOH - projekt 'Materiaalkeuze in relatie tot energie en milieu', Rotterdam, 1987
- * Duin, R. van en R. Kerkhoven, Milieu- en energieaspecten van metalen (concept-rapport), deelrapport 2 van NOH-projekt 'Materiaalkeuze in relatie tot energie en milieu', Rotterdam, 1987
- * Druijff, E.A., Milieurelevante produktinformatie, CML-mededelingen nr. 15, Leiden, 1984
- * Eurostat, Bevolkingsstatistieken 1986, Brussel, 1987
- * Gellert, G., Schäumbares Polystyrol (EPS), Kunststoffe 77(1987)10
- * Kemna, R.B.J., Energiebewust ontwerpen, Delft, 1981
- * Kunststof & Rubber 1987/7, 21-25
- * Ministerie van V & M (Metra Consulting Group Ltd.), Non-aerosol applications of fluorocarbons in the Netherlands (Lucht 3), Leidschendam, 1987
- * Ministerie van VROM, Brief d.d. 29 juni van de minister van VROM over het ozonprobleem, Den Haag, 1987
- * Ministerie van VROM (Interne projektgroep), Luchtverontreiniging door afvalverbranding; praktijk en voorstellen voor een te voeren beleid (Lucht 38), Den Haag, 1984
- * Ministerie van VROM (RIVM, TNO, DHV), Kriteria-dokument over styreen (Lucht 57), Leidschendam, 1986

- * Modern Plastics International, special report: Materials '86, January 1987
- * Philipp,W., 'Schäumbares Polystyrol (EPS)', Kunststoffe 76(1986)10
- * Reijnders,L., Ozonlaag in atmosfeer ernstig aangetast, Natuur en Milieu, februari 1987
- * Roessel,P., 'Rooskleurige toekomst voor kunststoffen in de verpakking', Missets Pakblad 3, maart 1987
- * Schouten,A.E. en A.K. van der Vegt, Plastics, Overberg, 1988
- * Smout,A.D., Inventarisatie van de industriële afvalstromen uit de kunststofverwerkende industriële bedrijven,deel A, Delft, 1982
- * Stange,K., 'Schaumstoffe aus Thermoplasten', Kunststoffe 74(1984)11
- * Steeman,W., Milieu-aspekten van het ontwerpen, Delft, 1986
- * Zoeten, G. de (CCRX), Broom en broomverbindingen, Leidschendam, 1987
- * Diverse jaargangen van de tijdschriften Kunststof & Rubber, Missets Pakblad, Verpakkingsmanagement, Kunststoffe, Modern Plastics International en Pack News

BIJLAGE 1

Verpakkingsmateriaal van polystyreenschuim - kwantitatief

Berekening 1. In 1986 bedroeg het verbruik van EPS per hoofd van de bevolking in Nederland 1,8 kg/jaar (1,2). Wat betreft EPS wordt 33% van het totale EPS-verbruik in West-Europa verwerkt tot verpakkingsmateriaal en drinkbekers. in de USA zijn deze percentages anders verdeeld (tabel A). Het EPS-verbruik in 1986 bedroeg 450 kton/jaar.

Tabel A: Opdeling van het EPS-verbruik naar toepassingsgebied (1986, in %)

Toepassingsgebied	West-Europa	Noord-Amerika	Japan
Bouw	65	41	15
verpakking	32	20	79
drinkbekers	1	33	3
overig	2	6	3

Bron: Kunststoffe 77(1987)10, R. Gellert, Schäumbares Polystyrol (EPS)

Het totale EPS-verbruik in de verpakkingssector in Nederland kan hiermee op $1,8 \times 0,33 \times 14,5 \times 10^6 = 8,6$ kton/jaar (> 86000 m³).

Berekening 2. Het totaal verbruik van EPS in Nederland 1986 wordt geschat op 32 kton (3). Als 33% hiervan toegepast zou worden als verpakkingsmateriaal zou het verbruik voor verpakkingen in Nederland (1986) 10,6 kton per jaar (>106.000 m³) bedragen (voor 1984 en 1985 zou men zo op een verbruik van 8,3 kton/jaar uitkomen).

Berekening 3. Volgens Philipp (4) werd in 1985 9% van het totale West-Europese EPS-verbruik (in 1985: 420 kton/jaar) in de Benelux verbruikt, dat wil zeggen $0,09 \times 420 = 37,8$ kton. Als de verdeling van dit EPS-verbruik gelijk gesteld wordt aan de verdeling van het aantal inwoners over deze landen, dan zou het Nederlandse verbruik van EPS in verpakkingen 7,3 kton bedragen.

Berekening 4. Met behulp van tabel B valt het gemiddelde gewicht kunststofverpakkingsafval per week per gezin per kunststof te berekenen.

Tabel B: Verdeling naar soort kunststof in gewichtspercenten, gegeven voor de hoeveelheid gemiddeld gewicht kunststof-verpakkingsafval per week per gezin (gemiddeld aantal personen).

Materiaal	
PE	52,3
PP	9,8
PS	10,0
EPS	4,2
PVC	13,6
PA/PE	1,4
al. laminaten	2,0
diversen	6,5

Bron: Brüggemann e.a., 1985 (5).

Uit deze tabel blijkt dat EPS verpakkingen gemiddeld 4,2% uitmaken van de totale huishoudelijke verpakkingsafvalstroom. De totale hoeveelheid kunststofafval in huishoudelijk afval in Nederland bedraagt 290000 ton/jaar, waarvan 150000 ton afkomstig is van verpakkingsafval (5,6). Voor EPS betekent dat dus $0,042 \times 150000 = 6,3$ kton EPS/jaar ($>63000 \text{ m}^3$).

In landen, waar isolatie sterk gestimuleerd wordt, zal het in tabel A genoemde percentage (65%) van het EPS dat in de bouw wordt toegepast, waarschijnlijk hoger liggen. De eerste drie berekende getallen voor het EPS-verbruik in Nederland in verpakkingen lijkt in dat geval te hoog geschat. Om alleen een schatting te geven van de EPS-konsumentenverpakkingen, lijkt de schatting via het huishoudelijk afval de aangewezen weg (berekening 3). In het afval wordt meestal de natte fractie EPS bepaald, waardoor het 'vuilgewicht' hoger uitvalt dan het werkelijke gewicht. Het Nederlandse EPS-verbruik in verpakkingen zal dus tussen 5-10kton/jaar liggen.

Geëxtrudeerd helder polystyreenschuim - kwantitatief (7)

In 1983 bedroeg het West-Europese verbruik van schuimen van geëxtrudeerd helder polystyreen (GPS) ca 20% van het EPS-verbruik, $0,2 \times 450 = 90$ kton/jaar. GPS wordt toegepast in

- a) platen voor de bouwindustrie, en
- b) vacuümvervormbare folies voor de verpakkingsindustrie.

Voor b) wordt het verbruik in West-Europa geschat op 50 kton/jaar (1983/1984). Op basis van het eerder genoemde verbruikspercentage van de Benelux van het totale West-Europese verbruik (schatting GPS-percentage gelijkgesteld aan EPS-percentage) en de inwonersverdeling tussen de Benelux-landen, kan het verbruik van GPS-verpakkingen in Nederland geschat worden op 2,6 kton/jaar.

Bronnen:

- 1 Gellert,R., Schäumbares Polystyrol (EPS), Kunststoffe 77(1987)10
- 2 Kunststof & Rubber 1987/7, Interpack '87:gelamineerde folies en thermoplastische polyester in opmars
- 3 Kremers,G. en R. van Ooyen, De kunststoffenmarkt in Nederland, Kunststof & Rubber 1987/11
- 4 Philipp,W., Schäumbares Polystyrol (EPS), Kunststoffe 76(1986)10
- 5 Brüggemann,H.M. e.a., Kunststof verpakkingsmaterialen in huishoudelijk afval, Delft, 1985
- 6 Kunststof & Rubber 1985/4, Macropak - Accent op perfectionering
- 7 Stange,K., Schaumstoffe aus Thermoplasten, Kunststoffe 74(1984)11

BIJLAGE 2

2.1 Toerekening van aromatische ringverbindingen in emissiegassen van
vuilverbrandingsinstallaties aan materialen

Op basis van emissiemetingen aan vijf vuilverbrandingsinstallaties (vvi's) in Zuid-Holland (Werkgroep Emissiemetingen, 1985) kan de emissie van aromatische ringverbindingen (vnl. PAK's) geschat op 68 mg/ton verbrand stedelijk afval (400 EVL). Stedelijk afval bestaat voor 52% uit zakkenvuil, 29% grof huisvuil en klein bedrijfsafval en 19% overig bedrijfsafval (SVA, 1980). De samenstelling van het stedelijk afval wordt verondersteld gelijk te zijn aan de samenstelling van zakkenvuil (tabel 2.5).

In de nu volgende berekeningen wordt verondersteld dat ringverbindingen uit lange koolstofketens en uit onvolledig verbrande aromatische ringverbindingen, die al in het afval aanwezig waren (bijv. styreen), kunnen ontstaan na de vuurhaard.

Er kunnen nu twee aannamen gemaakt worden:

- 1) alle koolstofketens in afval zijn bij de vorming van aromaten in vvi-gassen in gelijke mate betrokken, afhankelijk van het koolstofgehalte;
- 2) aromaten in afval zijn belangrijker dan lange koolstofketens in afval bij de vorming van aromatische ringverbindingen in vvi-gassen.

ad 1) Aannemend dat het gemiddeld koolstofgehalte per kg materiaal gelijk is¹, bedraagt het percentage lange koolstofketens in 1 ton te verbranden stedelijk afval ca. 80%. Dat zou betekenen dat voor de vorming van aromaten in vvi's aan elke kg materiaal met lange koolstofketens (van brood tot kunststoffen) 0,5 EVL toegerekend moet worden op basis van de aanwezige aromatische verbindingen in vvi-gassen.

ad 2) Stel nu dat polystyreen en rubbers, die uit aromatische ringverbindingen zijn opgebouwd, vier maal zo belangrijk zijn als de andere koolstofbronnen bij de vorming van aromaten in vvi-gassen. Dan moet aan 1

¹Deze gelijkheid in gemiddeld C-gehalte/kg materiaal gaat bijv. niet op voor PVC, dat een relatief lager C-gehalte heeft door de aanwezige chlooratomen in verhouding met andere kunststoffen.

kg C-bevattend materiaal 0,47 en aan polystyreen en rubbers 1,88 EVL/kg toegerekend worden.

2.2 Toerekening van dioxinen en furanen in vvi-gassen aan materialen

Bij de verbranding van 1 ton stedelijk afval komt $8,09 \cdot 10^{-4}$ gram equivalenten 2,3,7,8-TCDD aan dioxinen en furanen vrij (Luchtreeks-38, 1984). De dioxinen en furanen zijn omgerekend naar 2,3,7,8-TCDD. Voor deze laatste stof wordt in Nederland 4 pg/kg als ADI-waarde gehanteerd. Bij een ADI van 4 pg/kg kan de MAC-waarde berekend worden op $37,5 \cdot 10^{-12} \text{ g/m}^3$ (omrekening, uitgaande van een arbeider van 75 kg en respiratie van 8 m^3 lucht op en 8-urige werkdag).

2,3,7,8-tetrachloor dibenzo-p-dioxine bestaat voor 44,7% uit chloor en voor 44,1% uit koolstof. De toerekening van dioxinen en furanen aan materialen zal nu voor 50% aan koolstofbronnen en voor 50% aan chloorbronnen in het stedelijk afval plaatsvinden.

In 1975 meldde SVA (SVA, 1975) dat PVC voor 60% verantwoordelijk is voor de HCl-emissie van vvi's. In een recentere publikatie wordt dit percentage op 50 geschat. Bij de toerekening van dioxinen en furanen aan materialen zal het meest recente percentage gebruikt worden.

De emissie van $8,09 \cdot 10^{-4}$ gram dioxinen en furanen per ton verbrand afval kan met behulp van de fictieve MAC-waarde omgerekend worden in EVL's. De emissie komt dan overeen met $2,2 \cdot 10^7$ EVL/ton.

De volgende toerekeningen kunnen nu worden gemaakt:

- partiële toerekening aan PVC als chloorbron in afval (8 kg PVC/ton afval):
 $0,50 \cdot 2,2 \cdot 10^7 \cdot 0,60 / 8 \text{ kg PVC} = 8,25 \cdot 10^5 \text{ EVL/kg PVC.}$
- partiële toerekening aan kunststoffen en karton/papier als koolstofbronnen in afval (800 kg c.q. 845 kg C-bevattend materiaal/ton afval; zie bijlage 2.1):
 - * volgens 1 (bijlage 2.1): $0,50 \cdot 2,2 \cdot 10^7 / 800 \text{ kg C-bevattend materiaal in afval} = 13750 \text{ EVL/kg.}$
 - * volgens 2 (bijlage 2.1): $0,50 \cdot 2,2 \cdot 10^7 / 845 \text{ kg C-bevattend materi-}$

aal in afval=13018 EVL/kg materiaal zonder aromatische ringen en
4*13018= 52072 EVL/kg polystyreen of rubber.

Samengevat zien de resultaten van de toerekening van dioxinen en furanen aan de verpakkingsmaterialen polystyreen, polyetheen, polyvinylchloride, polyurethaan, papier/karton en aluminium er als volgt uit:

Tabel 1: toerekeningswaarden voor dioxinen en furanen in vvi-gassen aan enkele verpakkingsmaterialen in EVL/kg verbrand materiaal².

Aanname	alle C-ketens in afval even belangrijk	aromaten belangrijker dan overige C-ketens in afval
polystyreen	13750	52072
polyetheen	13750	13018
polyvinylchl.	838750	838018
polyurethaan	13750	13018
papier/karton	13750	13018
aluminium	0	0

Literatuur:

- 1 Werkgroep Emissiemetingen Vuilverbrandingsinstallaties in Zuid-Holland deelrapport 6, Den Haag, 1984.
- 2 SVA-publikatie 47, Beperking van hergebruik van afval van particuliere huishoudingen, Amersfoort, 1980.
- 3 Interne projectgroep 'Luchtverontreinigingsaspecten Huisvuilverbrandingsinstallaties', Lucht-reeks 38, Den Haag, 1984.
- 4 SVA-publikatie 1264, Mogelijkheden voor de beperking van gasvormige emissies bij afvalverbrandingsinstallaties, Amersfoort, 1975.
- 5 Lightowers, P.J. and J.N. Cape, Sources and fate of atmospheric HCl in the U.K. and Western Europe, Atmospheric Environment, Vol. 22, No. 1, pp. 7-15, 1988

² In deze tabel staan alleen de toerekeningswaarden van dioxinen en furanen aan verpakkingsmaterialen vermeld. Het verschil tussen de totaalwaarden van beide tabelkolommen kan daarmee verklaard worden; dioxinen en furanen kunnen namelijk op dezelfde manier aan textiel, rubber, broodresten, groente-, tuin- en fruitafval etc. toegerekend worden.

Bijlage 3: Milieuaspekten van de productie-konsumptiecyclus voor een produkt-verpakking van polystyreenschuim

