

Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7500 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 96/282

**Oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden
voor verwerking van de bij resthoutverbranding
vrijkomende assen**

Datum	Juli 1996
Auteurs	Ir. M.M.C. van Alkemade Ing. S. van Loo W.F. Sulilatu
Projectnummer	26564
Trefwoorden	- resthout - verbranding - assen - verwerking
Bestemd voor	Novem B.V. t.a.v. Ir. K.W. Kwant Postbus 8242 3503 RE Utrecht

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Na thermische conversie van bijvoorbeeld resthout blijft as achter, dat in de huidige situatie wordt gestort. De hoeveelheid gestort materiaal bedraagt 1,5 - 3 gew.% van het verbrande materiaal. Het storten van de asrest heeft de volgende nadelen:

- hoge storkosten;
- stortplaatsen accepteren de asrest in verband met de fijnheid van het materiaal doorgaans alleen in (plastic) verpakking;
- het storten doet afbreuk aan de doelmatigheidsdoelstelling zoals geformuleerd door het Ministerie van VROM.

Het potentieel voor energiewinning uit biomassa is aanmerkelijk groter dan de huidige energiewinning uit deze bron. In de Derde Energienota is de doelstelling opgenomen om in het jaar 2020 10% van de energie op te wekken uit duurzame bronnen. De hoeveelheid energie uit biomassa wordt hierbij geschat op 70 PJ/jaar, of 2,5% van het Nederlands energiegebruik. De potentieel te verwerken hoeveelheid assen uit biomassa kunnen op basis van deze gegevens worden geschat op 65.000 ton/jaar.

Het doel van deze studie is het verkrijgen van een globaal inzicht in de mogelijkheden om binnen de geldende milieuhygiënische criteria de asrest van resthoutverbranding nuttig toe te passen.

In de studie is op basis van gegevens uit openbare literatuur en uit eigen experimenteel onderzoek en de relevante wet- en regelgeving een oriënterende evaluatie uitgevoerd van de verschillende verwerkingsmogelijkheden. Uit deze evaluatie is onder andere het volgende naar voren gekomen:

- De schonere bodem- en cycloonas kunnen beter verwerkt worden dan de meer verontreinigde filteras.
- Bodem- en cycloonas kan mogelijk zonder voorbewerking worden toegepast:
 - als bodemverbeteraar;
 - als toeslagstof bij de compostering;
 - in de wegenbouw;
 - in de baksteenindustrie;
 - in bestaande smeltprocessen (cement, glas, steenwol).
- De fijnere en meer verontreinigde filterassen kunnen mogelijk zonder voorbewerking worden toegepast:
 - in de wegenbouw;
 - in de baksteenindustrie;
 - in bestaande smeltprocessen (cement, glas, steenwol).

- Voordat tot directe toepassing overgegaan kan worden dienen vragen nader te worden beantwoord omtrent:
 - het voldoen aan milieuhygiënische criteria (bodemverbeteraar, wegenbouw, smeltprocessen);
 - de bereidheid om de assen in het huidige proces in te passen (compostering, wegenbouw, baksteen, smeltprocessen).
- Mede gezien de relatief hoge huidige stortkosten (*f* 140,- tot *f* 200,- per ton) zijn alternatieve verwerkingsmogelijkheden economisch zeker interessant te noemen.
- Mocht toepassing zonder voorbereiding niet mogelijk blijken, kan voorbereiding door met name wassing of door droge of natte scheiding uitkomst bieden. Optimale procescondities dienen in dit geval nader te worden onderzocht.
- Aanbevolen wordt in eerste instantie de toepassing van bodem- en cycloonassen als grondverbeteraar en als toeslagstof in de compostering nader te onderzoeken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in het buitenland deze assen reeds als bodemverbeteraar worden ingezet.
- Om de verschillende verwerkingsmogelijkheden in een breder kader ten opzichte van elkaar te vergelijken wordt aanbevolen om een workshop te houden. Doelstelling van een dergelijke workshop kan zijn het formuleren van eventuele verdere stappen richting de verwerking van assen vrijkomend bij de energiewinning uit biomassa.

Nomenclatuur

c-vliegas	cycloon vliegas
d.s.	droge stof
EFA	electrofilter-vliegas
Gem.	gemiddelde waarde
GFA	bodemas
industrieel resthout	hout dat bestaat uit onbehandeld hout maar echter vervuild is met spaanplaat, meubelplaat, MDF, multiplex, triplex met of zonder lijmresten
L/S	liquid, solid verhouding bij kolomproef
Max.	Maximale waarde
Min.	Minimale waarde
n.a.	niet geanalyseerd
n.d.	niet detecteerbaar, moet beschouwd worden als de helft van de detectie grens
niet-vormgegeven resthout	materialen kleiner dan 50 cm ³ schone houtresten zoals snoeihout of hout dat vrijkomt bij de fabricage van produkten (meubelen, klompenmakerijen etc.)
Sdev.	standaard deviatie
vormgegeven	materialen groter dan 50 cm ³

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Nomenclatuur	4
1. Inleiding.....	7
2. Herkomst en fysische eigenschappen	8
2.1 Herkomst van de assen.....	8
2.2 Fysische eigenschappen	9
3. Samenstelling en uitlooggedrag.....	11
3.1 Samenstelling verbrandingsassen.....	11
3.1.1 Gegevens uit laboratorium experimenten.....	11
3.1.2 Gegevens uit praktijk experimenten	13
3.2 Uitlooggedrag verbrandingsassen	15
3.2.1 Gegevens uit de literatuur.....	15
3.2.2 Gegevens uit experimenten.....	16
4. Relevante wet- en regelgeving	18
5. Kostenaspecten	21
5.1 Ontwikkeling van de storttarieven	21
5.2 Storttarieven van asresten	22
6. Verwerkingsmogelijkheden.....	23
6.1 Nuttige toepassing zonder bewerking	23
6.1.1 Toepassing als bodemverbeteraar.....	23
6.1.2 Toepassing van bodemas en cycloonas als toeslagstof bij compostering	26
6.1.3 Toepassing van bodemas voor landophoging.....	27
6.2 Nuttige toepassing na opwerking	27
6.2.1 Droge en natte scheiding	28
6.2.2 Wassen	29
6.3 Verwerken en vervolgens nuttig toepassen van het produkt....	29
6.3.1 Koude immobilisatietechnieken	30
6.3.2 Sintertechnieken	31
6.3.3 Smelttechnieken.....	31
6.4 Verwerken en vervolgens storten van het produkt.....	32
7. Evaluatie	34
7.1 Kwaliteit van de assen.....	34
7.2 Kosten aspecten van huidige verwerking.....	34
7.3 Verwerkingsmogelijkheden	35

8.	Conclusies en aanbevelingen.....	40
9.	Referenties	42
10.	Verantwoording	44
Bijlage 1	Overzicht resultaten [12]	
Bijlage 2	Nadere gegevens [10]	
Bijlage 3	Beschrijving uitloog experimenten	
Bijlage 4	Algemeen overzicht van relevante wet- en regelgeving	
Bijlage 5	Basisgegevens met betrekking tot de berekening van normwaarden o-BsB en StB	
Bijlage 6	Samenstellingseisen ten aanzien van organische componenten	
Bijlage 7	Correctiefactoren voor vormgegeven bouwmaterialen voor het verschil tussen uitloging in laboratorium en in de praktijk	
Bijlage 8	Grenswaarden StB	

1. Inleiding

In Nederland wordt momenteel circa 150.000 ton resthout in industriële installaties verbrand. Het betreft met name de verbranding van schoon resthout en industrieel resthout. Het aantal installaties dat in Nederland met schoon resthout wordt gestookt ligt in de orde grootte van 1000 stuks. Het geïnstalleerd vermogen varieert tussen 0.1 en 5 MW_{th}.

Na verbranding van het resthout blijft het as achter, dat in de huidige situatie wordt gestort. De hoeveelheid gestort materiaal bedraagt 1,5-3 gew.% van het verbrande materiaal. Het storten van de asrest heeft de volgende nadelen:

- hoge storkosten;
- stortplaatsen accepteren de asrest in verband met de fijnheid van het materiaal doorgaans alleen in (plastic) verpakking;
- het storten doet afbreuk aan de doelmatigheidsdoelstelling zoals geformuleerd door het Ministerie van VROM.

Het potentieel voor energiewinning uit resthout en afvalhout is aanmerkelijk groter dan de huidige energiewinning uit deze stromen. In de Derde Energienota is de doelstelling opgenomen om in het jaar 2020 10% van de energie op te wekken uit duurzame bronnen. De hoeveelheid energie uit biomassa wordt hierbij geschat op 70 PJ/jaar, of 2,5% van het nederlandse energiegebruik. De potentieel te verwerken hoeveelheid assen uit biomassa kunnen op basis van deze gegevens worden geschat op 65.000 ton/jaar.

Het doel van deze studie is het verkrijgen van een globaal inzicht in de mogelijkheden om binnen de geldende milieuhygiënische criteria de asrest van resthoutverbranding nuttig toe te passen. Dit globale inzicht kan dienen als basis voor een workshop onder belanghebbenden, waarin eventuele verdere stappen richting de verwerking van assen geformuleerd kunnen worden.

In deze studie zijn als eerste, door middel van een literatuurstudie en laboratorium-experimenten, gegevens verzameld over de herkomst, samenstelling en het uitlooggedrag van assen afkomstig van de verbranding van resthout. De resultaten hiervan zijn gegeven in hoofdstuk 2 en 3. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens de relevante wet- en regelgeving met betrekking tot het verwerken en verwijderen van assen uitgewerkt.

De huidige kosten aspecten voor storten van de assen worden in hoofdstuk 5 kort beschreven. Op basis van de gegevens uit de voorgaande hoofdstukken, worden in hoofdstuk 6 de mogelijke toepassingen nader uitgewerkt. Hierbij is aandacht gegeven aan zowel milieuhygiënische aspecten als aan economische aspecten. In hoofdstuk 7 worden de resultaten geëvalueerd, waarna in hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen worden samengevat.

2. Herkomst en fysische eigenschappen

2.1 Herkomst van de assen

De hoeveelheid as die vrijkomt bij verbranding van hout is sterk afhankelijk van de soort brandstof. In veel gevallen worden waarden tussen de 1 en 5 % gegeven. Uit tabel 2.1 blijkt echter dat met name bij de verbranding van vervuild schors en vervuild afvalhout het asresidu kan oplopen tot ca. 15 à 20%.

Tabel 2.1 *Vorming van assen bij de verbranding van verschillende houtsoorten [8].*

Soort hout	As hoeveelheid [gew.%]
Schoon hout zonder schors	<1
Schone schors	3 - 4
Vervuilde schors	5 - 15
Schoon resthout	0,5 - 3
Vervuild resthout	1 - 3
Geïmpregneerd hout (organisch)	0,5 - 2
Geïmpregneerd hout (anorganisch)	2 - 5
Vervuild afvalhout	0,5 - 19

Bij de verbranding van resthout komen over het algemeen drie fracties vrij:

– *Bodemas (of bedas)*

Bodemas is de fractie die gevormd wordt in de verbrandingskamer en daar achterblijft. Door vervuiling van de brandstof met mineralen zoals zand, aarde en stenen, wordt slakvorming en asversintering bevorderd vanwege de lagere smeltpunten van de meegevoerde ongerechtigheden.

– *Cycloonas*

Dit as bestaat uit fijne, hoofdzakelijk anorganische, asdeeltjes die worden meegevoerd met de rookgasstroom en neerslaan in de secundaire verbrandingszone, in de ketel en in cyclonen achter de verbrandingskamer.

– *Filteras*

Filteras bestaat uit zeer fijne asdeeltjes die nog vrijkomen na de cycloon en neerslaan in het nageschakelde elektrofilter, doekfilter of in het condenswater. Bij kleine verbrandingseenheden waarbij geen tweede filterinstallatie is voorzien, komt deze asfractie in de atmosfeer terecht.

Tabel 2.2 toont een indicatie van de verdeling van de as naar bodemas, cycloonas en filteras. De verdeling naar de asfracties is bij de verbranding van schors en versnipperd hout ongeveer gelijk. Bij de verbranding van zaagsel is de asneerslag in de cycloon (cycloonas) het grootst. Aangezien de verbrandingskwaliteit invloed heeft op de asproductie en asneerslag gaat het hier om een indicatie.

Tabel 2.2 Percentage van de totale asfractie ten opzichte van de totaal gevormde hoeveelheid as (gew.%) [10].

Asfractie	Percentage van de totale hoeveelheid as [gew.%]		
	Schors	Versnipperd hout	Zaagsel
Bodemas	75,0 - 85,0	70,0 - 90,0	20,0 - 30,0
Cycloonas	15,0 - 25,0	10,0 - 30,0	55,0 - 65,0
Filteras	1,0 - 4,0	3,0 - 6,0	10,0 - 15,0

2.2 Fysische eigenschappen

Voor hergebruikdoeleinden is het van belang om over informatie te beschikken aangaande de deeltjesgrootte en deeltjesdichtheid van de verschillende asfracties.

Tabel 2.3 toont gegevens over de deeltjesgrootte, de gemiddelde deeltjesdichtheid en de bulkdichtheid van houtassen [10].

De vermelde waarden zijn afhankelijk van het type brandstof en verbrandingsinstallatie. Verbranding van bijvoorbeeld zaagsel in een stookinstallatie voor schors kan resulteren in andere waarden. In Nederland heeft men momenteel vooral te maken met de verbranding van zaagsel, versnipperd hout, multiplex en triplex in onderschroefstokers [6].

Tabel 2.3 Deeltjesgrootte en deeltjesdichtheid van as bij de verbranding van zaagsel en versnipperd hout.

Type brandstof: Asfractie	Deeltjesgrootte [µm]	Bulkdichtheid [kg/m³]	Deeltjesdichtheid [kg/m³]
Zaagsel:			
Bodemas	10 - 30.000	662	3.021
Cycloon-vliegas	2 - 100	283	2.575
Filteras	0,2 - 5	280	2.420
Versnipperd hout:			
Bodemas	15 - 15.000	960	2.866
Cycloon-vliegas	2 - 160	430	2.682
Filteras	-	-	-

De deeltjesgrootte van een specifieke asfractie en de totale asproduktie wordt bepaald door de soort, fijnheid, homogeniteit en verontreinigingsgraad van de te verbranden brandstof.

De deeltjesdichtheid van een specifieke asfractie is afhankelijk van de mineralogische samenstelling.

3. Samenstelling en uitlooggedrag

Verbrandingsas van hout bestaat uit onverbrande koolstof en de mineralogische bestanddelen van hout. Deze bestanddelen variëren sterk en zijn met name afhankelijk van de uitbrand van het verbrandingsproces en de verontreiniging van de brandstof.

3.1 Samenstelling verbrandingsassen

3.1.1 Gegevens uit laboratorium experimenten

Door Etiégni en Campbell [8] zijn in 1991 bij verschillende temperaturen verbrandingsexperimenten uitgevoerd met zaagsel (2.0 mm). Voor dit doel werd gebruik gemaakt van een elektrische oven waarin de monsters bij de verschillende temperaturen werden verbrand gedurende 6-9 uur of totdat het gewicht van de gevormde as constant bleef. De chemische samenstelling van het veraste hout als functie van de verassingstemperatuur is weergegeven in tabel 3.1. Uit deze experimenten blijkt dat de chemische samenstelling van de as verandert als functie van de temperatuur:

- het gehalte van de meeste metalen neemt toe met de temperatuur;
- de concentratie van K, Na en Zn neemt af met toenemende temperatuur;
- het carbonaat gehalte neemt af met toenemende temperatuur.

Tabel 3.1 Chemische samenstelling van verbrandingsas van hout als functie van de temperatuur.

Element	Temperatuur [°C]					
	538	649	760	871	982	1093
Al [µg/g]	0415	12825	13115	10115	13415	11015
Sb [µg/g]	264	142	65	91	94	208
As [µg/g]	<20	<20	<20	54	74	59
Ba [µg/g]	1301	1490	1640	1463	1601	1530
Be [µg/g]	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Bi [µg/g]	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Cd [µg/g]	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Ca [µg/g]	187480	217480	241180	216080	238980	264580
Ce [µg/g]	<40	<40	<40	<40	<40	<40
Cr [µg/g]	52	37	49	20	39	622
Co [µg/g]	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Cu [µg/g]	345	620	588	380	437	422
Fe [µg/g]	8796	11951	9981	8219	22411	16781
La [µg/g]	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb [µg/g]	51	75	200	39	43	685
Li [µg/g]	35	55	70	10	30	10
Mg [µg/g]	59730	68060	76970	69170	80470	89100
Mo [µg/g]	18	21	26	39	56	192
Ni [µg/g]	59	64	151	63	497	8979
P [µg/g]	16950	19060	21720	19370	21030	25460
K [µg/g]	110500	86590	47720	79860	51970	4026
Se [µg/g]	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Si [µg/g]	33867	39777	42647	31997	46477	35267
Ti [µg/g]	780	1060	1012	777	957	796
V [µg/g]	13	18	23	17	26	234
Yb [µg/g]	3	3	3	2	5	3
Zn [µg/g]	2678	2139	1001	177	26	55
Carbonate [%]	62,8	60,0	58,4	54,9	53,3	51,4

De produktie van as neemt af met toenemende temperatuur: bij een temperatuur van circa 1093 °C bedraagt de hoeveelheid as circa 50% van de hoeveelheid die gevonden is bij 538 °C. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door een betere uitbrand van de koolstof bij hogere temperaturen.

Verder blijkt dat calcium, kalium, magnesium, fosfor en ijzer tot de hoofdbestanddelen van houtassen behoren.

In [10] wordt melding gemaakt van experimenten die zijn uitgevoerd met assen uit de verbranding van triplex, multiplex en resthout waarbij gebruik is gemaakt van een oven die gedurende lange tijd gestookt is op een temperatuur van 500 °C om een volledige verbranding te verkrijgen. Deze methode had tot doel om de verdamping van de vluchtige metalen te minimaliseren (niet vergelijkbaar met hetgeen in de praktijk voorkomt). De analyseresultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Mineralogische samenstelling van verbrandingsassen [10].

Element	Gehalte	Brandstof		
		Triplex en multiplex	Spaanplaat	Resthout
Ca	%	53,6	26	14,6
Fe	%	1,03	3,25	6,54
K	%	0,92	8,56	6
Mg	%	2,8	9,2	2,24
Mn	%	-	2,11	-
Na	%	-	-	-
P	%	0,6	6,2	2,2
S	%	0,48	4,39	0,1
Si	%	9,2	10,34	12,37
Al	%	1,93	2,07	15,03
Ti	%	0,16	0,32	28

3.1.2 Gegevens uit praktijk experimenten

Door Pohlandt [9] zijn verbrandingsexperimenten met schoon- en industrieel resthout uitgevoerd in een verbrandingstoestel met getrapte verbranding met een capaciteit van 35 kWth. De resultaten van deze praktijkexperimenten zijn in tabel 3.3 weergegeven. Uit de praktijkexperimenten blijkt dat, zoals ook uit de laboratoriumexperimenten is gebleken, calcium, kalium, magnesium, fosfor en ijzer tot de hoofdcomponenten van houtassen behoren.

In tabel 3.4 is de concentratie van Cl, F en zware metalen weergegeven als functie van de verschillende asfracties (bodemas, cycloonas, filteras).

Tabel 3.3 Chemische samenstelling van houtas afkomstig uit de verbranding van schoon, industrieel en vervuild resthout.

Element	Gehalte	Schoon resthout	Industrieel resthout (triplex, multiplex etc.)	Industrieel behandeld hout
Ca	%	8,44 - 41,7	0,9 - 34,4	1,4 - 35,8
Fe	%	0,48 - 2,35	0,29 - 5,38	n.b.
K	%	2,86 - 10,9	0,17 - 17,0	0,97 - 10,8
Mg	%	1,00 - 3,45	0,25 - 8,81	0,19 - 9,17
Mn	%	0,16 - 2,62	0,12 - 2,39	0,06 - 3,64
Na	%	0,06 - 0,97	0,08 - 7,67	0,03 - 4,12
P	%	0,67 - 3,52	0,11 - 1,44	0,1 - 2,48
Cl	µg/g	33 - 4.510	<10 - 138.000	48 - 53.980
F	µg/g	1 - 530	<2 - 564	1.600 - 41.800
As	µg/g	<1 - 35	<2 - 60	370 - 23.400
Cd	µg/g	<1 - 20	<5 - 17	n.b.
Co	µg/g	6 - 27	<10 - 115	n.b.
Cr	µg/g	<10 - 592	16 - 810	4.400 - 196.000
Cu	µg/g	99 - 498	43 - 1.450	4.000 - 156.000
Ni	µg/g	20 - 250	18 - 235	n.b.
Pb	µg/g	9 - 450	49 - 7.300	n.b.
Zn	µg/g	54 - 1.900	16 - 6.200	100 - 6.550

Tabel 3.4 Concentratie Cl, F en zware metalen in verbrandingsas uit industrieel resthout als functie van de ontstane asfractie [mg/kg droog as].

Element		Asfractie		
		Bodemas	Cycloonas	Filteras
Cl	[mg/kg]	<10 - 113	<10 - 14.900	38 - 138.000
F	[mg/kg]	<2 - 9	7 - 288	25 - 564
As	[mg/kg]	<2	<2 - 47	<2 - 60
Cd	[mg/kg]	n.b.	<5	<5 - 17
Co	[mg/kg]	n.b.	<10 - 115	<10 - 87
Cr	[mg/kg]	26 - 38	16 - 795	17 - 810
Cu	[mg/kg]	146 - 1.280	43 - 605	55 - 1.450
Ni	[mg/kg]	n.b.	18 - 235	27 - 235
Pb	[mg/kg]	n.b.	49 - 1.280	134 - 7.300
Zn	[mg/kg]	16 - 133	91 - 1.810	109 - 6.200

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de concentratie van de gemeten componenten stijgt naarmate men verder in het verbrandingstraject vordert. Een verklaring hiervoor is dat gedurende het verbrandingsproces verdamping van de metalen plaats vindt waarna zij bij dalende rookgastemperaturen weer condenseren, met name op de oppervlakken van de kleine vliegaseeltjes.

Door Obernberger [12] is uitgebreid onderzoek uitgevoerd aan houtassen afkomstig van een installatie met een vermogen van 7 MW_{th}. De analyseresultaten zijn weerge-

geven in bijlage 1. Tabel 1 uit bijlage 1 geeft de karakteristieke kentallen weer van de vrijgekomen asfracties in bodemas en cycloonas. Tabel 2 van bijlage 1 toont de elementverdeling in de totaal vrijgekomen as en in de afzonderlijke (bodemas, cycloonas) fracties. Calcium, magnesium, kalium, fosfor en zink vertonen de hoogste concentraties in zowel het grovere bodemas als in het cycloonas. In tabel 3 van bijlage 1 is het gehalte aan zware metalen in de afzonderlijke asfracties gegeven. Door Obernberger wordt geconcludeerd dat met name de elementen Cd en Zn de in Oostenrijk gehanteerde grenswaarden overschrijden. In moderne biomassa gestookte installaties is het mogelijk om 30 tot 60 % van het totaal aan Cd, en 25 tot 45 % van het totaal aan Zn in 5 tot 10 % van de totale geproduceerde houtas, namelijk de filteras, te concentreren.

Uit de studie wordt voorts geconcludeerd dat de meest milieuschadelijke metalen (Pb, Cd en Zn) terecht komen in de vliegassen vanwege het feit dat deze elementen relatief vluchtig zijn. Filteras heeft het hoogste adsorptie potentieel voor de genoemde elementen. De minder vluchtige elementen (Co, Ni, Cr en V) komen terecht in de bodemas en zijn van milieutechnisch oogpunt minder relevant vanwege overschrijding van de in Oostenrijk gehanteerde grenswaarden (Osterr. Normungsinstitut, 1990).

De concentraties van Cu, Mo en As zijn eveneens lager dan de aldaar gestelde grenswaarden.

3.2 Uitlooggedrag verbrandingsassen

3.2.1 Gegevens uit de literatuur

In een Amerikaans onderzoek [10, hoofdstuk 7] zijn een reeks van uitloogexperimenten uitgevoerd met de assen uit de verbranding van hout dat afkomstig is uit scheidingsinstallaties.

Van een tweetal scheidingsinstallaties waarbij het houtaanbod uit zowel schoon als vervuild afvalhout bestond en na scheiding alleen schoon hout overbleef, zijn met de verbrandingsassen uitloogexperimenten uitgevoerd. De samenstelling van het hout en de mineralogische samenstelling van de as is weergegeven in bijlage 2. De gebruikte uitloogprocedure is gebaseerd op de EPA Test 'Toxicity Characteristic Leachate Procedure' (TCLP, method 1311).

De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in tabel 3.5. Het percentage as varieerde tussen de 3 en 8.6 gew.% en is, vanwege de verontreiniging met zand, hoger dan bij verbranding van alleen schoon hout.

Tabel 3.5 *Uitlooggedrag van zware metalen volgens TCLP test, assen uit laboratorium experimenten (twee monsters per experiment).*

Element	Scheidingsinstallatie 1				Scheidingsinstallatie 2			
	Gem.	Max.	Detectie limit	Regulatory limit	Gem.	Max.	Detectie limit	Regulatory limit
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
As	n.d.	n.d.	0,5	5	n.d.	n.d.	0,5	5
Ba	n.d.	n.d.	1	100	n.d.	n.d.	1	100
Cd	n.d.	n.d.	0,2	1	n.d.	n.d.	0,2	1
Cr	1,15	1,2	0,2	5	9,1	12	0,2	5
Pb	n.d.	n.d.	2	5	n.d.	n.d.	2	5
Se	n.d.	n.d.	0,5	1	n.d.	n.d.	0,5	1
Ag	n.d.	n.d.	0,1	5	n.d.	n.d.	0,1	5
Hg	n.d.	n.d.	0,1	0,2	n.d.	n.d.	0,1	0,2

Het blijkt dat volgens de Amerikaanse regelgeving alleen Cr als kritische parameter naar voren komt.

De fosforoplosbaarheid van as is weergegeven in tabel 3.6.

Tabel 3.6 *Vergelijk tussen fosforgehalte en fosforoplosbaarheid in verdund zoutzuur.*

Type as	Fosforgehalte: Totaal [mg/kg]	Fosforgehalte: Oplosbaar aandeel	
		[mg/kg]	[% van totaal]
Bedas	1.700	617	36,3
Bedas	2.000	357	17,9
Bedas	1.400	654	46,7
Bedas	3.400	438	12,9
Cycloonas	1.900	n.a.	-
Cycloonas	7.600	444	5,8
cycloonas	4.500	12	0,3

Het stikstofgehalte in assen is laag omdat de meeste stikstof wordt geëmitteerd via de rookgassen.

3.2.2 Gegevens uit experimenten

Voor het bepalen van de mogelijkheden voor verwerking van materialen, is in Nederland voorgeschreven dat onder andere het uitlooggedrag bekend dient te zijn. Het uitlooggedrag van niet-vormgegeven materialen moet bepaald worden met de zogenaamde kolomproef.

In de literatuur zijn uitlooggegevens van assen uit biomassa gegeven (paragraaf 3.2.1). Echter, deze zijn bepaald met behulp van andere uitloogproeven dan de

kolomproef. In het verleden is gebleken dat het vertalen van uitlooggegevens die niet zijn bepaald met de kolomproef naar uitlooggegevens van een kolomproef, vaak niet betrouwbaar is.

Om goed te kunnen bepalen welke verwijderingsmogelijkheden er zijn, is er daarom voor gekozen het uitlooggedrag van assen experimenteel te bepalen met behulp van de kolomproef. De wijze waarop de resultaten van de kolomproef getoetst moeten worden, is in bijlage 3 weergegeven.

Bij de kolomproeven is een combinatie van bodemas en cycloonas, uit schoon afvalhout afkomstig uit een industriële verbrandingsinstallatie, ingezet.

De resultaten van de experimenten zijn tezamen met de berekeningen en de toetsing aan de betreffende grenswaarden weergegeven in bijlage 3. De resultaten worden in hoofdstuk 6 nader geëvalueerd.

4. Relevante wet- en regelgeving

Bij de ontwikkeling van het Nederlandse milieubeleid speelt onder andere de kwaliteit van het oppervlaktewater, de bodem en het grondwater een belangrijke rol. Uit de kwaliteitscriteria worden de eisen afgeleid waaraan rest- en afvalstoffen moeten voldoen als deze, al dan niet na opwerking, nuttig toegepast of gestort worden. Om inzicht te verkrijgen in de criteria waaraan de asrest dient te voldoen om voor nuttige toepassing in aanmerking te komen en welke criteria opgesteld zijn voor het storten van afvalstoffen, is de betreffende regelgeving toegelicht in bijlage 4.

In tabel 4.1 wordt een kort algemeen overzicht gegeven van de aan het verwijderen van afvalstoffen verbonden regelgeving. Tabel 4.1 is gebaseerd op de uitwerking van de regelgeving zoals deze in bijlage 4 is gegeven.

Tabel 4.1 Kort algemeen overzicht van regelgeving ten aanzien van het verwijderen van afvalstoffen.

Wijze van verwerken van afvalstof	Toetsingskader
Nuttig toepassen in bodem	Streefwaarden bodemkwaliteit uit Milbowa
Opwerken van de afvalstof door bijvoorbeeld reinigen, scheiden	Toetsingskader afhankelijk van de uiteindelijke toepassing van reststromen
Nuttig toepassen, niet als bodem	Bouwstoffen besluit
(Verwerken en) storten	Grenswaardennotitie, stortverbod, BAGA

In dit hoofdstuk zal verder specifiek in gegaan worden op de regelgeving die voor het verwijderen van asresten van biomassa van belang is. Hierbij zullen dezelfde aspecten aan de orde komen als in bijlage 4.

Prioriteitsvolgorde verwijderingsmethoden

Op het ogenblik worden de assen gestort op een 'gewone' IBC-stort. Storten is de minst wenselijke wijze van afvalverwijdering en dientengevolge zal iedere alternatieve wijze van verwijderen milieuhygiënisch de voorkeur verdienen.

Nuttige toepassing zonder bewerking

Voor het op de bodem brengen van assen als meststof is een ontheffing vereist van het Rikilt vanwege de Meststoffenwet 1947. Hierbij wordt met name gelet op de landbouwkundige aspecten van de assen. Op basis van de Meststoffenwet 1986 zijn voor dergelijke assen nog geen kwaliteitseisen gesteld¹⁾. Wel zal bij het gebruik op de bodem voldaan moeten worden aan een algemeen artikel van de Wet Bodembescherming omtrent de 'zorgplicht' voor de bodem. Hiervoor bestaat op dit ogenblik geen landelijk milieuhygiënisch toetsingskader. Wel kan gesteld worden dat

¹⁾ Op dit ogenblik is dit alleen uitgewerkt in het BOOM voor zuiveringsslib, compost en zwarte grond met betrekking tot kwaliteitseisen voor zware metalen. In BOOM zijn assen uit biomassa dus niet uitgewerkt.

bodemverbeteraars zonder bezwaar op de bodem gebracht kunnen worden wanneer ze voldoen aan de streefwaarden bodemkwaliteit uit 'Beleidsstandpunt over de Notitie Milbowa', d.d. 5-2-1992 [2] en de 'derde Nota Waterhuishouding'. In de drie Noordelijke provincies zijn deze streefwaarden als toetsingskader opgenomen in de Provinciale milieuverordening met betrekking tot het verlenen van een ontheffing voor het gebruik van organische meststoffen op de bodem.

Opwerken van de asresten door middel van reinigen, scheiden en dergelijke

De assen van biomassa bevatten dusdanige lage concentraties aan verontreinigingen dat het niet zinvol is deze (economisch en milieuhygiënisch gezien) terug te winnen.

Een andere veel gebruikte wijze van opwerken van afvalstromen is het scheiden in minder en meer verontreinigende fracties. Tijdens het verbrandingsproces komt de as in drie fracties vrij: filteras, cycloonas en bodemas. De fractie met de kleinste deeltjes (filteras) bevat relatief de grootste hoeveelheid verontreinigingen. De mogelijkheid om deze fracties samen te verwerken of de noodzaak fracties apart te houden, hangt af van de aan de beoogde toepassing gestelde eisen. Dit geldt eveneens voor de wenselijkheid deze fracties op te werken (bijvoorbeeld wassen) voordat ze worden toegepast of gestort.

Er is geen milieuhygiënisch wettelijk kader voor het opwerken van afval- en reststoffen. Het wettelijk kader heeft betrekking op de uiteindelijke bestemming van de overgebleven materiaalstromen.

Verwerken en vervolgens nuttig toepassen van het produkt

Het verwerken van de asresten tot een nuttig toepasbaar produkt lijkt mogelijk. We kunnen daarbij bijvoorbeeld denken aan koude immobilisatietechnieken. Er ontstaat in deze gevallen vaak een anorganisch materiaal dat bijvoorbeeld als produkt in de bouw kan worden toegepast. De produkten zullen getoetst dienen te worden aan het Bouwstoffenbesluit zoals in bijlage 4 is beschreven. In dit besluit worden uitlooeigisen gesteld ten aanzien van anorganische componenten en samenstellingseisen ten aanzien van organische componenten. Omdat het hier gaat om asresten van een verbrandingsproces worden weinig organische verontreinigingen verwacht en dientengevolge zal vooral het uitlooggedrag van belang zijn en niet zozeer de samenstellingseisen.

Produkten die geproduceerd worden uit de assen worden in het Bouwstoffenbesluit ingedeeld in categorie 1 of categorie 2 toepassing:

- categorie 1 bouwstoffen: zowel bij gebruik op de 'droge' bodem als op de waterbodem/ in oppervlaktewater is als enige eis gesteld dat het materiaal terugneembaar moet worden gebruikt. Gedurende het gebruik moet er op worden toegezien dat de bouwstoffen zich niet met de bodem vermengen;
- categorie 2 bouwstoffen: naast eisen gesteld voor categorie 1 bouwstoffen, is gesteld dat grotere hoeveelheden bijeen moeten worden gebruikt (algemeen: minimaal 10.000 ton, met uitzondering van de wegenbouw: minimaal 1.000 ton) en dat het materiaal alleen boven het grondwater kan worden toegepast met een bovenafdicthting.

Bij categorie 1 toepassingen zijn dus geen minimale hoeveelheden voorgeschreven. Dit geldt echter wel voor categorie 2 toepassingen. Gezien de in de huidige situatie geringe hoeveelheid assen die per jaar in Nederland vrijkomen (circa 2.500 ton per jaar) zal gestreefd moeten worden naar categorie 1 toepassingen of categorie 2 toepassingen in de wegenbouw. In de nabije toekomst wordt een sterke toename van de energiewinning uit biomassa voorzien, hetgeen betekent dat ook categorie 2 toepassingen buiten de wegenbouw relevant worden.

(Verwerken en vervolgens) storten van het produkt

De asresten worden momenteel gestort onder de minst stringente condities (alleen IBC-criteria). Het opwerken en vervolgens storten lijkt daarom geen alternatief tenzij een stortverbod van onbehandelde asresten wordt ingevoerd¹⁾ of als de assen niet (meer) voldoen aan de gestelde eisen voor een IBC stortplaats.

¹⁾ In het recent uitgekomen stortverbod zijn assen uit biomassa niet opgenomen.

5. Kostenaspecten

Naast de in hoofdstuk 4 genoemde criteria met betrekking tot de regelgeving zullen eveneens economische criteria van belang zijn voor het implementeren van alternatieve verwijderingsmethoden. Aangezien de asrest in de huidige situatie wordt gestort zal deze situatie als referentie worden gehanteerd. Eerst zal een algemeen overzicht gegeven worden van de stortkosten en de ontwikkeling van de stortkosten voor niet-gevaarlijk afval. Daarna zullen de stortkosten van de asresten besproken worden.

5.1 Ontwikkeling van de storttarieven

De storttarieven in 1992 en 1993 voor niet-gevaarlijk afval worden door de provincie bepaald en zijn daardoor per regio verschillend (zie artikel 8.14, 2^e lid onder d. en 3^e lid van de Wet Milieubeheer). De tarieven liggen tussen de volgende grenzen [15]:

Tabel 5.1 Storttarieven voor niet-gevaarlijk afval.

Afvalcategorie	Gewogen gemiddelde		Minimaal - maximaal	
	1992 [f/ton]	1993 [f/ton]	1992 [f/ton]	1993 [f/ton]
(Grof)huishoudelijk afval	74	85	17-247	19-247
Bedrijfsafval	67	93	11-180	17-200
Bouw- en sloopafval	63	91	10-147	8-250
Verontreinigde grond		104		4-250

Uit deze tabel is af te leiden dat de storttarieven gestegen zijn. Uiteindelijk is het streven dat de storttarieven opgetrokken worden tot de tarieven voor verbranding (circa f 230,- /ton). De storttarieven zijn/zullen naar verwachting verder stijgen omdat:

- per 1 januari 1995 voor afval dat gestort wordt een belasting is ingesteld van f 30,-/ton¹⁾;
- het conserveren van oude stortplaatsen betaald zal moeten worden uit heffingen van het afval dat in de toekomst gestort wordt.

De sterke stijging van de stortkosten wordt al enige tijd algemeen verwacht, maar blijkt in de praktijk (nog) niet door te zetten. Onduidelijk is wanneer en in welke mate de tariefstijging zal plaatsvinden.

¹⁾ Niet-reinigbare grond (met SCG verklaring), baggerspecie, GFT, papierslib en storten op eigen terrein zijn vrijgesteld van f 30,-/ton belasting.

5.2 Storttarieven van asresten

De storttarieven van de asresten bepalen voor een groot gedeelte de financiële ruimte voor alternatieve verwerking. Om inzicht in deze maximale financiële ruimte te krijgen is in deze paragraaf een schatting gemaakt van de huidige storkosten van asresten.

Asresten van verbranding van afvalhout is een zeer fijn materiaal waardoor het gemakkelijk kan verstuiven. Om verstuing van het materiaal te voorkomen, worden twee maatregelen getroffen alvorens de assen naar een stortplaats worden afgevoerd:

- de asrest wordt bevochtigd, en vervolgens
- worden de assen verpakt in 'big-bags'.

Vooraf het bevochtigen van de asrest verhoogt de storkosten, immers door het toevoegen van water wordt ongeveer een verdubbeling verkregen van de massa die uiteindelijk gestort moet worden.

Het storttarief van de big-bags met bevochtigde asrest bedraagt momenteel circa f 70,- tot 100,- per ton. Uitgaande van een verdubbeling van de massa door het toevoegen van water, zijn de storkosten ten opzichte van de hoeveelheid assen die verwijderd worden, het tweevoudige: circa f 140,- tot 200,-/ton.

6. Verwerkingsmogelijkheden

In principe zijn er voor verbrandingsassen uit biomassa, naast direct storten, vier verschillende wijzen van verwijdering mogelijk:

- nuttige toepassing zonder bewerking van de assen;
- nuttige toepassing na opwerken van de assen;
- nuttige toepassing na verwerken van de assen;
- storten van de assen na verwerking.

In dit rapport is onderscheid gemaakt tussen op- en verwerkingstechnieken:

- bij opwerkingstechnieken verandert de fysische structuur van de assen niet. De assen kunnen na opwerking eventueel ingezet worden als bodemverbeteraar, compostverbeteraar of voor landophoging. De behandelde assen zullen dan getoetst moeten worden zoals in paragraaf 6.1 is aangegeven.
- bij verwerkingstechnieken verandert de fysische structuur wel. De wet- en regelgeving die betrokken moet worden bij de evaluatie is afhankelijk van de toepassing van het uiteindelijke produkt.

Hieronder is de haalbaarheid van deze vier mogelijkheden besproken. Daarbij is gekeken naar zowel milieuhygiënische als economische aspecten.

6.1 Nuttige toepassing zonder bewerking

In de literatuur wordt een aantal mogelijkheden genoemd voor het nuttig toepassen van assen uit biomassa, zonder dat de assen ingrijpend worden veranderd [12]:

- toepassing van bodemas en cycloonas in de land- en tuinbouw als bodemverbeteraar;
- toepassing van bodemas en cycloonas als toeslagstof bij compostering;
- toepassing van bodemas voor landophoging.

6.1.1 Toepassing als bodemverbeteraar

Voor het op de bodem brengen van assen als meststof is een ontheffing vereist van het Rijk vanwege de Meststoffenwet 1947. Hierbij wordt met name gelet op de landbouwkundige aspecten van de reststof. Gezien de hoge concentraties aan calcium, ijzer, magnesium, fosfor en kalium, zijn de assen landbouwkundig gezien aantrekkelijk.

Er zijn voor de assen nog geen kwaliteitseisen gesteld als deze als bodemverbeteraar worden in gezet (toegelicht in hoofdstuk 4 en bijlage 4). Wel is algemeen gesteld dat bij het gebruik van stoffen op de bodem moet worden voldaan aan een artikel van de Wet Bodembescherming omtrent de ‘zorgplicht’ voor de bodem. Hiervoor bestaat op dit ogenblik geen landelijk milieuhygiënisch toetsingskader. Wel kan gesteld worden

dat bodemverbeteraars zonder bezwaar op de bodem gebracht kunnen worden wanneer ze voldoen aan de streefwaarden bodemkwaliteit uit 'Beleidsstandpunt over de Notitie Milbowa', d.d. 5-2-1992 [2]. In de drie Noordelijke provincies zijn deze streefwaarden als toetsingskader opgenomen in de Provinciale milieuverordening met betrekking tot het verlenen van een ontheffing voor het gebruik van organische meststoffen op de bodem.

In tabel 6.1 wordt een vergelijking gemaakt tussen de Streefwaarden bodemkwaliteit en verschillende samenstellingsanalyses uit de literatuur.

Tabel 6.1 Vergelijk Bodemkwaliteit Milbowa met betrekking tot anorganische componenten en samenstelling van assen.

Element	Grenswaarden Milbowa [mg/kg]	Lab experiment [] T = 538 °C [mg/kg]	Praktijk experiment schoon resthout [9] [mg/kg]	Praktijk experiment ind. resthout [9] [mg/kg]
As	29	<20	<1 - 35	370 - 23.400
Ba	200	1.301	n.a.	n.a.
Cd	0,8	<2	<1 - 20	n.a.
Cr	100	52	<10 - 592	4.400 - 196.000
Co	20	<3	6 - 27	n.a.
Cu	36	345	99 - 498	4.000 - 145.000
Hg	0,3	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	85	51	9 - 450	n.a.
Mo	10	18	n.a.	n.a.
Ni	35	59	20 - 250	n.a.
Sn	20	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	140	2.678	54 - 1.900	100 - 6.550
Br	20	n.a.	n.a.	n.a.
Cl	200	n.a.	33 - 4.510	48 - 53.980
CN vrij	1	n.a.	n.a.	n.a.
CN complex	5	n.a.	n.a.	n.a.
F	175 + 13Lu	n.a.	1 - 530	1.600 - 41.800
S totaal	2	n.a.	n.a.	n.a.

getal = waarde **onder** de grenswaarde van Bodemkwaliteit Milbowa

getal = waarde **boven** de grenswaarde van Bodemkwaliteit Milbowa

Tabel 6.1 *Vergelijk Bodemkwaliteit Milbowa met betrekking tot anorganische componenten en samenstelling van assen (Vervolg).*

Element	Grenswaarden Milbowa	Mengsel bodemas, cycloonas en filteras [12]	Mengsel bodemas en cycloonas [12]	Bodemas [12]	Cycloona s [12]	Filteras [12]
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
As	29	5	5	4	7	13
Ba	200	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cd	0,8	18	10	2	30	121
Cr	100	257	255	290	178	283
Co	20	14	14	15	13	12
Cu	36	237	213	228	181	556
Hg	0,3	0,38	0,03	0	0,1	5
Pb	85	65	32	12	79	510
Mo	10	3	3	3	3	6
Ni	35	46	44	42	51	65
Sn	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	140	2.094	1.538	753	3.320	9.466
Br	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cl	200	n.a.	n.a.	423	8.505	15.984
CN vrij	1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
CN complex	5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
F	175 + 13Lu	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
S totaal	2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

getal = waarde **onder** de grenswaarde van Bodemkwaliteit Milbowa

getal = waarde **boven** de grenswaarde van Bodemkwaliteit Milbowa

Als we kijken naar de gegevens uit tabel 6.1 zien we dat de assen uit het laboratorium experiment en de assen van industrieel behandeld hout niet zonder meer kunnen worden toegepast als bodemverbeteraar. Assen uit schoon resthout tonen een sterke spreiding van hoeveelheden aan verontreinigingen. Indien hierbij de ondergrens aan concentraties genomen wordt, dan blijkt dat deze aan Milbowa voldoen met uitzondering van koper.

Tabel 6.1 laat verder zien dat de filteras de hoogste concentraties aan verontreinigingen bevat. Het mengen van de drie verschillende assen die vrijkomen is daarom niet voor de hand liggend. Het gecombineerd verwerken van cycloonas en bodemas lijkt aantrekkelijk, hoewel er een sterke overschrijding te zien is van cadmium, chroom, koper en zink (en chloor).

Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat alleen nader onderzoek naar de inzet van assen uit schoon resthout als bodemverbeteraar zinvol is. Bij een dergelijk onderzoek zal scherp gelet moeten worden op de spreiding van de hoeveelheden aan verontreinigingen. De bodemas en de cycloonas zullen eerder aan de gestelde eisen voldoen dan de filteras¹⁾.

Economisch gezien is het gebruik van de assen als bodemverbeteraar aantrekkelijk: stortkosten (f 140,- tot f 200,- /ton as) en het gebruik van een andere bodemverbeteraar worden uitgespaard.

6.1.2 Toepassing van bodemas en cycloonas als toeslagstof bij compostering

Toepassing als toeslagstof in compost kan het zuurstofgehalte in het compost gunstig beïnvloeden. Het compost wordt droger en krijgt tevens een korrelige structuur. De compost zal vervolgens in de bodem gebracht worden als meststof. De compost met assen zal daarom getoetst moeten worden aan de Grenswaarden Bodemkwaliteit. Hiertoe dienen samenstellingsgegevens van compost met assen als toevoeging bekend te zijn. De samenstelling van compost is echter zeer divers en zal daarom per situatie onderzocht moeten worden.

Wel kan gesteld worden dat het gebruik van relatief kleine hoeveelheden assen ten opzichte van de hoeveelheid compost *waarschijnlijk* mogelijk zal zijn; de concentratie aan verontreinigingen in de assen zullen immers door menging met compost verkleind worden²⁾.

Uitgaande van de meest kritische component Cu (zie tabel 6.1) en een Cu-concentratie van de compost van 10 mg/kg, kan worden berekend dat er circa 10 % bodemas aan compost mag worden toegevoegd voordat de grenswaarden uit Milbowa worden overschreden. De overige elementen zullen op dezelfde wijze getoetst moeten worden.

Economisch gezien zal ook deze toepassing aantrekkelijk zijn omdat de stortkosten uitgespaard worden en de compostering wordt verbeterd.

¹⁾ In het buitenland worden (gemalen) bodemmassen en cycloon-vliegassen al toegepast als bodemverbeteraar [12].

²⁾ Verdunnen van afvalstoffen met als doel het verlagen van de concentraties aan verontreinigingen is niet toegestaan. Het toevoegen van assen aan compost behelst echter een functioneel mengen van twee stoffen.

6.1.3 Toepassing van bodemas voor landophoging

Indien een materiaal voor landophoging ingezet wordt, zal het getoetst moeten worden aan het Bouwstoffenbesluit (zie bijlage 4)¹⁾. Voor het toetsen van de assen aan het Bouwstoffenbesluit is in het kader van deze studie het uitlooggedrag experimenteel bepaald. Hiervoor is de kolomproef uitgevoerd tot $L/S=10$ aan een combinatie van bodemas en cycloonas uit schoon resthout. De analyse resultaten van de kolomproef zijn uitgewerkt volgens de berekeningswijze van het Bouwstoffenbesluit. Bij deze berekening kan de hoogte van het werk worden gevarieerd. De minimale hoogte die wordt toegestaan in het Bouwstoffenbesluit is hier bij de berekeningen opgevoerd (minimale hoogte = 0.2 m). Immers, hoe kleiner de hoogte van een werk, hoe minder immissie verwacht wordt en dus hoe groter de kans dat nuttige toepassing toegestaan wordt.

Uit bijlage 3, tabel 2 blijkt dat er zes elementen zijn die de grenswaarde voor nuttige toepassing overschrijden: chroom, molybdeen, chloor, fluor, broom en sulfaat.

Als we kijken naar categorie 2 toepassingen²⁾, zien we dat alleen de immissie van Br sterk wordt overschreden. De overige overschrijdingen zijn slechts marginaal.

Bij toetsing aan categorie 1 toepassingen, zijn de overschrijdingen duidelijk groter.

De hier geteste combinatie van bodemas en cycloonas uit schoon resthout kan dus niet nuttig worden toegepast zonder dat deze een bewerking heeft ondergaan. Naar verwachting zal de inzet van alleen de schonere bodemas uit schoon resthout een beter beeld geven. In het buitenland worden de bodemassen wel al als ophoogmateriaal ingezet [12].

6.2 Nuttige toepassing na opwerking

In paragraaf 6.1 is aangegeven dat het nuttig toepassen van assen zonder dat deze een bewerking ondergaan, kritisch zal zijn. In deze paragraaf wordt gekeken naar opwerkingstechnieken.

Twee opwerkingstechnieken die voor de assen interessant kunnen zijn, worden onderscheiden [13]:

- droge of natte scheiding;
- wassen.

Hieronder worden deze twee technieken toegelicht.

¹⁾ Hier wordt bedoeld een landophoging zonder dat de assen met de grond vermengd worden.

²⁾ Zie hoofdstuk 4 voor uitleg categorie 1 en 2 toepassingen.

6.2.1 Droge en natte scheiding

Het doel van het toepassen van een scheidingsstap is om materiaal te scheiden in een relatief schone hoofdstroom en een kleine reststroom. Verontreinigingen zijn namelijk veelal geconcentreerd in de fijne fractie en de grove fractie is dan relatief schoon. Het scheiden is dus gericht op het verkrijgen van een hoeveelheid gereinigd materiaal die veel groter moet zijn dan de hoeveelheid geconcentreerde verontreiniging (restfractie) en bovendien een zodanige kwaliteit bezitten dat nuttig toepassing mogelijk wordt.

Onderzocht zal moeten worden of de assen uit biomassa bestaan uit een relatief schone en een relatief verontreinigde fractie. Als dit inderdaad het geval is, kunnen de volgende technieken in aanmerking komen:

- systemen op basis van afmetingen (zeefbochten, trilzeven etc.). Dit is geschikt voor afscheiding van deeltjes vanaf 500 µm;
- systemen op basis van zwaartekracht (opstroomkolom en bezinker) kunnen deeltjes groter dan 50-100 µm scheiden;
- systemen op basis van centrifugaalkrachten (hydrocycloon) kunnen deeltjes groter dan 10 tot 20 µm verwerken.

De geschiktheid van de technieken voor de assen is kwalitatief weergegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.2 Scheidingstechnieken voor assen uit biomassa.

Asfractie	Deeltjesgrootte [µm]	Scheidingsprincipe		
		Afmeting	Zwaartekracht	Centrifugaalkracht
Bodemas	10 - 30.000	ja	ja	ja
Cycloonas	2 - 100	nee	ja	ja
Filteras	0.2 - 5	nee	nee	nee

Er kan geconcludeerd worden dat de bodemas in een aantal verschillende fracties kan worden verdeeld. Cycloonas zal gescheiden kunnen worden in circa twee fracties. Voor filteras zijn geen gangbare scheidingstechnieken beschikbaar.

De kosten voor scheiding van assen zal circa f 5,- tot f 100,- bedragen. Gezien de huidige storkosten (f 140,- tot f 200,-/ton as) kan dit soort technieken aantrekkelijk zijn.

Aspecten die nader aandacht verdienen, zijn:

- bestaat er een grote grove fractie die relatief schoon is;
- kan de relatief grove schone fractie nuttig worden toegepast;
- welke verwijderingsmogelijkheden zijn aanwezig voor de relatief verontreinigde fractie;
- welke kosten zijn gemoeid met verwijdering van de relatief verontreinigde fractie;
- wat zijn de totale proceskosten.

6.2.2 Wassen

Een andere mogelijkheid voor het verbeteren van de kwaliteit van de assen is wassen. Bij wassen worden verontreinigingen van de assen overgebracht naar de vloeibare fase. Het wasproces kan in drie stappen uitgevoerd worden:

- wassen;
- nabehandeling van waswater;
- nabehandeling van assen (bijvoorbeeld drogen).

In paragraaf 6.1 is geconcludeerd dat de elementen Cr, Mo, Cl, F, Br en SO₄ te veel uitlogen om het materiaal nuttig toe te passen voor ophogingen. Voor het inzetten van de assen als bodemverbeteraar bleken de elementen Cd, Cr, Cu, Zn en Cl kritisch te zijn.

Uit onderzoek bij TNO-MEP is gebleken dat anionen goed kunnen worden uitgewassen. Kationen kunnen eveneens uitgewassen worden, echter aanzuren van het waswater is dan wenselijk om de oplosbaarheid van de elementen in het water te verhogen.

De kosten van het wasproces zullen circa f 100,- - f 200,- /ton bedragen (stortkosten f 140,- - f 200,-/ton). Het is dus aantrekkelijk deze verwerkingstechniek verder te onderzoeken.

Aspecten die nader aandacht verdienen zijn:

- welke soort wasproces is het meest effectief;
- welke zuurgraad van het waswater is wenselijk;
- op welke wijze kunnen de gewassen assen worden afgezet. Is het bijvoorbeeld noodzakelijk om de assen na wassen te drogen;
- op welke wijze kan het waswater worden verwerkt;
- wat zijn de totale proceskosten.

6.3 Verwerken en vervolgens nuttig toepassen van het produkt

Een andere mogelijkheid voor het verwerken van de assen, is het verwerken van de assen tot een nuttig toepasbaar bouw materiaal. Immobilisatietechnieken kunnen hiervoor ingezet worden. Immobilisatie is een techniek waarbij verontreinigingen in afvalstoffen duurzaam worden vastgelegd. Immobilisatietechnieken zijn globaal te verdelen in koude technieken en thermische technieken. Bij de thermische technie-

ken kan weer onderscheid gemaakt worden in sintertechnieken en smelttechnieken. Deze drie soorten immobilisatietechnieken zijn zeer verschillend van aard en worden daarom hieronder separaat besproken.

6.3.1 Koude immobilisatietechnieken

Bij koude immobilisatie wordt de afvalstof gemengd met chemische stabilisatiemiddelen en vervolgens wordt meestal cement of een mengsel van kalk en poederkoolvliegast toegevoegd. Hierna vindt eventueel verdichting en tenslotte uitharding plaats om een vormvast immobilisaat te verkrijgen. De verontreinigingen worden op deze wijze opgesloten in een calcium-silicaat matrix en de additieven die worden toegevoegd kunnen bovendien een extra chemische binding van de verontreinigingen bewerkstelligen.

Het cementachtig produkt zal getoetst moeten worden aan het Bouwstoffenbesluit om na te gaan welke nuttige toepassing mogelijk is. Er kan hierbij gedacht worden aan de weg- en waterbouw.

Het proces is met relatief eenvoudige apparatuur uit te voeren en is daarom weinig complex. Echter, grootschalige toepassing van koude immobilisatie wordt in Nederland nog niet uitgevoerd (wel in het buitenland). Deze terughoudendheid wordt veroorzaakt door de onduidelijkheid van de regelgeving in het verleden. Door het invoeren van het Bouwstoffenbesluit zal deze onduidelijkheid voor een groot gedeelte weg worden genomen.

De kosten van immobilisatietechnieken liggen tussen de f 100,- en f 200,- per ton afhankelijk van de mate van verontreiniging. Gezien de huidige (en toekomstige) storkosten, lijkt deze techniek aantrekkelijk.

Om werkelijk te kunnen beoordelen of door middel van koude immobilisatie nuttig toepasbare produkten kunnen worden vervaardigd, zullen immobilisatie proeven moeten worden uitgevoerd en zal het immobilisaat op uitlooggedrag moeten worden beproefd. De resultaten zullen getoetst moeten worden aan het Bouwstoffenbesluit.

Vragen die nader aandacht verdienen zijn:

- welke koude immobilisatie techniek immobiliseert de verontreinigingen in de assen optimaal;
- welke assen moeten dienen als uitgangsmateriaal: bodemas, cycloonas, filteras, gewassen assen of assen die vooraf met scheidingsapparatuur behandeld zijn. Bij direct immobiliseren van de assen zal de koude immobilisatietechniek duurder zijn (meer verontreinigingen) dan bij het immobiliseren van assen die gewassen of gescheiden zijn (minder verontreinigingen). Echter, een wasproces of scheidingsproces brengt eveneens kosten met zich mee;
- kan het immobilisaat in de markt afgezet worden. Wat is hierbij de opbrengst van het immobilisaat;

- kunnen assen direct ingezet worden in betonachtige toepassing, zonder dat er extra additieven nodig zijn. In dit geval spreken we dan niet meer van immobilisatie, maar van vervanging van primaire grondstoffen (vulstof, zand of grind) in beton. Dit zal in milieuhygiënisch en economisch opzicht de meest aantrekkelijke optie zijn.
Uit onderzoek is zelfs gebleken dat de toevoeging van bodemas in de wegenbouw de slijtvastheid van wegen vergroot [5];
- wat zijn de totale proceskosten.

6.3.2 Sintertechnieken

Bij een sinterproces wordt het uitgangsmateriaal opgewarmd tot net onder het smeltpunt. Hierdoor vindt sintering van het materiaal plaats. De kristalstructuur van het materiaal blijft echter intact. Immobilisatie van verontreinigingen treedt dus op doordat er een fysische barrière wordt gevormd.

Het sinterproces als zodanig wordt in Nederland al op grote schaal toegepast. Gedacht kan worden aan de productie van bakstenen. Echter, sinterprocessen die speciaal ontworpen zijn voor het verwerken van reststoffen op grote schaal zijn nog in ontwikkeling. Het is daarom op korte termijn het meest aantrekkelijke om na te gaan welke mogelijkheden aanwezig zijn om de assen in te zetten bij bestaande processen. Door de negatieve waarde van de assen zal het economisch gezien waarschijnlijk aantrekkelijk zijn om de assen als ingangsmateriaal in te zetten.

Bij een inventarisatie van de mogelijkheden, zullen de volgende punten aandacht behoeven:

- welke hoeveelheden aan assen kunnen worden toegevoegd bij bestaande processen zonder dat de milieuhygiënische of fysische kwaliteit van het produkt aangetast wordt;
- welke positieve bijdragen van de assen kan verwacht worden (bijvoorbeeld smeltpunt verlaging door aanwezigheid van Ca en K);
- zijn er (in de toekomst) voldoende assen voor een baksteen industrie;
- welke assen kunnen ingezet worden: bodemas, cycloonas, filteras, gewassen assen of assen die vooraf met scheidingsapparatuur behandeld zijn.

6.3.3 Smelttechnieken

Een derde soort van immobilisatietechniek is smelten. Bij deze techniek wordt het materiaal verwarmd tot boven het smeltpunt waardoor de kristalstructuur wordt afgebroken. Na afkoeling ontstaan een nieuw silicaatrooster. In deze nieuwe matrix zullen de niet-vluchtige zware metalen opgenomen kunnen worden. Hierdoor zal de beschikbaarheid voor uitloging van verontreinigingen sterk worden verminderd, waardoor het produkt waarschijnlijk nuttig kan worden toegepast.

Nog aanwezige vluchtige zware metalen zullen niet worden opgenomen in de nieuwe matrix maar zullen via de rookgassen worden afgevoerd. Een rookgasreiniging is daarom in bijna alle gevallen noodzakelijk.

Gezien de hoge temperaturen waarbij gewerkt wordt en de rookgasreiniging is de procesvoering relatief ingewikkeld. Het proces is daarom alleen rendabel als er een relatief grote installatie kan worden ontworpen. Gezien de huidige geringe hoeveelheid aan assen, zullen de assen momenteel alleen thermisch verwerkt kunnen worden in combinatie met andere afvalstoffen.

Gesteld mag worden dat vanwege de voorziene sterke groei van de energiewinning uit biomassa de hoeveelheid assen sterk zal toenemen. Geschat kan worden dat de in het jaar 2020 vrijkomende assen uit biomassa circa 65.000 ton/jaar zal bedragen. Bij een schaalgrootte van circa 5.000-10.000 ton per jaar, kan thermische verwerking van alleen de assen interessant worden.

In Nederland is nog geen smeltinstallatie voor het immobiliseren van grote stromen afvalstoffen beschikbaar. Wel zijn er initiatieven voor het opzetten van een dergelijk proces. Met andere woorden, op korte termijn is immobiliseren via smelten van assen (in combinatie met andere afvalstoffen) niet mogelijk. Dit is waarschijnlijk wel op de langere termijn mogelijk.

Er zijn in Nederland wel smeltprocessen op commerciële schaal voor het produceren van anorganische producten. Het primaire doel van deze processen is het produceren van een produkt en niet afvalverwerking. Gedacht kan worden aan de cementindustrie, de glasindustrie en de steenwolindustrie. Gezien de samenstelling van de assen, kunnen deze waarschijnlijk als ingangsmateriaal worden aangewend.

Economisch gezien is de toevoeging van assen aan een bestaand smeltproces waarschijnlijk aantrekkelijk. Stortkosten worden uitgespaard en er zijn minder primaire ingangsmaterialen nodig. Echter, er is eventueel een (extra) rookgasreinigingsinstallatie nodig.

De volgende vragen verdienen nadere aandacht:

- welke thermische immobilisatie processen worden momenteel ontwikkeld en welke afvalstoffen worden bij die ontwikkeling geëvalueerd;
- is het mogelijk om de assen bij te mengen bij een toekomstige smeltinstallatie;
- wat is de kwaliteit van het immobilisaat;
- bij welke hoeveelheid aan assen is het de moeite waard om een thermische immobilisatie proces voor de assen alleen op te zetten;
- wat zijn de kosten voor procesvoering;
- is het mogelijk om assen in te zetten in smeltinstallaties van bijvoorbeeld de cementindustrie, glasindustrie of steenwolindustrie.

6.4 Verwerken en vervolgens storten van het produkt

Alle assen worden momenteel op een gewone IBC stortplaats afgevoerd. Het verwerken en vervolgens storten van het produkt is daarom niet zinvol.

Als het echter in de toekomst problemen zou gaan opleveren om de assen op een gewone stortplaats af te voeren, dan kunnen de technieken die hierboven zijn uitgewerkt ook in dit kader interessant worden.

Economisch gezien is dit de minst aantrekkelijk optie: er zijn zowel storkosten als behandelingskosten aan de verwijdering verbonden.

7. Evaluatie

7.1 Kwaliteit van de assen

Bij de verbranding van resthout komen drie fracties vrij: bodemas, cycloonas en filteras. De bodemas is het minst verontreinigd en de filteras het meest. Het is daarom waarschijnlijk dat de schonere bodemas en cycloonas anders verwerkt kunnen worden dan de filterassen.

Verder is de kwaliteit van de as sterk afhankelijk van het soort resthout. Hoe schoner het ingangsmateriaal is, des te minder zijn de assen verontreinigd. De informatie uit de literatuur omtrent de samenstelling van de assen laat dan ook een sterke spreiding zien.

Voor het bepalen van verwijderingsmogelijkheden van materialen, is in Nederland voorgeschreven dat onder andere het uitlooggedrag bekend dient te zijn. Het uitlooggedrag van niet-vormgegeven materialen moet bepaald worden met de kolomproef. In de literatuur zijn echter geen resultaten gevonden van het uitlooggedrag van assen volgens deze proef. Er is daarom voor gekozen zelf de kolomproef uit te voeren. Bij de kolomproeven is een combinatie van bodemas en cycloonas uit schoon resthout ingezet. Dit is relatief schoon materiaal. Ook hier mag een sterke spreiding van resultaten verwacht worden als uitgegaan wordt van andere assen.

Gezien de sterke spreiding van de samenstelling en uitlooggedrag die verwacht mag worden, zal bij onderzoek naar verwerkingsmogelijkheden voor assen, de karakterisering van het uitgangsmateriaal en de mogelijke spreiding van de resultaten een belangrijk punt van aandacht dienen te zijn.

7.2 Kosten aspecten van huidige verwerking

De huidige stortkosten liggen rond de f 140,- tot f 200,- per ton. De kosten van alternatieve verwerkingsmogelijkheden zullen moeten worden afgezet tegen deze stortkosten. Hierbij zullen de kosten voor het inzamelen van de assen eveneens meegenomen moeten worden. Navraag bij verschillende recycling bedrijven naar een inschatting van de inzaamkosten, leverde niet veel concrete informatie op. Het Nederlandse beleid ten aanzien van de verbranding van biomassa is erop gericht dat dit in de komende 20 jaar sterk zal toenemen. Er mag derhalve worden verwacht dat er in de toekomst meer grootschalige installaties zullen worden gebouwd. Dit zal de inzameling van assen duidelijk vergemakkelijken. In het kader van deze studie is dit aspect niet verder uitgewerkt.

7.3 Verwerkingsmogelijkheden

In het voorafgaande zijn de mogelijkheden die voor het verwerken van assen uit biomassa aantrekkelijk kunnen zijn weergegeven. Hierbij is gekeken naar de haalbaarheid in milieuhygiënische, economische en technische zin. Bij de milieuhygiënische aspecten in het wettelijk kader betrokken.

In onderstaande tabel is een evaluatie gegeven van de verschillende verwerkingsmogelijkheden. Gezien de aard van de assen, is hierbij onderscheid gemaakt tussen bodemassen en cycloonassen enerzijds en filterassen anderzijds.

Tabel 7.1a Evaluatie van verwerkingsmogelijkheden voor bodemassen en cycloonassen.

Toepassing van assen of produkt	Verwerkings-mogelijkheid	Opmerkingen en aandachtspunten
Bodemverbeteraar	direct toepassen	Milieuhygiënisch gezien onzeker of dit haalbaar is. Voor bodemas uit schone biomassa kan het haalbaar zijn.
	droge/natte scheiding	Omdat het inzetten van de assen als bodemverbeteraar zonder dat deze een bewerking hebben ondergaan mogelijk problemen oplevert, kan droge of natte scheiding uitkomst bieden. De vraag hierbij is de opbouw van de assen: is er een grote grove as fractie die relatief schoon is en voldoet deze fractie wel aan Milbowa. Belangrijkste nadeel van deze techniek is dat er altijd een reststroom zal blijven bestaan (die eventueel verder verwerkt moet worden).
	wassen	Een andere opwerkingstechniek voor de assen is een wasproces. De optimale wascondities zullen moeten worden bepaald. Wassen lijkt technisch gezien goed mogelijk. Onderzocht moet worden of na wassing een as kan worden verkregen dat voldoet aan Milbowa.
Toeslagstof compostering	direct toepassen	Dit lijkt mogelijk voor kleine hoeveelheden as ten opzichte van de hoeveelheid compost.
	droge/natte scheiding	Indien de hoeveelheid as ten opzichte van de hoeveelheid compost hoog moet zijn, is het noodzakelijk de assen vooraf te behandelen, bijvoorbeeld met droge/natte scheiding. De vraag hierbij is de opbouw van de assen: is er een grote grove as fractie die relatief schoon is. Belangrijkste nadeel van deze techniek is dat er altijd een reststroom zal blijven bestaan (die eventueel verder verwerkt moet worden).
	wassen	Indien de hoeveelheid as ten opzichte van de hoeveelheid compost hoog moet zijn, is het noodzakelijk de assen vooraf te behandelen, bijvoorbeeld met een wasproces. De optimale wascondities zullen moeten worden bepaald. Technisch gezien lijkt wassen goed mogelijk.
Landophoging	direct toepassen	Dit is milieuhygiënisch gezien niet haalbaar. Ten aanzien van categorie 2 toepassingen loogt Br significant te veel uit. Ten aanzien van categorie 1 toepassing blijken zelfs 6 elementen significant te veel uit te logen.
	droge/natte scheiding	Belangrijkste vraag hierbij is de opbouw van de assen: is er een grote grove as fractie die relatief schoon is en voldoet aan de eisen voor categorie 1 of 2 toepassingen. Belangrijkste nadeel van deze techniek is dat er altijd een reststroom zal blijven bestaan (die eventueel verder verwerkt moet worden).

Tabel 7.1a Evaluatie van verwerkingsmogelijkheden voor bodemassen en cycloonassen (vervolg).

Toepassing van assen of produkt	Verwerkings-mogelijkheid	Opmerkingen en aandachtspunten
	wassen	Anionen kunnen goed verwijderd worden uit materialen door middel van een wasproces. Er lijken daarom goede mogelijkheden om de assen door middel van een wasproces op te werken tot tenminste een categorie 2 produkt.
Toepassen in wegebouw ¹⁾	direct toepassen in beton	Gedeeltelijke vervanging van grind, zand en vulstof door assen in de wegebouw lijkt aantrekkelijk: er zijn nauwelijks extra investeringskosten en storkosten en primaire grondstoffen worden uitgespaard. Echter, de hoeveelheid zouten in de assen kunnen een probleem vormen. Onderzocht zal moeten worden of dit milieuhygiënisch mogelijk is. Technisch gezien is gebleken dat het toevoegen van de assen zelfs de slijtvastheid van wegen kan verbeteren ²⁾ .
	koud immobiliseren	Gezien de prestaties van koude immobilisatietechnieken bij andere afvalstoffen is het waarschijnlijk dat een nuttig toepasbaar (cementachtig) produkt kan worden verkregen ²⁾ . De hoeveelheid zouten kunnen een probleem vormen. Verder is dit een eenvoudige techniek. Een nadeel is echter de onbekendheid van dit soort technieken in Nederland; er zijn bijna geen bedrijven die koude immobilisatie commercieel voeren.
Toepassing als glasachtig materiaal of basalt	smelt techniek	Smelttechnieken zullen alleen interessant zijn als het kan worden uitgevoerd in combinatie met andere afvalstoffen of indien de hoeveelheid assen sterk toeneemt (5.000 - 6.000 ton per jaar). Deze techniek zal pas op de langere termijn in Nederland operationeel zijn.
Toepassen in de baksteenindustrie	sinter techniek	De belangrijkste vraag hierbij is de hoeveelheid beschikbare assen. Indien de hoeveelheid te gering is, zal een baksteenindustrie niet geïnteresseerd zijn investeringen te plegen om de assen te kunnen toevoegen en mengen ²⁾ .
Toepassen als secundaire grondstof in cementindustrie, glasindustrie, steenwolindustrie e.d.	inzetten in bestaand smeltproces	Dit is eveneens een aantrekkelijke optie omdat de assen direct ingezet kunnen worden in bestaande processen. Verwacht wordt dat de smeltprocessen nauwelijks aangepast behoeven te worden. Bovendien heeft de cementindustrie ervaring met het inzetten van afvalstoffen. Bij de overige industrie kan meer (emotionele) weerstand worden ondervonden voor het inzetten van afvalstoffen. Twee belangrijke aandachtspunten zijn de kwaliteit van het uiteindelijke produkt en de kwaliteit van de rookgassen (is extra rookgasreiniging noodzakelijk?)

¹⁾ De wegebouw is hier als voorbeeld genomen.

²⁾ Verder zal bekeken moeten worden welke assen ingezet moeten worden: onbehandelde assen, gewassen assen of assen die door middel van scheiding zijn opgewerkt.

Tabel 7.1b Overzicht van verwerkingsmogelijkheden voor filterassen.

Toepassing van assen of produkt	Verwerkings-mogelijkheid	Opmerkingen en aandachtspunten
Bodemverbeteraar	direct toepassen	Milieuhygiënisch gezien is dit niet haalbaar.
	droge/natte scheiding	Gezien de fijnheid van de assen is deze opwerkingstechniek niet haalbaar.
	wassen	Een andere opwerkingstechniek voor de assen is een wasproces. De optimale wascondities zullen moeten worden bepaald. Onderzocht moet worden of na wassing een as kan worden verkregen dat voldoet aan Milbowa.
Toeslagstof compostering	direct toepassen	Filteras is dusdanig verontreinigd dat slechts zeer kleine hoeveelheden aan de compost kan worden toegevoegd. Het is daarom niet aantrekkelijk.
	droge/natte scheiding	Gezien de fijnheid van de assen is deze opwerkingstechniek niet haalbaar.
	wassen	Indien de hoeveelheid as ten opzichte van de hoeveelheid compost hoog moet zijn, is het noodzakelijk de assen vooraf te behandelen, bijvoorbeeld met een wasproces. De optimale wascondities zullen moeten worden bepaald.
Landophoging	direct toepassen	Dit is milieuhygiënisch gezien niet haalbaar. Dit geldt zowel voor categorie 1 als categorie 2 toepassingen. Bovendien is de fijnheid van het materiaal dusdanig dat het niet aantrekkelijk is in deze toepassing. Opwerkingsmogelijkheden zijn daarom niet uitgewerkt.
Toepassen in wegenbouw ¹⁾	direct toepassen in beton	Gedeeltelijke vervanging van fijn vulstof door assen in de wegenbouw zou aantrekkelijk kunnen zijn. Onderzocht zal moeten worden of dit milieuhygiënisch en technisch mogelijk is ²⁾ .
	koud immobiliseren	Gezien de prestaties van koude immobilisatietechnieken bij andere afvalstoffen is het de moeite waard te onderzoeken of een nuttig toepasbaar produkt kan worden verkregen. Verder is dit een eenvoudige techniek. Een nadeel is echter de onbekendheid van dit soort technieken in Nederland; er zijn bijna geen bedrijven die koude immobilisatie commercieel voeren ²⁾ .
Toepassen als glasachtig materiaal of als basalt	smelt techniek	Smelttechnieken zullen alleen interessant zijn als het kan worden uitgevoerd in combinatie met andere afvalstoffen of indien de hoeveelheid assen sterk toeneemt (5.000 - 6.000 ton per jaar).

Tabel 7.1b Overzicht van verwerkingsmogelijkheden voor filterassen (vervolg).

Toepassing van assen of produkt	Verwerkingsmogelijkheid	Opmerkingen en aandachtspunten
Toepassing in de baksteenindustrie	sinter techniek	De belangrijkste vraag hierbij is de hoeveelheid beschikbare assen. Indien de hoeveelheid te gering is, zal een baksteenindustrie niet geïnteresseerd zijn investeringen te plegen om de assen te kunnen toevoegen en mengen ²⁾ .
Toepassen als secundaire grondstof in cementindustrie e.d.	inzetten in bestaand smeltproces	Inzetten in een bestaand smeltproces zoals van de cementindustrie, glasindustrie of steenwolindustrie is gezien de fijnheid van het materiaal minder interessant dan voor de bodemassen en de cycloonassen.

1) De wegenbouw is hier als voorbeeld genomen.

2) Verder zal bekeken moeten worden welke assen ingezet moeten worden: onbehandelde assen, gewassen assen of assen die door middel van scheiding zijn opgewerkt.

8. Conclusies en aanbevelingen

- De kwaliteit van de assen vertoont een sterke spreiding. Bij onderzoek naar de verwerkingsmogelijkheden zal de karakterisering van de assen sterk de aandacht moeten krijgen.
- De schonere bodemas en cycloonas kunnen beter verwerkt worden dan de meer verontreinigde filteras.
- Bodem- en cycloonas kan mogelijk zonder voorbereiding worden toegepast:
 - als bodemverbeteraar;
 - als toeslagstof bij de compostering;
 - in de wegenbouw;
 - in de baksteenindustrie;
 - in bestaande smeltprocessen (cement, glas, steenwol).
- De fijnere en meer verontreinigde filterassen kunnen mogelijk zonder voorbereiding worden toegepast:
 - in de wegenbouw;
 - in de baksteenindustrie;
 - in bestaande smeltprocessen (cement, glas, steenwol).
- Voordat tot directe toepassing overgegaan kan worden dienen vragen nader te worden beantwoord omtrent:
 - het voldoen aan milieuhygiënische criteria (bodemverbeteraar, wegenbouw, smeltprocessen);
 - de bereidheid om de assen in het huidige proces in te passen (compostering, wegenbouw, baksteen, smeltprocessen).
- Mede gezien de relatief hoge huidige storkosten (f 140,- tot f 200,- per ton) zijn alternatieve verwerkingsmogelijkheden economisch zeker interessant te noemen.
- De kosten voor het inzamelen van de assen zal nader uitgewerkt moeten worden.
- Aanbevolen wordt in eerste instantie de toepassing van bodem- en cycloonassen als grondverbeteraar en als toeslagstof in de compostering nader te onderzoeken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in het buitenland deze assen reeds als bodemverbeteraar worden ingezet.
- Mocht toepassing zonder voorbereiding niet mogelijk blijken, kan voorbereiding door met name wassing of door droge of natte scheiding uitkomst bieden. Optimale procescondities dienen in dit geval nader te worden onderzocht.

- Om de verschillende verwerkingsmogelijkheden in een breder kader ten opzichte van elkaar te vergelijken wordt aanbevolen om een workshop te houden. Doelstelling van een dergelijke workshop kan zijn het formuleren van eventuele verdere stappen richting de verwerking van assen vrijkomend bij de energiewinning uit biomassa.

9. Referenties

- [1] Van Rijsbergen P.C.M. e.a., 'Immobilisatie van Afvalstoffen onderzoeksprogramma T2000', Coopers en Lybrand, TNO Milieu- en Energietechnologie, Rapportnummer 413.546.03, April 1993
- [2] Aalbers, Th. G. e.a., Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewaterbescherming, RIVM-rapport nr. 771402006/RIZA-rapport 93.042, Bilthoven/Lelystad, december 1993
- [3] Versluijs, C.W., Toetsing van het uitlooggedrag van anorganische componenten uit bouwstoffen op basis van het concept van een marginale bodembelasting, RIVM-rapport nr. 738504011, Bilthoven, januari 1991
- [4] Grenswaarden-notitie, storten gevaarlijk afval, Ministerie van VROM, mei 1993
- [5] Keuzenkamp, K.W. e.a., Het Bouwstoffenbesluit: hoe staat het er mee?, BODEM, nummer 2, p. 72-75, mei 1994
- [6] Sulilatu, W.F., Kleinschalige verbranding van schoon afvalhout in Nederland, TNO rapport nr. 92-278, november 1992
- [7] Tukker, A. e.a., Evaluatie inzameling klein chemisch afval, TNO-rapportnummer STB/94/016, Apeldoorn, mei 1994
- [8] L.Etiëgni and A.G. Campbell, Physical and Chemical Characteristics of Wood Ash, Department of Forest Products, University of Idaho, Moscow Idaho 83843, USA, Biosource Technology 0960-8524/91/\$03.50, 1991
- [9] Pohlandt Kt, Zusammensetzung Verwertung und Entsorgung von Holzaschen, Wilhelm-Klauditz-Institut, Fraunhofer-Arbeitsgruppe für, Holzforschung, Braunschweig, Holzzentralblatt, Nr. 79, juli 1995
- [10] Atkins Richard, Environmental Risk Limited, Wood Products In The Waste Stream: Characterization And Combustion Emissions, Vol. 1 November 1992
- [11] Ingwald Obernberger, Characterisation and Utilization of Wood Ashes Institute of Chemical Engineering, Comet expert workshop Biomass Combustion, 16-17 May, 1994, Braz, Austria

- [12] Ingwald Obernberger, Stoff- und Energiebilanzen des Biomasseheizwerkes Lofer als Basis für eine umweltverträgliche Kreislaufwirtschaft mit der anfallende Holzasche, Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz, Graz, Juli 1993
- [13] L. Feenstra e.a., Verwerking van afval- en residustromen, TNO R95-252, Apeldoorn, augustus 1995
- [14] Mededeling van de heer H.O. Hooghout van het Ministerie van VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Drinkwater, Water en Landbouw, 1996
- [15] Mededeling van de heer ing. J.T. Weisscher, VROM-DGM, Directie Afvalstoffen, 1995
- [16] Leidraad Bodembescherming Band 1, Hoofdstuk A.3.2, 10 juni 1995

10. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem B.V.

t.a.v. Ir. K.W. Kwant

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

Namen en functies van de projectmedewerkers

Ir. M.M.C. van Alkemade

wetenschappelijk medewerkster

Ing. S. van Loo

wetenschappelijk medewerker

W.F. Sulilatu

research medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

oktober 1995 - juli 1996

Ondertekening

Ing. S. van Loo
onderzoekleider

Goedgekeurd door

Ir. J. de Koning
afdelingshoofd

Bijlage 1 Overzicht resultaten [12]

Tabel 1 Karakteristieke kentallen asfracties.

Aschenfraktion / Element	Grobasche (GA)	Zyklonflugasche (ZFA)	Kondensatschlamm (EFA)	Aschengemisch aus GA, ZFA und KS
Gehalte in mg/kg TS				
Gew.-Anteil an der Gesamtasche	in Gew% der TS			
	64,5	28,5	5,4	98,4
Wassergehalt der FS	in Gew% der FS			
	0,0	0,0	64,0	
Schüttgewicht	in kg TS / m ³			
	710,0	423,0	326,0	
Korngröße	in cm			
	0 - 6,0	<0,2	<0,05	
Anfall im Versuchszeitraum	in m ³			
	4,9	3,6	0,9	9,3
Anfall im Versuchszeitraum	in kg TS			
	3.447,0	1.523,0	286,0	5.256,0

Tabel 2 Elementverdeling in de totaal vrijgekomen as en in de afzonderlijke (bodemas, cycloonas) fracties.

Elementverteilung des Aschengemisches in den einzelnen Fraktionen					
Element	Gewichtsanteil des Aschengemisches mg/kg TS	Grobasche %	Z-Flugasche %	Kondensat- schlamm %	Reststaub im RG %
Si	78.448,51	73,42	21,69	3,77	1,12
Ca	339.488,38	66,11	28,96	3,80	1,13
Mg	28.345,93	69,46	26,23	3,33	0,99
K	42.943,14	55,63	35,18	7,10	2,10
Na	3.308,90	60,74	22,37	13,04	3,86
P	10.105,22	66,34	26,01	5,90	1,75
Al	24.104,76	75,79	20,47	2,89	0,86
Ges-S	11.345,09	25,55	51,80	17,47	5,18
Cl	3.815,23	7,15	63,54	22,61	6,70
Fe	16.664,68	70,42	26,57	2,32	0,69
Mn	18.609,36	64,70	30,02	4,07	1,21
Cu	237,58	61,90	21,71	12,64	3,75
Zn	2.094,51	23,20	45,18	24,39	7,23
Co	14,20	68,16	26,10	4,43	1,31
Mo	3,23	59,87	28,22	9,18	2,72
As	5,75	51,60	32,22	12,48	3,70
Ni	46,17	58,67	31,48	7,60	2,25
Cr	257,62	72,61	19,69	5,94	1,76
Pb	65,93	11,74	34,15	41,74	12,37
Cd	18,21	6,38	46,96	36,00	10,67
V	45,10	71,51	22,75	4,43	1,31
Hg	0,38	0,76	7,62	70,68	20,94
	Anteil an der Gesamt- asche in Gew%	64,50	28,50	5,40	1,60

Tabel 3 *Gehalte aan zware metalen in de afzonderlijke asfracties.*

Element	Gehalte im Aschengemisch aus GA, Z-FA + F-FA		Gehalte im Aschengemisch aus GA + Z-FA		Grenzwerte der KSCHVO
	mg/kg TS	in % der GW	mg/kg TS	in % der GW	mg/kg TS
Cu	237,58	47,52	213,62	42,72	500,0
Zn	2.094,51	104,73	1.538,85	76,94	2.000,0
Co	14,20	14,20	14,39	14,39	100,0
Mo	3,23	16,16	3,06	15,31	20,0
As	5,75	28,75	5,18	25,91	20,0
Ni	46,17	46,17	44,75	44,75	100,0
Cr	257,62	51,52	255,73	51,15	500,0
Pb	65,93	13,19	32,50	6,50	500,0
Cd	18,21	182,08	10,43	104,29	10,0
Hg	0,38	3,82	0,03	0,31	10,0

Bijlage 2 Nadere gegevens [10]

Tabel 1 Samenstellingsgegevens hout uit de scheidingsinstallaties
(Bij deze metingen zijn per experiment 4 monsters meegenomen).

Element	Scheidingsinstallatie 1				Scheidingsinstallatie 2			
	Gem.	Sdev.	Min.	Max.	Gem.	Sdev.	Min.	Max.
% C	50,11	0,82	48,93	50,81	50,45	2,31	47,26	52,52
% H	5,87	0,17	5,71	6,08	5,86	0,18	5,62	6,03
% N	0,52	0,08	0,42	0,59	0,62	0,04	0,59	0,68
% S	0,15	0,07	0,1	0,24	0,1	0,03	0,06	0,14
% Ash	5,15	2,41	2,94	8,58	6,4	5,28	0,24	12,58
% O	38,20	1,75	35,95	40,11	36,57	3	33,79	40,54
% Cl	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,01	0,04	0,05
% volat.	78,53	1,72	76,37	80,35	77,24	2,82	73,26	79,24
% Carb.	16,33	1,04	15,05	17,50	16,36	6,41	8,18	22,29

Tabel 2 Mineralogische samenstelling van as uit laboratoriumexperimenten
(Bij deze metingen zijn per experiment 2 monsters meegenomen).

Element	Scheidingsinstallatie 1				Scheidingsinstallatie 2			
	Gem. [gew%]	Sdev.	Min.	Max.	Gem. [gew%]	Sdev.	Min.	Max.
SiO ₂	52,67	1,22	51,80	53,53	29,46	4,12	26,54	34,34
Al ₂ O ₃	10,76	0,34	10,52	11,00	4,42	0,13	4,32	5,1
TiO ₃	1,78	0,11	1,70	1,86	0,91	0,04	0,88	0,94
Fe ₂ O ₃	6,69	0,16	6,58	6,80	4,99	1,85	3,68	6,29
C _a O	11,00	0,85	10,40	11,60	32,84	3,34	30,48	35,2
M _g O	2,91	0,13	2,82	3,00	6,34	0,37	6,08	6,6
K ₂ O	2,67	0,09	2,60	2,73	4,55	0,07	4,5	4,6
SdO	2,57	0,18	2,44	2,70	3,25	0,18	3,12	3,38
SO ₃	7,05	0,26	6,86	7,23	5,46	1,01	4,74	6,17
P ₂ O ₅	0,6	0,00	0,60	0,60	0,6	0	0,6	0,6
PbO	0,36	0,18	0,23	0,48	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3 *Analyse van metalen in as [mg/kg]*
(Bij deze metingen zijn per experiment 8 monsters meegenomen).

Element	Scheidingsinstallatie 1				Scheidingsinstallatie 2			
	Gem.	Sdev.	Min.	Max.	Gem.	Sdev.	Min.	Max.
As	10,23	9,73	0,46	26,5	4,75	1,83	1	6
Cr	12,34	7,53	2,5	22,5	15,4	3,62	11,5	21,8
Pb	121,81	45,09	59,5	190,5	50,3	15,72	22,9	67,5
Ti	24,05	9,82	14	41	342,4	49,57	307,2	460,8
Zn	143,69	58,10	70	260	59,8	19,61	41,0	93,2
Ba	86,56	70,03	25	214	50,3	27,18	15	97
Cd	0,5	0,47	0,25	1,6	0,90	0,51	0,38	1,6
Cu	16,2	11,5	4	30,5	22,5	25,34	9,4	84,7
Hg	0,12	-	0,12	0,12	0,07	0,02	0,04	0,1
Ni	6,84	4,27	2,5	13,5	4,2	0,65	3,2	5,12
Ag	0,09	0,08	0,02	0,27	0,11	0,04	0,1	0,2

Bijlage 3 Beschrijving uitloog experimenten

Vergelijking van de uitloging (cumulatief) bij $L/S=10$ met de maximaal toelaatbare immissie, zoals gegeven in het bouwstoffenbesluit, geeft aan of het onderzochte monster als granulair bouw materiaal toegepast mag worden. De maximaal toelaatbare immissie (mti) is gegeven voor de componenten: As, Ba, Cd, Co, Cr-totaal, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn, Br, Cl, F, SO₄ en CN-totaal. De mti wordt uitgedrukt in mg/m² per 100 jaar.

Om de vergelijking te kunnen maken moet de gevonden uitloging (emissie) omgerekend worden naar een immissie naar de bodem. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een tweetal formules. De eerste formule (1) wordt gebruikt om de emissie om te rekenen naar de immissie.

$$I_{b,N} = d_b \times (E_{L/S=10} - a) \times h \times f_{ext,n} \quad (1)$$

Waarin:

- $I_{b,N}$ = berekende immissie van een niet-vormgegeven bouwstof in de bodem als gevolg van het gebruik ervan in mg/m².100j;
- d_b = dichtheid van het materiaal (meestal 1550 kg/m³);
- $E_{L/S=10}$ = cumulatieve uitloging van een bouwstof door percolatie tot $L/S = 10$, bepaald volgens NEN 7340 uitgedrukt in mg/kg;
- a = correctie voor uitloging van een bouwstof in het laboratorium in de praktijk in mg/kg;
- h = hoogte waarin de bouwstof in het werk wordt aangebracht (standaard op 0,7 m en minimaal 0,2 m) en
- $f_{ext,n}$ = extrapolatiefactor om de uitloging van niet-vormgegeven bouwstoffen en vormgegeven bouwstoffen waarvan de uitloging niet-diffusie bepaald is, bij een kort durende laboratoriumproef naar uitloging over 100 jaar te extrapoleren.

De extrapolatiefactor wordt bepaald aan de hand van de volgende formule (2).

$$f_{ext,n} = \frac{1 - e^{\left(-\kappa \times \frac{t \times N_i}{d_b \times h}\right)}}{1 - e^{(-\kappa \times 10)}} \quad (2)$$

Waarin:

- k constante, die een maat is voor de snelheid van uitloging afhankelijk van de betreffende component,
- t tijd in jaren die voor chloride en sulfaat op 1 en voor de overige componenten op 100 jaar wordt gesteld;
- N_i effectieve infiltratie van regenwater in Nederland, voor gebruik van categorie 1- bouwstoffen wordt gesteld op 300 mm/jaar en voor gebruik van categorie 2- bouwstoffen wordt gesteld op 6 mm/jaar.

In onderstaande tabel zijn voor de geanalyseerde componenten de emissie, a-waarden, k- waarden, de berekende extrapolatiefactoren voor categorie 1 en 2 benadering en de maximaal toelaatbare emissie uit het bouwstoffenbesluit gegeven. Rechts bovenin de tabel zijn de gebruikte constanten gegeven voor berekening van de extrapolatiefactor. De weergegeven factoren zijn berekend met de minimale hoogte van 0,2 m.

Indien de gemeten emissie lager is dan de a-waarde komt een negatief resultaat uit de formules. Aangezien een negatieve immissie niet waarschijnlijk en in ieder geval lager dan de mti is, wordt de uitkomst op 0 gesteld.

De resultaten van de berekeningen en de toetsing aan de grenswaarden is gegeven in tabel 1.

Tabel 1 Berekeningen op basis van resultaten kolomproef L/S = 10, getoetst aan Bouwstoffenbesluit, hoogte werk is 0.2 m.

Element	Immissie Categorie 1 [mg/m ²]	Immissie Categorie 2 [mg/m ²]	Maximaal toelaatbare emissies [mg/m ²]
As	0	0	435
Ba	1700	430	6300
Cd	0	0	12
Co	0	0	300
Cr	5900	1700	1500
Cu	62	26	540
Mo	500	240	150
Ni	0	0	525
Pb	0	0	1275
Sb	0	0	39
V	910	85	2400
Zn	0	0	2100
Cl	1200000	31000	87000/30000
F	17000	6000	14000
Br	7500-22000	3700 -11000	300
SO ₄	2000000	48000	100000/45000

getal = **kleiner** dan maximaal toelaatbare immissie
getal = **groter** dan maximaal toelaatbare immissie

Voor het storten van de assen dient getoetst te worden aan de grenswaardennotitie (zie hoofdstuk 4, bijlage 4). De resultaten van deze toetsing zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Resultaten van kolomproef $L/S = 1$, getoetst aan Grenswaardennotitie.

Element	Emissie $L/S = 1$	Grenswaarde U_0	Grenswaarde U_1
As	0,0025	9	9
Ba	0,54	20	60
Cd	0-0,0020	0,05	0,2
Co	0-0,010	2	6
Cr	13	30	30
Cu	0,12	7	10
Mo	1,0	0,04	3
Ni	0,01	8	10
Pb	0,023	4	25
Sb	0-0,0010	0,1	0,8
V	0,12	0,4	20
Zn	0,15	10	40
Cl	8800	50000	50000
F	44	25	280
Br	26	15	160
SO ₄	13000	80000	80000

getal = **lager** dan U_0 en U_1 grenswaarden

getal = **hoger** dan U_0 en kleiner dan U_1 grenswaarden

Bijlage 4 Algemeen overzicht van relevante wet- en regelgeving

Afval- en reststoffen die in Nederland vrijkomen kunnen op een aantal manieren worden verwijderd. Binnen het afvalstoffenbeleid van VROM wordt het zogenoemde 'ladderconcept' gehanteerd. Deze prioriteitsvolgorde van verwijderingsmethoden geeft in afnemende mate de meest optimale verwerkingsmethode van een afval- of reststof [1]:

1. preventie en hergebruik;
Dit is de meest directe methode om de hoeveelheid afvalstoffen te beperken.
2. nuttige toepassing;
Deze methode onderscheidt zich van hergebruik doordat de functie van het materiaal verandert.
3. verwerken van het produkt zoals reinigen, scheiden, verbranden enzovoort;
Hierbij worden milieuverontreinigende stoffen gescheiden, afgebroken of teruggewonnen. Voorkomen dient te worden dat afvalstoffen worden geïmmobiliseerd welke ook op andere wijze verwerkbaar zijn, zodat er geen grondstoffen onnodig aan de gebruiksketen worden onttrokken.
4. immobiliseren en vervolgens nuttig toepassen van het produkt;
In tegenstelling tot het vorige punt ontstaat er geen 'schoon' produkt.
5. immobiliseren en vervolgens storten van het produkt;
Verwerken van afval gevolgd door storten kan de voorkeur hebben boven het direct storten van afval immers, door de sterke verminderde uitloging wordt een milieuhygiënisch voordeel behaald. Doordat een minder stringent pakket aan isolatie-eisen aan de stortplaats gesteld kan worden, kan het verwerken en storten van de materialen tevens economische voordelen hebben ten opzichte van storten van niet verwerkt afval (bijvoorbeeld C₂-afval tot C₃-afval opwerken).
6. direct storten.
Voor afvalstoffen waarvoor de bovenstaande verwerkingsmethodes geen oplossing bieden is berging de enig overgebleven oplossing. Het storten van afval heeft de laagste prioriteit; een stortplaats zal een blijvend probleem vormen door de noodzaak tot permanente nazorg.

De assen die ontstaan door het verbranden van afvalhout, zijn restprodukten die resten bij verwerking zoals beschreven onder punt 3. Voor deze assen zijn de volgende verwijderingsmethoden in principe mogelijk:

1. nuttige toepassing zonder bewerking;
2. opwerken door middel van reinigen, scheiden en dergelijke;
3. verwerken en vervolgens nuttig toepassen van het produkt;
4. verwerken en vervolgens storten van het produkt;
5. direct storten.

Gezien de diversiteit van de verwijderingsmogelijkheden is de wet- en regelgeving die bij de betreffende verwijdering behoort in verschillende wettelijke kaders opgesteld. Dit is in het hiernavolgende behandeld.

Ad 1 Nuttige toepassing zonder bewerking

Nuttig toepassen van het materiaal zonder dat het ingrijpend wordt veranderd lijkt mogelijk als we denken aan toepassing in de land- en tuinbouw als bodemverbeteraar.

Het gebruik van meststoffen kan bijdragen tot een betere structuur van de grond, wat van belang is voor een goede opname van voedingsstoffen door de gewassen. De primaire voedingsstoffen zijn kalium, stikstof en fosfor en een aantal op zich voor gewassen noodzakelijke elementen als koper, magnesium en ijzer. Daarnaast kunnen bodemverbeteraars stoffen bevatten die niet noodzakelijk zijn voor het gewas, bijvoorbeeld bepaalde zware metalen.

Voor het op de bodem brengen van bodemverbeteraars als meststof dient voldaan te worden aan de voorschriften uit de Meststoffenwet en de Wet bodembescherming [14]. Op grond van de Meststoffenwet 1986 kunnen kwaliteitseisen worden gesteld en op basis van de Wet Bodembescherming doseringsregels. Op dit ogenblik is dit alleen uitgewerkt in het BOOM voor zuiveringsslib, compost en zwarte grond met betrekking tot kwaliteitseisen voor zware metalen. Voor het op de bodem brengen van andere materialen als meststof is een ontheffing vereist van het Rikilt vanwege de Meststoffenwet 1947. Hierbij wordt met name gelet op de landbouwkundige aspecten van de reststof. Op basis van de Meststoffenwet 1986 zijn voor dergelijke stoffen nog geen kwaliteitseisen gesteld. Wel zal bij het gebruik op de bodem voldaan moeten worden aan een algemeen artikel van de Wet Bodembescherming omtrent de 'zorgplicht' voor de bodem. Hiervoor bestaat op dit ogenblik geen landelijk milieuhygiënisch toetsingskader. Wel kan gesteld worden dat bodemverbeteraars zonder bezwaar op de bodem gebracht kunnen worden wanneer ze voldoen aan de streefwaarden bodemkwaliteit uit 'Beleidsstandpunt over de Notitie Milbowa', d.d. 5-2-1992 [2]. In de drie Noordelijke provincies zijn deze streefwaarden als toetsingskader opgenomen in de Provinciale milieuverordening met betrekking tot het verlenen van een ontheffing voor het gebruik van organische meststoffen op de bodem.

Ad 2 Opwerken van het produkt zoals reinigen, scheiden

De concentraties aan elementen in een reststof kunnen dusdanig hoog zijn dat het de moeite loont deze terug te winnen. Dit kan bijvoorbeeld door middel van pyro- of hydrometallurgie. Andere veel gebruikte wijzen van opwerken van afvalstromen is het scheiden in minder en meer verontreinigende fracties, wassen, extractie, enzovoort.

Er is geen milieuhygiënisch wettelijk kader voor het opwerken van afval- en reststoffen. Het wettelijk kader heeft betrekking op de uiteindelijke bestemming van de overgebleven materiaalstromen.

Ad 3 Verwerken en vervolgens nuttig toepassen van het produkt

Als directe toepassing niet mogelijk is kan onderzocht worden of de assen te verwerken zijn tot een produkt dat nuttig toepasbaar is. Er ontstaat vaak een anorganisch materiaal dat bijvoorbeeld als produkt in de bouw kan worden toegepast. In dit kader is het Bouwstoffenbesluit vastgesteld om de mogelijke milieubelasting door uitloging van stoffen naar de bodem en het grondwater bij nuttig gebruik van afvalstoffen op bepaalde wijze en onder bepaalde randvoorwaarden te laten geschieden. Als uitgangspunt hiervoor is door de overheid een zogenaamde maximale toegelaten belasting (ofwel een 'marginale bodembelasting') gedefinieerd, en wel als volgt [2]:

Een belasting tengevolge van uitloging uit een bouw materiaal, die leidt tot een toename van een stof in de vaste fase van de bodem van 1 % ten opzichte van de streefwaarde bodemkwaliteit in 100 jaar, gemiddeld over de eerste meter van een als homogeen te beschouwen bodem.

De hierboven genoemde belasting is in feite een maximaal toelaatbare immissie in de bodem, ten gevolge van een emissie uit een bouwstof.

Om op basis van het Bouwstoffenbesluit te bepalen op welke wijze een materiaal toegepast kan worden, is in het Bouwstoffenbesluit gekozen voor het uitvoeren van de kolomproef (volgens NEN 7343) en de diffusieproef (volgens NEN 7345).

Kolomproef

Voor het meten van de emissie uit een granulaire, ofwel **niet-vormgegeven** bouwstof, is in het Bouwstoffenbesluit gekozen voor de kolomproef. Hiermee wordt de afgifte van een bepaalde component uit de bouwstof gemeten als functie van de L/S-verhouding (= Liquid/Solid). De beoordeling volgens het Bouwstoffenbesluit vindt plaats op basis van de cumulatieve afgifte (=emissie) tot en met een L/S-verhouding van 10 l/kg bouwstof. Deze cumulatieve emissie wordt uitgedrukt in mg/kg bouwstof.

Omdat niet alleen de emissie bepalend is voor de immissie naar de bodem en het oppervlaktewater, wordt de **emissie** omgerekend naar de in de werkelijkheid te verwachte **immissie**. Voor de beoordeling van de actuele uitloging uit granulaire producten wordt daarom de gemeten cumulatieve emissie (mg/kg bij L/S = 10 volgens de kolomproef) omgerekend naar een immissie (I_b) volgens de volgende formules:

$$I_b = (E_{\text{gem., l/s}=10} - a) \times d_b \times h \times f_{\text{ext-N}}(h, k, N_i) < mti$$

waarbij:

- $f_{\text{ext-N}} = (1 - e^{(-k \times t \times N_i)/(1550 \times h)}) / (1 - e^{-k \times 10})$
- a = correctie factor afhankelijk van element
- h = hoogte van het werk
- d = dichtheid bouwstof, standaard gesteld op 1550
- k = component-constante

t = 1 voor anionen, 100 voor overige componenten
 N^i = 300 voor categorie 1 toepassingen en 6 voor categorie 2 toepassingen
 mti = maximaal toelaatbare immissie

De a- en k-waarden als mede de maximale toelaatbare immissie zijn in bijlage 5 gegeven. Het betreft hier alleen anorganische verontreinigingen.

Voor organische verontreinigingen zijn eisen gesteld aan de samenstelling van de bouwmaterialen omdat hiervoor nog geen adequate uitloogproeven zijn ontwikkeld. De maximale concentraties aan organische verontreinigingen zijn in bijlage 6 samengevat.

Er zijn geen samenstellingsnormen opgenomen voor anorganische verontreinigingen in bouwstoffen die geen bodem worden. Bouwmaterialen die bodem worden moeten worden getoetst aan de streefwaarden bodemkwaliteit (zie Ad 1.).

Diffusieproef

Voor het meten van de emissie uit een **vormgegeven bouwstof** (dat wil zeggen groter dan 50 cm³) is in het Bouwstoffenbesluit de diffusieproef voorgeschreven. Met deze proef wordt de diffusiegecontroleerde afgifte van componenten uit het materiaal gemeten over een periode van 64 dagen. De gemeten emissie na 64 dagen wordt uitgedrukt in mg/m² produktoppervlak. Met de gegevens uit deze proef wordt de effectieve diffusiecoëfficiënt berekend. Vervolgens worden, evenals bij de kolomproef, de emissie (in mg/m² produktoppervlak) omgezet in immissies (in mg/m² bodemoppervlak) [2, 3]:

$$I_b = E_{\text{gem, 64 dagen}} \times f_{\text{ext}}(h, x\%, D_e) \times f_{\text{temp}} < mti$$

waarin:

$E_{\text{gem, 64 dagen}}$ = gemeten emissies na 64 (mg/m²)
 f_{ext} = factor voor extrapolatie van de in 64 dagen gemeten emissie naar de immissie in de bodem in de praktijksituatie in 100 jaar
 f_{temp} = correctiefactor voor het verschil in temperatuur tussen de situatie in de praktijk en de situatie in het laboratorium, gemiddeld 10 °C in praktijk en 20 °C in laboratorium.

De correctiefactoren zijn in bijlage 7 aangegeven.

Voor organische componenten uit vormgegeven materialen zijn de uitloogproeven nog in ontwikkeling en tot die tijd zijn samenstellingseisen opgegeven (zie bijlage 6).

Afhankelijk van het uitlooggedrag (anorganische verontreinigingen) en de samenstelling (organische verontreinigingen) kan een bouw materiaal worden ingedeeld in categorie 1 of categorie 2 toepassing. Voor deze categorieën geldt respectievelijk:

- categorie 1 bouwstoffen: zowel bij gebruik op de ‘droge’ bodem als op de waterbodem/in oppervlaktewater is als enige eis gesteld dat het materiaal terugneembaar moet worden gebruikt. Gedurende het gebruik moet er op worden toegezien dat de bouwstoffen zich niet met de bodem vermengen.
- categorie 2 bouwstoffen: naast de eisen gesteld voor categorie 1 bouwstoffen, is gesteld dat grotere hoeveelheden bijeen moeten worden gebruikt (algemeen: minimaal 10.000 ton, met uitzondering van de wegenbouw: minimaal 1.000 ton) en dat het materiaal alleen boven het grondwater kan worden toegepast met een bovenafdichting [5].

Ad 4,5 (Verwerken en vervolgens) storten van het produkt

Het afvalstoffenbeleid in Nederland is erop gericht de hoeveelheid te storten afvalstoffen sterk terug te dringen. In 1990 werd circa 15 miljoen ton afval gestort. In 1993 is deze hoeveelheid gereduceerd tot 13 miljoen ton en de nog niet geheel uitgewerkte gegevens voor 1994 geven een indicatie dat deze hoeveelheid sterk verder daalt (onder andere ‘GFT-effect’). Uiteindelijk is de doelstelling voor het jaar 2000 om nog slechts 5 miljoen ton afval te storten. Verwerkbaar afval mag dan niet meer gestort worden. Momenteel kan hieraan niet worden vastgehouden omdat er onvoldoende verwerkingscapaciteit aanwezig is.

Voor het storten van gevaarlijk afval wordt er echter wel vanuit gegaan dat alleen niet-verwerkbaar afval gestort mag worden. Eén van de belangrijkste criteria voor verwerkbaarheid is het organische stofgehalte; deze gedeeltelijke organische afvalstoffen kunnen verbrand worden.

In deze paragraaf wordt, zover mogelijk, concreet aangegeven op welke manier het stortbeleid in Nederland wordt uitgevoerd. Ten eerste wordt de indeling voor het storten van afval gegeven en vervolgens de toekomstige stortverboden [15].

Indeling voor afval

Voordat beoordeeld wordt op welke wijze een afvalstof verwijderd dient te worden, zal de vraag beantwoord moeten worden of de betreffende stof als afvalstof moet worden aangemerkt. Als het materiaal geen afvalstof is, dan hoeft het niet verder getoetst te worden aan BAGA en de grenswaarden die voor het storten van afval zijn gesteld.

Het begrip ‘afvalstof’ is door de wet- en regelgeving gedefinieerd, echter interpretatie blijft in een aantal gevallen noodzakelijk. Een uitspraak wordt in veel gevallen gedaan op basis van jurisprudentie. In gevallen waarin de toepassing aanleiding tot bodemverontreiniging kan geven, wordt geredeneerd dat een dergelijke toepassing alleen zou kunnen met in acht neming van voorschriften. In een dergelijk geval blijft het een afvalstof.

Verder wordt in dit kader van belang geacht dat:

de technische en kwaliteitseisen alsmede de milieuhygiënische eigenschappen van de stof dusdanig zijn dat het materiaal **volledig en zonder voorbewerking of zonder nadere voorzieningen** kan worden ingezet als (secundaire) grondstof in een verwerking die niet lijkt op afvalberging.

Dit belangrijk punt wordt momenteel onderzocht door VROM¹⁾ en wordt waarschijnlijk bij AmvB geregeld.

Als een stof aangemerkt wordt als afvalstof, kan met behulp van het beslisschema op de volgende pagina (uit 'Grenswaardennotitie, storten gevaarlijk afval', mei 1993 [4]) bekeken worden op welke wijze de verwijdering kan plaatsvinden.

Hieronder wordt bovenstaand beslisschema puntsgewijs toegelicht.

Is het gevaarlijk afval?

Om te beoordelen of een afvalstof al dan niet onder de categorie 'gevaarlijk afval' valt, wordt het getoetst aan het 'Besluit Aanwijzing Gevaarlijk Afval' (BAGA). Dit is een toetsing aan de hand van de samenstelling van de afvalstof.

Is het zeer gevaarlijk afval?

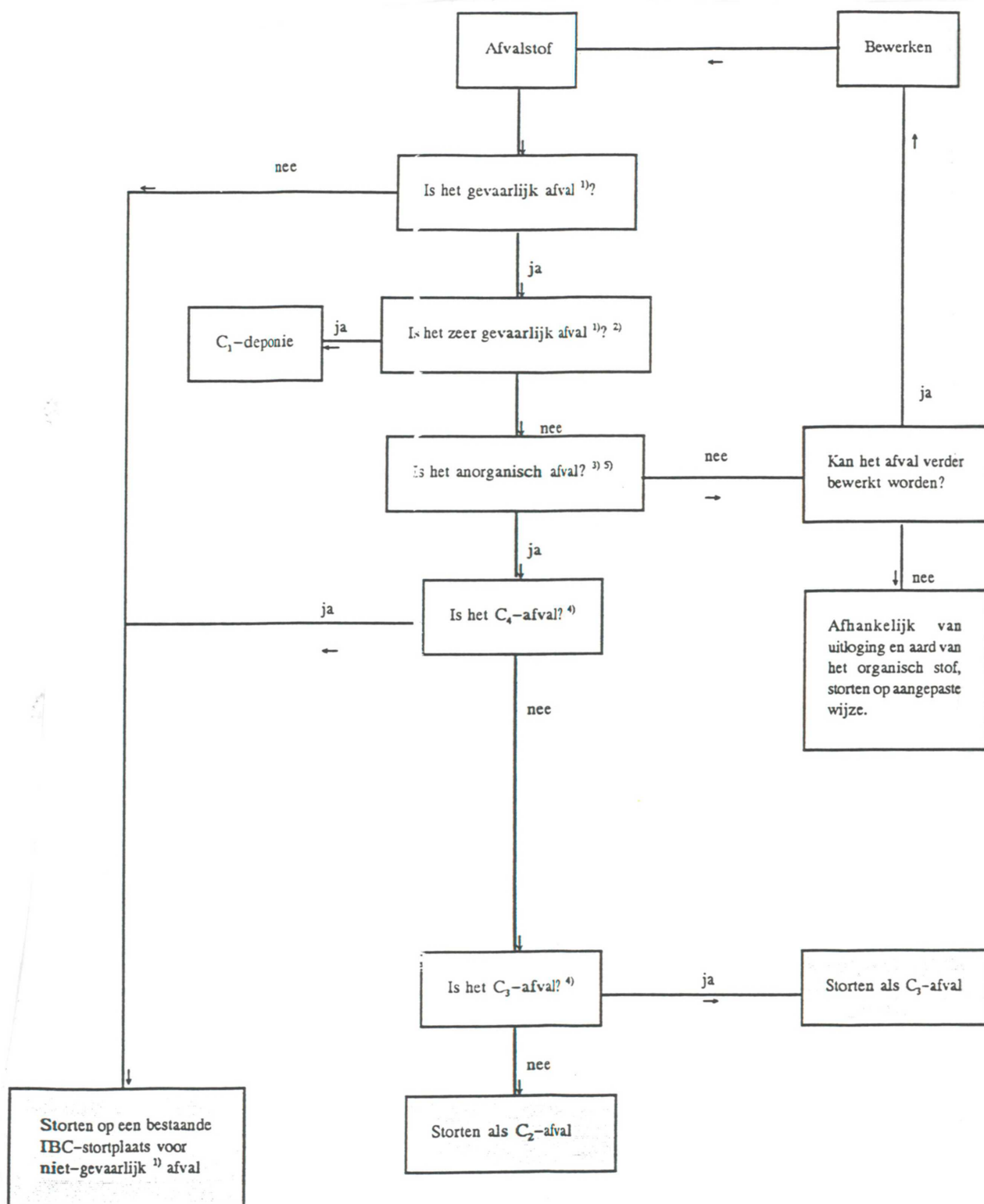
Op dit moment wordt alleen kwikhoudend afval en hardingszouten (vanwege cyaniden) als zeer gevaarlijk afval bestempeld (zogenoemde C₁-afvalstoffen, 1000 tot 1200 ton in 1994). Dit wil zeggen dat voor deze stoffen geen verwerkingsmogelijkheden zijn en ook geen deponie aanwezig is. Kwikhoudend afval wordt momenteel naar Duitsland geëxporteerd waar het verpakt in zoutmijnen wordt opgeslagen. Deze mijnen zijn dusdanig droog (door het zout) dat er geen degradatie van de verpakking van het afval wordt verwacht.

Het uitvoeren van afval naar het buitenland wordt gezien als een ongewenste situatie. Het is dan ook de bedoeling dat kwikhoudend afval in de toekomst in Nederland verwerkt wordt.

Is het anorganisch afval?

Het is nog niet mogelijk om een betrouwbaar beeld te krijgen van de uitloogbaarheid van afvalstoffen onder invloed van andere gestorte afvalstoffen. Wel is bekend dat de mobiliteit van anorganische componenten toeneemt onder invloed van verteerbaar afval. Om deze reden is de toetsing van de hoeveelheid anorganisch materiaal ingevoerd.

¹⁾ De vraag of een materiaal al dan niet aangemerkt moet worden als afvalstof is eveneens van belang voor de toepassingsmogelijkheden van een materiaal. Indien een afvalstof na bewerking (bijvoorbeeld immobilisatie) een produkt oplevert dat als afvalstof wordt gezien, zal het produkt getoetst moeten worden aan BAGA. Hieruit volgt dat het betreffende produkt naast toetsing op basis van het uitlooggedrag (ontwerp Bouwstoffenbesluit) ook getoetst moet worden met betrekking tot de samenstelling.



¹⁾ Tot het inwerkingtreden van het hoofdstuk Afvalstoffen van de Wet Milieubeheer dient hiervoor chemisch afval gelezen te worden.

²⁾ Criteria voor dit onderscheid moeten nog nader worden bepaald. Uitgangspunt is nu, dat geen verwerkingsmogelijkheden en deponie beschikbaar is.

³⁾ Een afvalstof is anorganisch als de gloeirest, bepaald overeenkomstig NEN 6620, 90% of meer van de massa van een representatief monster is.

⁴⁾ Zie § INDELING AFVALSTOFFENCATEGORIEËN

⁵⁾ Dit is niet van toepassing voor zover het niet-reinigbare verontreinigde grond betreft.

Een afvalstof is anorganisch als de gloeirest, bepaald overeenkomstig NEN 6620, 90 % of meer is van de massa van een representatief monster. In veel gevallen zal niet-anorganisch afval verbrand kunnen worden.

Deze toets hoeft niet uitgevoerd te worden als de afvalstof op basis van BAGA gezien wordt als 'niet-gevaarlijk afval'.

Is het C₄, C₃ of C₂ afval?

Aan de hand van uitloogwaarden, kan bepaald worden op welke wijze de afvalstof gestort dient te worden (C₂, C₃, C₄) [4]. Momenteel gaat jaarlijks circa 12.000 ton naar de C₂-deponie en 310.000 ton naar een C₃-deponie.

In de grenswaardennotitie wordt de kolomproef tot L/S = 1 voorgeschreven voor het bepalen van het uitlooggedrag. De opgestelde grenswaarden zijn weergegeven in bijlage 8. De U₀ en U₁ waarden in deze bijlage geven de volgende grenzen aan:

C ₂ :	Uitloogwaarde	< U ₁
C ₃ :	U ₁ < Uitloogwaarde	< U ₀
C ₄ :	Uitloogwaarde	> U ₀

Bij de kolomproef wordt een materiaal verkleind totdat minimaal 95 % van het materiaal een zeef van 4 mm passeert.

Dit wil dus zeggen dat de afvalstof verkleind moet worden alvorens het uitlooggedrag bepaald kan worden. Dit geeft voor vormgegeven afvalstoffen een te negatief beeld van de werkelijkheid omdat de fysische immobilisatie teniet gedaan wordt. Een beter toetsingskader wordt gevonden als voor vormgegeven afvalstoffen uitgegaan wordt van de diffusieproef. De grenswaarden voor uitloogresultaten door middel van de diffusieproef worden dit jaar verwacht.

In Nederland is slechts één C₂-deponie ingericht. Deze betonnen bak met schuifbare bovenafsluiting kan in totaal 230.000 ton afval bergen. In 1993 werd nog 25.000 ton naar deze deponie afgevoerd. Momenteel is dit verminderd tot circa 12.000 ton per jaar. Met dit 'vultempo' is de deponie in 6 jaar vol. Echter, door allerlei verwerkingsmogelijkheden in de nabije toekomst wordt verwacht dat vanaf 1998 slechts circa 200 ton per jaar wordt gestort.

Om de hoeveelheid afval op de C₂-deponie te beperken is gesteld dat afvalstoffen die vrijkomen in grotere hoeveelheden dan 5 kton per jaar, niet gestort mogen worden op deze deponie. Voor deze afvalstoffen zijn monodeponieën opgezet (bijvoorbeeld AVI-vliegas, slakken van verbranding chemisch afval, chroomhoudend afval, asbest, baggerspecie).

De kosten liggen rond f 700,- per ton.

Door verwerking van afval (bijvoorbeeld immobilisatie) kan het zijn dat een 'C₂-afvalstof' opgewerkt wordt tot een 'C₃-afvalstof'. Volgens een nog niet officieel vastgesteld beleid zal een afvalstof die op deze wijze tot een 'C₃-afvalstof' is bewerkt, alleen gestort mogen worden op een **monodeponie** met voorzorgsmaat-

regelen zoals voorgeschreven voor een C₃-deponie. De gedachtengang die hieraan te grondslag ligt is dat een deponie opgezet wordt 'voor eeuwig' en dat er geen garantie is dat immobilisatie voor altijd duurzaam zijn.

Storten op een bestaande IBC-stortplaats voor niet-gevaarlijk afval

Niet-gevaarlijk afval wordt naar een IBC stortplaats afgevoerd. De 3000 oude stortplaatsen zullen gemoderniseerd of geconserveerd moeten worden. Verwacht wordt dat uiteindelijk slechts 50-80 stortplaatsen open blijven.

Stortverboden

Recent (27 juni 1995) is het Besluit stortverbod afvalstoffen van kracht geworden waarin een stortverbod is geregeld binnen inrichtingen voor aangewezen categorieën van afvalstoffen. Hierin zijn 32 afvalstoffen specifiek genoemd worden met bijbehorende ingangsdatum. De ingangsdatum van het stortverbod is per afvalstof bepaald aan de hand van de verwerkingsmogelijkheden en de capaciteit nu en in de toekomst. In 2000 zullen alle stortverboden in werking zijn getreden.

Het bevoegd gezag kan in de vergunning van de stortplaats afwijken van een stortverbod, indien blijkt dat het produkt dat bij verwerken van de afvalstof ontstaat niet afzetbaar is, bij een tijdelijk gebrek aan verwerkingscapaciteit en bij een ongewoon voorval.

Deze ontheffing zal gegeven worden aan de bewerkers van afvalstoffen en niet aan de ontdoeners van de afvalstof.

Bijlage 5 Basisgegevens met betrekking tot de berekening van normwaarden o-BsB en StB

Element	Streefwaard en bodem mg/kg	Maximaal toelaatbare immissie mg/m ² /100j	Bijgestelde waarden ten behoefte van BsB	a = Egrond ¹⁾	k ²⁾
As	29	435	6.300	0,7	0,03
Ba	200	3.000		0,9	0,15
Cd	0,8	12		0,021	0,5
Co	20	300		0,18	0,2
Cr	100	1.500		0,09	0,18
Cu	36	540		0,25	0,28
Hg	0,3	4,5		0,016	0,05
Mo	10	150		0,15	0,35
Ni	35	525		0,63	0,29
Pb	85	1.275		0,8	0,27
Sb	2,6	39		0,02	0,11
Se	1	15		0,03	0,38
Sn	20	300		0,03	0,19
Sr					
V	68	1.020		0,4	0,05
W					
Zn	140	2.100		2	0,28
Br	20	300	87.000 ^{#)}	2,6	0,35
Cl	100.000 ^{*)}	30.000 ^{*)}		51	0,57
F	500	7.500		1,5	0,22
S04	150.000 ^{*)}	45.000 ^{*)}		118	0,33
CN-compl.	5	75		0	0,35
CN-vrij	1	15		0	0,35

^{*)} = in grondwater, in µg/l

^{*)} = in mg/m²/1 jaar

^{#)} = alleen voor niet-vormgegeven bouwstoffen

¹⁾ Correctiefactor voor de uitloging van een bouw materiaal in de praktijk (in mg/kg), overeenkomend met de emissie van de betreffende component uit natuurlijke grond.

²⁾ Een component-gebonden constante, die een maat is voor de snelheid van uitloging van de betreffende component.

Bijlage 6 Samenstellingseisen ten aanzien van organische componenten

Verbinding	Samenstellingseisen	
	Niet-vormgegeven materialen [mg/kg]	Vormgegeven materialen [mg/kg]
Benzeen	1,25	1,25
Ethylbenzeen	1,25	1,25
Tolueen	1,25	1,25
Xyleen	1,25	1,25
Fenolen	1,25	1,25
Aromaten (totaal)	-	-
Naphthalene	5	5
Phenanthrene	20	20
Anthracene	10	10
Fluoranthene	35	35
Chrysene	10	10
Benzo(a)anthracene	50	50
Benzo(a)pyrene	10	10
Benzo(k)fluoranthene	50	50
Indeno(1,2,3cd)pyrene	50	50
Benzo(ghi)perylene	50	50
PAH's (totaal)	75	75
PCB's (totaal)	0,5	0,5
EOCI (totaal)	3	3
Organochloor pesticide (totaal)	0,5	0,5
Chloor-vrije pesticide (totaal)	0,5	0,5
Minerale olie	500	500

	categorie 1 type A (x%=100%)	categorie 1 type B (x%=10%) en categorie 2 (x%=10%)	
pDe (afge- rond)	f _{ext V}	f _{ext v}	f _{tcm}
	DIKTE VAN HET BOUWMATERIAAL (h)	DIKTE VAN HET BOUWMATERIAAL (h)	
	0.1 m 0.2 m 0.3 m 0.5 m 0.7 m 1 m 2 m 10 m	0.1 m 0.2 m 0.3 m 0.5 m 0.7 m 1 m 2 m 10 m	
5	1 1 1 1 1 1 1 2	1 1 1 1 1 1 1 2	0.7
6	1 1 1 1 1 1 1 5	1 1 1 1 1 1 1 5	0.7
7	1 1 1 1 1 2 3 15	1 1 1 1 1 2 3 5	0.7
8	1 1 2 2 3 5 10 15	1 1 2 2 3 5 5 5	0.7
9	2 3 5 8 11 15 15 15	2 3 5 5 5 5 5 5	0.7
10	5 10 15 15 15 15 15 15	5 5 5 5 5 5 5 5	0.7
pD _e ≥11	15 15 15 15 15 15 15 15	5 5 5 5 5 5 5 5	0.7
Cl₂ SO₄	2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4 2.4	0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	0.7

Bijlage 8 Grenswaarden StB

Parameter	U ₀ mg/kg	U ₁ mg/kg
As	9	9
Ba	20	60
Cd	0,05	0,2
Co	2	6
Cr	30	30
Cu	7	10
Hg	0,1	0,1
Mo	0,04	3
Ni	8	10
Pb	4	25
Sb	0,1	0,8
Se	0,02	0,3
Sn	0,1	6
Sr	1	5
W	0,2	0,5
V	0,4	20
Zn	10	40
Br	15	160
Cl	50.000	50.000
CN-totaal	0,4	5
CN-vrij	0,2	3
F	25	280
SO ₄	80.000	80.000
gem. pH (tot L/S = 1)	5 - 13	3 - 13