

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

Rapport nr. 601503 012

Bronnen van molybdeen in AVI-reststoffen

L.J. Brandes, L.G. Wesselink, P.J. Meijer

Juni 1998

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van VROM, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid, Straling in het kader van project Bestaande Stoffen, nr. 601503.

VERZENDLIJST

- 1 Directie Stoffen, Veiligheid, Straling, dr. C.M. Plug
- 2 Mw. drs. M.J.M. Knops, DGM/SVS
- 3 Mw. ir. I. Burger, DGM/HIMH
- 4 Ir. W.M.A.J. Willart, DGM/A
- 5 Ing. M.J.G.A. Adams, DGM/A
- 6 Dhr. dr. G. Rouweler, Philips Lighting B.V., Eindhoven
- 7 Dhr. A.C. Winkelaar, VVVF, Leiden
- 8 Dhr. H.J. Schagen, Climax Molybdenum B.V., Rozenburg
- 9 Dhr. M. Smeets, Metrex B.V., Heerlen
- 10 Drs R.F. Duzijn, Tauw Milieu B.V., Deventer
- 11 Ir. J.J. Steketee, Tauw Milieu B.V., Deventer
- 12 Ir. R. Veelenturf, VVAV, Utrecht
- 13 Dr. J.P. Born, VVAV, Utrecht
- 14 Dhr. E. Schenk, DCMR, Schiedam
- 15 Dhr. J. Mom, Prov. Noord Holland
- 16 Dhr. C. de Vries, AVI Amsterdam
- 17 Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
- 18 Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 19 Drs. L.H.M. Kohsiek, RIVM/LAE
- 20 Mw. dr. M.A.J. Kuijpers-Linde, RIVM/LAE
- 21 Dr. Th.G. Aalbers, RIVM/LAE
- 22 A.A.J. Cornelissen, RIVM/LAE
- 23 Dr. A.L.M. Dekkers, RIVM/CIM
- 24-26 Auteurs
- 27 SBD/Voorlichting & Public Relations
- 28 Bureau Rapportenregistratie
- 29 Bibliotheek RIVM
- 30-40 Bureau Rapportenbeheer
- 41-50 Reserve-exemplaren

VOORWOORD

Het in dit rapport beschreven onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM/DGM/SVS binnen het kader van het project Bestaande Stoffen-Nationaal nr. 601503.

Hierbij willen wij iedereen bedanken die een bijdrage heeft geleverd aan de inhoud van dit rapport. Met name willen wij de VVAV bedanken voor het beschikbaar stellen van de AVI-gegevens en Arnold Dekkers (RIVM) voor de statistische analyse. Gedurende dit onderzoek zijn veel bedrijven benaderd voor informatie over molybdeen. In vrijwel alle gevallen werd de gevraagde informatie spontaan verstrekt. Zonder deze informatie was het onderzoek onmogelijk geweest. Gezien de soms vertrouwelijke informatie zijn er geen bedrijfsnamen in dit rapport genoemd.

INHOUD

SAMENVATTING	9
SUMMARY	10
1. INLEIDING	11
1.1 AANLEIDING EN DOELSTELLING	11
1.2 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN	11
1.3 WERKWIJZE	13
2. INVENTARISATIE VAN MOLYBDEEN IN AVI-RESTSTOFFEN EN HUISHOUELIJK AFVAL 15	
2.1 AVI-RESTSTOFFEN.....	15
2.2 GEHALTE MOLYBDEEN IN AVI-RESTSTOFFEN	15
2.3 TIJDREEKS-ANALYSE MOLYBDEEN IN AVI-BODEMAS	17
2.4 VRACHTEN IN HUISHOUELIJK AFVAL EN AVI-RESTSTOFFEN	20
2.4.1 Molybdeenvracht in AVI-reststoffen.....	20
2.4.2 Molybdeenvracht in huishoudelijk afval	20
2.4.3 Input-output balansen voor AVI's.....	22
2.5 CONCLUSIES	24
3. TOEPASSINGEN VAN MOLYBDEEN	25
3.1 MOLYBDEEN IN STAAL.....	26
3.2 MOLYBDEEN-METAAL	28
3.3 KATALYSATOREN	28
3.4 PIGMENTEN IN VERVERN, DRUKINKT EN TONERS	29
3.5 SMEERMIDDELEN.....	30
3.6 EMAILLE	31
3.7 CORROSIE-INHIBITORS	31
3.8 BRANDVERTRAGERS.....	32
3.9 MESTSTOFFEN.....	32
3.10 ANDERE TOEPASSINGEN.....	32
3.11 GROND, ASRESTEN EN ORGANISCH MATERIAAL	33
3.12 BEDRIJFSAFVAL	35
3.13 MOLYBDEEN IN PRODUCTEN IN HUISHOUELIJK AFVAL	36
3.14 CONCLUSIES	37
4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39
5. SLOTBESCHOUWING	41
LITERATUUR	43
BIJLAGE I: LIJST VAN GERAADPLEEGDE BEDRIJVEN EN INSTELLINGEN	47
BIJLAGE II: STATISTISCHE ANALYSE	51
BIJLAGE III: MOLYBDEEN IN ASRESTEN VAN OPEN HAARDEN EN KACHELS	59

SAMENVATTING

Bij de verbranding van huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) komen reststoffen als bodemas, vliegias en rookgasreinigingsresidu vrij. De toepassing daarvan als bouwstof vindt veelal plaats onder strikte milieuhygiënische voorzieningen (isolatiemaatregelen), omdat de uitloging van enkele stoffen, waaronder molybdeen, regelmatig de N2-norm uit het Bouwstoffenbesluit overschrijdt. De kwaliteit van de reststoffen met betrekking tot molybdeen kan mogelijk worden verbeterd door de hoeveelheid molybdeen in het afvalaanbod naar de AVI (AVI-input) te reduceren. Hiervoor is het noodzakelijk een gedetailleerd inzicht te hebben in de herkomst van molybdeen in de AVI-input. In dit rapport wordt een gedetailleerd overzicht gegeven van de toepassingen van molybdeen in produkten en produktieprocessen en de route naar de AVI op basis van informatie van bedrijven, brancheorganisaties, andere instellingen en literatuur.

In het bronnenonderzoek is onderscheid gemaakt naar huishoudelijk afval en bedrijfsafval. Huishoudelijk afval draagt gemiddeld ca. 45-70% bij aan de molybdeenvracht naar de AVI's. Voor huishoudelijk afval is vastgesteld dat een aantal mogelijke bronnen geen relevante bijdrage levert aan de input naar de AVI. Het betreft kunststoffen, verven, toners, pigmenten, electronica, emaille, smeermiddelen en brandvertragers. De grootste bijdrage aan de AVI-input van molybdeen via huishoudelijk afval is de zogeheten 'restfraktie'. Deze verzamelfraktie bestaat onder andere uit organisch materiaal, asresten en grond.

Overig afval, waaronder bedrijfsafval, draagt gemiddeld ca. 30-55% bij aan de molybdeenvracht naar de AVI's. Bronnen van molybdeen in bedrijfsafval die in de AVI's worden verbrand konden niet eenduidig worden vastgesteld. Molybdeen is een dure grondstof waarmee tijdens het produktieproces zorgvuldig wordt omgegaan. Afvalstromen met metallisch molybdeen worden veelal hergebruikt. Potentieel molybdeenhoudende afvalstromen als drukinktslib en zuiveringsslib worden niet in de reguliere AVI's verbrand. Bij rookgasontzwaveling met behulp van Mo-houdende katalysatoren van raffinaderijen komt geen reststroom naar de AVI's vrij. Via bedrijfsafval aangevoerde restanten van smeermiddelen zijn een potentiële bron van molybdeen. De bijdrage hiervan kon niet worden gekwantificeerd. Vastgesteld werd dat de doorlevering van licht verontreinigd afval van AVR-Chemie naar de roosterovens een potentiële bron van molybdeen vormt. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te richten op de analyse van deze stroom (o.a. olie- en tankbodemsldges).

Omdat in het voorliggend onderzoek de bronnen van molybdeen in de AVI-reststoffen niet eenduidig konden worden vastgesteld zijn geen beleidsmatige aanbevelingen mogelijk, die gericht zijn op het reduceren van molybdeen in de AVI-input.

SUMMARY

The re-usability of Municipal Solid Waste Incinerator residues (MSWI residues) as a building material is limited because the leaching of some substances, including molybdenum, does not meet environmental standards. Since the quality of MSWI residues may be improved by reducing the molybdenum load in waste to be incinerated, detailed insight is required into the origin of molybdenum. The inventory of the uses of molybdenum in products, production processes and pathways to the MSWIs presented here is based on information obtained from producers, trade-organisations, research institutes and the literature.

In this source inventory, the MSWI input has been divided into municipal solid waste and industrial waste. Municipal solid waste contributes to about 45% of molybdenum load at the MSWIs. Some potential sources of molybdenum in municipal solid waste do not contribute to the molybdenum load in MSWI input. These are plastics, dyes, toners, pigments, electronics, enamels, lubricants and fire retardants. The largest contribution to the MSWI input by municipal waste is the so-called fraction of residue waste. Sources of molybdenum in this fraction are bio-waste, ash and soil. A more detailed analysis of this fraction is recommended.

Residue waste, i.e., industrial waste, contributes about 55% to the molybdenum load of the MSWIs. Sources of molybdenum in industrial waste to be incinerated could not be determined unequivocally. Molybdenum, an expensive material, is used carefully in production. Industrial waste containing metallic molybdenum is largely re-used. Potential molybdenum containing industrial waste like ink and sewage sludge is not incinerated in the regular MSWIs. Waste flows from flue-gas desulfurisation using Mo catalysts are not supplied to the MSWIs. Lubricant residues in industrial waste form a potential source of molybdenum but the contribution is unknown. Lightly contaminated waste supplied by AVR-Chemie is a potential source of molybdenum at one specific MSWI. Further research is recommended to analyse this waste flow (oil and tankbottom sludges).

Since the sources of molybdenum could not be determined unequivocally in this research, policy measures to reduce the molybdenum load in MSWI-input have not been formulated.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding en doelstelling

Het in Nederland ingezamelde huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar afval wordt voor een belangrijk deel verbrand. In Nederland zijn daarvoor momenteel 11 afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) in bedrijf. Bij de verbranding komen reststoffen als bodemas, vliegashoudend en rookgasreinigingsresidu vrij. Voor het nuttig toepassen van deze reststoffen als bouwstof zijn in het Bouwstoffenbesluit normen op basis van uitloging vastgesteld. Als eerste grenswaarde voor bodemas geldt dat de zogeheten N2 norm voor uitloging niet mag worden overschreden. Voor een aantal stoffen vindt overschrijding plaats van de N2-norm. De 'kritische' stoffen zijn: koper, molybdeen, antimoon en bromide. Gestreefd wordt naar een 100% hergebruik van de reststoffen, maar op basis van de molybdeen- en koper uitloging kon 60% van de kwaliteit AVI-bodemas in 1994 niet als N2-bouw materiaal toegepast worden [1]. De kwaliteit van de reststoffen kan mogelijk worden verbeterd door de samenstelling van het te verbranden afval te verbeteren. Hiervoor is het noodzakelijk een gedetailleerd inzicht te hebben in de herkomst van de genoemde 'kritische' stoffen in de input naar de AVI. Recentelijk zijn diverse studies/onderzoeken uitgevoerd naar bronnen van verontreiniging in de AVI-input [2,3]. Deze studies hebben echter vooralsnog niet voldoende informatie opgeleverd om maatregelen te formuleren om de uitloging van molybdeen te reduceren. In het Implementatieplan AVI-reststoffen is een actiepunten opgenomen inzake een vervolgonderzoek naar de bronnen van molybdeen in AVI-reststoffen [1, actiepunten 3b]. Dit onderzoek is uitgevoerd door het RIVM in opdracht van het Ministerie van VROM/DGM/SVS. De Vereniging van Afvalverwerkers (VVAV) is betrokken bij dit onderzoek voor het leveren van gegevens over de AVI's.

Doelstellingen van het project:

1. *Onderzoek naar de bronnen van molybdeen in AVI-reststoffen. Het onderzoek vindt plaats op basis van literatuurstudie en het inwinnen van informatie over produkten, produktieprocessen en de route naar de AVI bij bedrijven, brancheverenigingen en andere instellingen.*
2. *Indien molybdeenbronnen eenduidig kunnen worden vastgesteld worden mogelijke inputmaatregelen geformuleerd.*

1.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

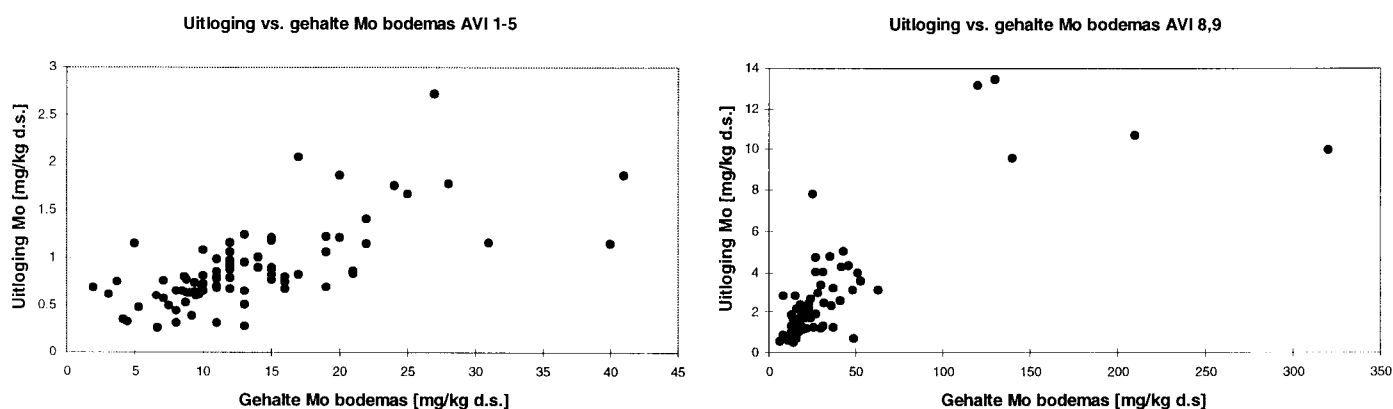
Brongerichte maatregelen voor molybdeen zijn met name effectief wanneer er een directe relatie bestaat tussen het molybdeeraanbod in het te verbranden afval en de uitloging van molybdeen uit de bodemas. In het algemeen echter wordt voor chemische componenten *geen relatie* gevonden tussen totaalgehalte, als maat voor het totale aanbod van molybdeen in afval, en uitloging van de bodemas [4]. Dit leidt er toe dat bij identificatie van belangrijke bronnen in de AVI-input vooronderstellingen moeten worden gemaakt over hun bijdragen aan

de uitloging van bodemmassen [3]. Door die vooronderstellingen wordt de effectiviteit van brongerichte maatregelen (d.w.z. reductie van uitloging) onzeker.

AVI-bodemas uit de lopende productie wordt onmiddellijk na het afzeven en ontijzing bemonsterd. Verse bodemas heeft een hoog pH gehalte. De uitloging van molybdeen is sterk afhankelijk van de pH. Bij een hoge pH is de uitloging van molybdeen heel hoog. Door veroudering van bodemas (normaal minimaal 6 weken) daalt de pH en daardoor zal de uitloging sterk afnemen.

In figuur 1 is de relatie gehalte-uitloging uitgezet, op basis van de door de VVAV beschikbaar gestelde meetgegevens van molybdeen van 7 AVI's over meerdere jaren. Op basis van een statistische analyse worden twee groepen AVI's onderscheiden. AVI's 1-5 met relatief lage gehalten en AVI's 8-9 met relatief hoge gehalten. Voor beide groepen wordt een *significant lineair verband* gevonden tussen gehalte en uitloging (R^2 van 0.53 resp. 0.60) voor gehalten < 100 mg/kg. Dit geeft aan dat de uitloging van molybdeen voor een belangrijk deel wordt bepaald door het gehalte in AVI-bodemas, die de resultante is van alle bronnen in de AVI-input. Uit de grote spreiding rond de lineaire relatie (gemeten aan de lage R^2 van het lineaire model) valt af te leiden dat factoren als i) de chemische toestand waarin molybdeen in de input aanwezig is en ii) chemische processen in de verbrandingsoven, de relatie gehalte-uitloging wel beïnvloeden, maar niet bepalen.

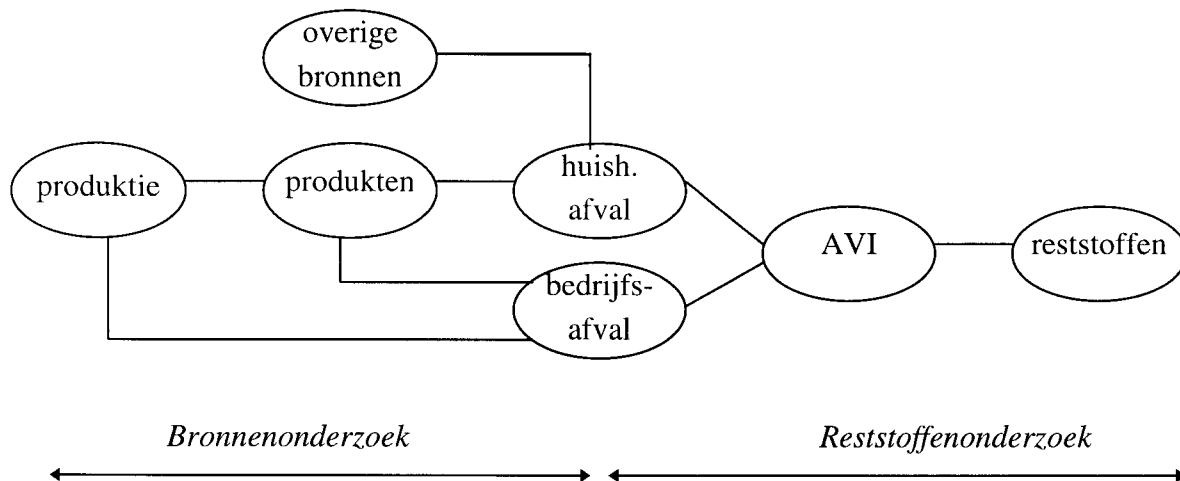
Uitgangspunt in voorliggend bronnenonderzoek is dan ook dat alle bronnen in de AVI-input bijdragen aan de uitloging van molybdeen uit bodemas



Figuur 1 Uitloging versus gehalte van molybdeen in bodemas, AVI 1-5 en AVI 8,9

1.3 Werkwijze

Het onderzoek is opgesplitst in twee delen, i.) een analyse van de AVI-reststoffen en de AVI-input, te weten het huishoudelijk afval en ii.) onderzoek naar de bronnen van molybdeen in AVI-reststoffen (zie Figuur 2).



Figuur 2 Schematische weergave van de werkwijze: op diverse plaatsen in de molybdeen-keten is gezocht naar informatie over bronnen van molybdeen in AVI-input.

In hoofdstuk 2 (reststofonderzoek) wordt ingegaan op molybdeengehalten in reststoffen: de verdeling over de verschillende reststofstromen, verschillen in molybdeengehalten tussen de AVI's en een tijdreeks-analyse van molybdeengehalten in bodemas. Daarnaast wordt in hoofdstuk 2 kort ingegaan op de fysische en chemische samenstelling van huishoudelijk afval op basis van sorteerproeven. Het doel van de analyse van molybdeengehalten in AVI-reststoffen en huishoudelijk afval is mogelijke aanwijzingen te vinden voor bronnen van molybdeen in de AVI-input.

In hoofdstuk 3 (bronnenonderzoek) wordt het 'molybdeen-spoor' verder gevolgd, van toepassing in produkten, het vrijkomen tijdens productieprocessen tot het voorkomen in overige bronnen zoals GFT. Daarbij wordt aandacht besteed aan de molybdeenvrachten en de mogelijke route van het molybdeen naar de AVI.

In hoofdstuk 4 vindt een evaluatie plaats op basis van hoofdstuk 2 en 3 en worden enkele aanbevelingen gegeven voor nader onderzoek. Hoofdstuk 5 geeft een slotbeschouwing.

2. INVENTARISATIE VAN MOLYBDEEN IN AVI-RESTSTOFFEN EN HUISHOUELIJK AFVAL

2.1 AVI-reststoffen

De VVAV heeft de database met meetgegevens van reststoffen van alle AVI's over de jaren 1988-1996 ter beschikking gesteld voor het bepalen van de molybdeenvracht in de AVI-reststoffen. Deze database omvat gegevens over de hoeveelheden reststoffen, de samenstelling van bodemas¹, vliegas² en rookgasreinigingsresidu³ alsmede de uitloging (kolomtest en cascadetest). Bij de verbranding van afval wordt het volume van de afvalstoffen tot ongeveer 10% gereduceerd terwijl het gewicht tot 30% wordt teruggebracht. Per ton verbrand afval komt globaal 225 kg bodemas, 32 kg vliegas, 23 kg schroot en 2-20 kg rookgasreinigingsresidu vrij [1]. In Tabel 1 is de hoeveelheid verbrand afval per AVI per jaar gegeven. De codering van de AVI's is gevolgd zoals aangegeven door de VVAV. Voor AVI 6 en 10 waren nog te weinig gegevens voorhanden over samenstelling en uitloging. Daarom zijn ze voor deze studie buiten beschouwing gelaten.

Tabel 1 Hoeveelheid verbrand afval per AVI (kton)

	1992	1993	1994	1995	1996
AVI 1A ^a	101	100	96	79	n.v.t.
AVI 1B ^a	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	178	437
AVI 2	506	740	771	800	774
AVI 3	319	289	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
AVI 4	173	194	205	214	146
AVI 5	311	278	267	215	260
AVI 6	72	77	72	133	170
AVI 8	282	306	377	350	359
AVI 9	813	863	854	918	967
AVI 10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	304
<i>Totaal</i>	<i>2577</i>	<i>2847</i>	<i>2642</i>	<i>2886</i>	<i>3417</i>

^a AVI 1A is in 1995 vervangen door AVI 1B

2.2 Gehalte molybdeen in AVI-reststoffen

Vliegas heeft over het algemeen een hoger gehalte molybdeen (gem. 64 mg/kg) dan bodemas (gem. 21 mg/kg). Door het aanzienlijk grotere volume van bodemas komt het grootste deel

¹ Onder AVI-bodemas wordt verstaan de as die op het rooster wordt opgevangen in de ontslakker en na de afscheiding van het grof onverbrand, de ontijzering, het breken en zeven, resteert.

² Onder AVI-vliegas wordt verstaan de as uit de ruwe rookgassen welke wordt afgescheiden door middel van bijvoorbeeld een elektrofilter.

³ Rookgasreinigingsresidu (RGRR) is het residu dat opgevangen wordt in de secundaire stofafschrijving ingeval het een (semi-)droge rookgasreiniging betreft, dan wel het residu uit de waswater-neutralisatiestap van de natte rookgasreiniging, nadat het ontwaterd is in een filterpers.

van de molybdeenvracht in de bodemas terecht. Het gehalte molybdeen in rookgasreinigingsresidu (filterkoek) bedraagt gemiddeld 14 mg/kg. De globale verdeling van *molybdeenvracht* over de verschillende AVI-reststoffen is berekend op bodemas: 90 %, vlieggas: 10% en rookgasreinigingsresidu: < 1%. Wel moet worden opgemerkt dat het gehalte molybdeen in alle reststoffen een grote spreiding vertoont en de analyses zijn uitgevoerd op basis van koningswaterontsluiting. Dit geeft een onderschatting van het totale gehalte in de reststoffen ten opzichte van analyses na totaalontsluiting. De gehalten in bodemas, vlieggas en filterkoek per AVI en per jaar zijn gegeven in tabel 2, 3 en 4. De AVI's 8 en 9 produceren AVI-bodemas met een hoger molybdeengehalte van resp. gemiddeld 22 en 36 mg/kg. Het gehalte en ook de uitloging van bodemas van deze AVI's vertonen een veel grilliger beeld in de loop van de tijd dan de andere AVI's. Op basis hiervan is eerder geconcludeerd dat de verschillen in samenstelling en uitloogbaarheid terug te voeren zouden zijn naar specifieke bedrijfsafvalstoffen die bij de twee AVI's aangeboden worden [3]. Een gedetailleerd praktijkonderzoek naar afvalaanbod en uitloging bij AVI 9 heeft echter niet de specifieke bronnen van molybdeen kunnen aanwijzen [2].

Tabel 2 Gemiddelde gehalten molybdeen in bodemas (mg/kg d.s.)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	91-96
AVI 1			7.1	5.8		11.8	8
AVI 2		7.0	10.6	12.1	15.2	15.6	12
AVI 4		10.5	11.9	18.3	23.7	26.7	18
AVI 5	5.7	7.7	7.4	10.3	15.1	14.3	10
AVI 8	15.0	21.5	11.4	17.3	48.8	16.8	22
AVI 9	14.7	13.5	28.8	27.8	31.0	103.0	36
AVI 1 - 9	12	12.5	14	17	26	40	21 ^a

^a de standaarddeviatie is 32, totaal aantal monsters: 176.

Tabel 3 Gemiddelde gehalten molybdeen in vlieggas (mg/kg d.s.)

	1993	1994	1995	1996	91-96
AVI 1					
AVI 2	17.5	24.7	27	5 ^a	22
AVI 4		81 ^a	45.5		48
AVI 5	11.5	17	15.5	25 ^a	15
AVI 8	34 ^a	260	390	140 ^a	220
AVI 9	46 ^a	54.3	26	41 ^a	43
AVI 1 - 9	19	81	103	53	64 ^b

^a slechts één meting beschikbaar.

^b de standaarddeviatie is 118. Aantal metingen: AVI 2; 10, AVI 3; 2, AVI 4; 4, AVI 5; 11, AVI 8; 8 en AVI 9; 7.

Tabel 4 Gemiddelde gehalten molybdeen in rookgasreinigingsresidu (mg/kg d.s.)

	AVI 1	AVI 2	AVI 3	AVI 4	AVI 5	AVI 8	AVI 9	AVI 1-9
gem. 86-96	8.7	24.5	n.v.t.	17.1	8.5	31	6.9	14 ^a

^a standaarddeviatie: 16, aantal metingen: AVI 1; 5, AVI 2; 6, AVI 3; 0, AVI 4; 7, AVI 5; 20, AVI 8; 5 en AVI 9; 46.

2.3 Tijdreeks-analyse molybdeen in AVI-bodemas

Om na te gaan of er mogelijke trends zijn aan te wijzen in het gehalte van molybdeen in bodemas is een statistische tijdreeks-analyse uitgevoerd op de door de VVAV verstrekte data. Voor een beschrijving van de uitgevoerde Mann-Kendall test voor trendanalyse wordt verwezen naar [6]. De tijdreeks-analyse berekent voor alle AVI's een *positieve trend* in het molybdeengehalte, zie Figuur 3 (de nulhypothese 'geen trend' wordt verworpen). Voor een uitgebreid overzicht van de resultaten uit de test wordt verwezen naar Tabel 25 in Bijlage 2. Ook voor andere componenten worden toenames geconstateerd, echter molybdeen is de enige component waarvoor bij alle AVI's een positieve trend is gevonden.

In het navolgende worden een aantal aspecten besproken die met de toename van molybdeen in bodemas verband zouden kunnen houden.

Procestechnische wijzigingen

Voor de interpretatie van Figuur 3 moet vermeld worden dat bij AVI 1 in 1995 een nieuwe installatie in gebruik is genomen. De hogere waarden in 1995 kunnen veroorzaakt zijn door het opstarten/afregelen van de nieuwe installatie. In 1993 is AVI 2 vervangen door een nieuwe installatie, maar hier is geen trendbreuk in de data te constateren. Verder zijn er bij alle AVI's gedurende die periode een aantal procestechnische wijzigingen doorgevoerd zoals rookgasreiniging en non-ferro-afscheiding van bodemas. Volgens [5] is om te voldoen aan het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding de gemiddelde oventemperatuur in een AVI toegenomen. Als gevolg hiervan treden insmeltingen van het ijzer in de bodemas op, hetgeen resulteert in een verhoogd ijzergehalte en hieraan gekoppeld een hoger molybdeengehalte in de bodemas. De invloed van non-ferro-afscheiding (ook roestvast staal) is niet bekend. Door de anticorrosieve en hittebestendige eigenschappen van dit metaal zal de bijdrage aan de uitloging gering zijn. In een onderzoek door Tauw Milieu is ingegaan op effecten van metalen en voorscheiding op samenstelling en uitloging van AVI-reststoffen [7].

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat procestechnische wijzigingen wellicht een deel van de waargenomen molybdeentrend kunnen verklaren.

Autonome ontwikkelingen in bodemasconcentraties

Het verwijderen van GFT en papier/karton uit de AVI-input, door de toegenomen gescheiden inzameling van deze fracties vanaf ongeveer 1990, zou theoretisch een concentratie-effect ('indikking') in de bodemas kunnen veroorzaken. Apart ingezameld GFT en papier/karton hebben een laag asgehalte, maar indien de aanhangende grond wordt meegenomen kan de asrest meer dan 50% bedragen. Verwijdering van GFT uit de input kan daarom invloed hebben op de hoeveelheid bodemas en daarmee op de molybdeenconcentraties in bodemas. Indien GFT en papier/karton zelf substantieel molybdeen zouden bevatten, zou de

toegenomen gescheiden inzameling de waargenomen molybdeentrend in bodemas juist moeten tegenwerken. Daarnaast zou gelden dat een indikkingseffect voor meerdere componenten gevonden zou moeten worden. Uit de tijdreeks-analyse blijkt echter dat molybdeen de enige component is die voor *alle* AVI's een toename vertoont, zie Bijlage 2. *Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat autonome ontwikkelingen de molybdeentoe name in bodemas niet verklaren.*

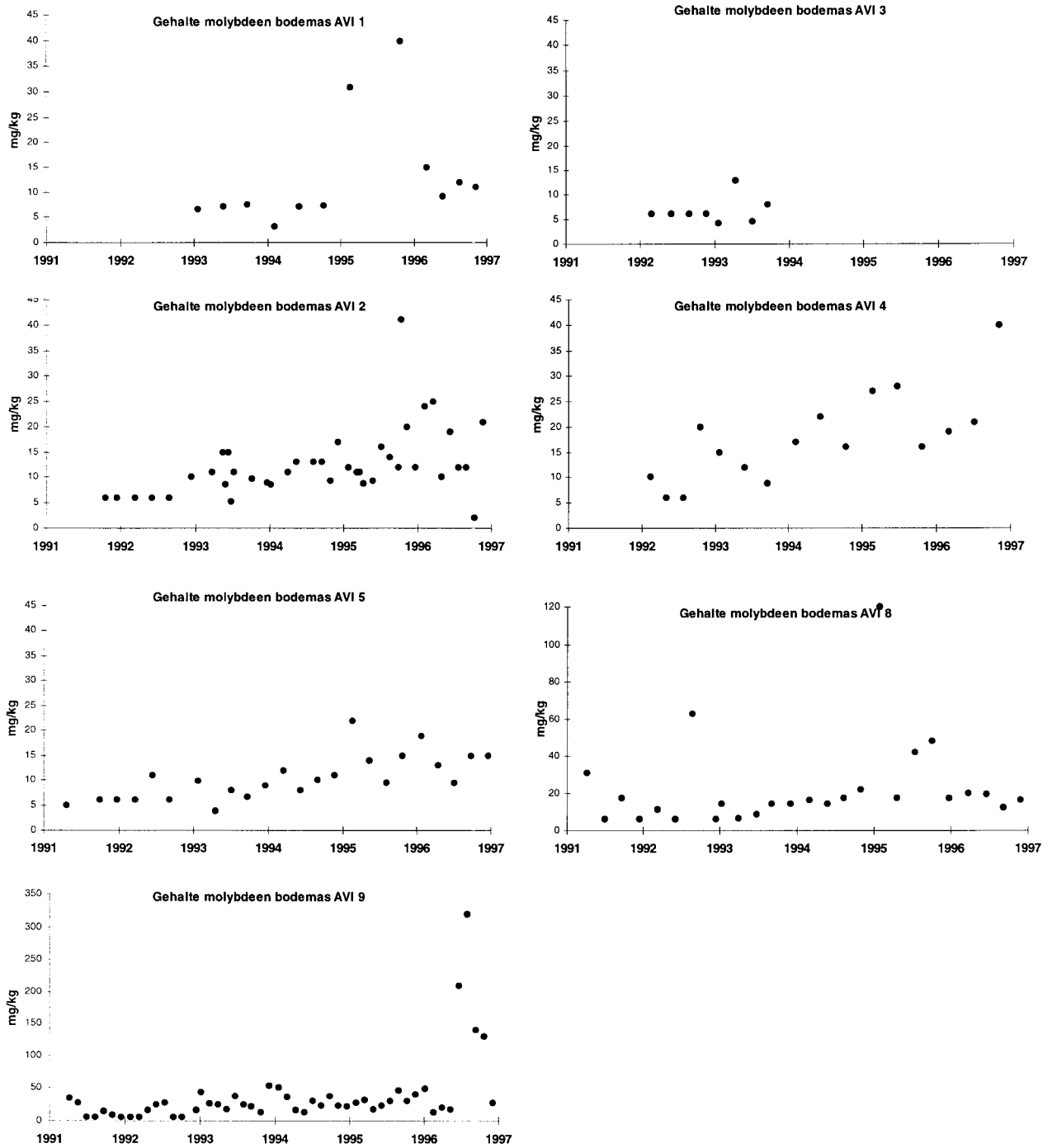
Bedrijfsafval

Een andere verklaring van de stijgende trend van molybdeen in AVI-bodemas zou kunnen liggen in een toename van de hoeveelheid bedrijfsafval in het totale afvalaanbod voor verbranding. Uit Tabel 5 is op te maken dat bij AVI 4 en 5 er een toename is te constateren van het percentage bedrijfsafval t.o.v. de totale hoeveelheid verbrand afval. Opmerkelijk is dat bij AVI 9 het percentage verbrand bedrijfsafval gering (8%) is, maar wel een hoog gehalte molybdeen in de reststoffen heeft.

Uit het bovenstaande volgt dat de toename in molybdeen in bodemas niet (eenduidig) verklaard kan worden uit een toegenomen hoeveelheid bedrijfsafval.

Tabel 5 Percentage bedrijfsafval ten opzichte van totaal afvalaanbod per AVI [8-12]

	AVI 1A	AVI 1B	AVI 2	AVI 3	AVI 4	AVI 5	AVI 8	AVI 9
1992	-	n.v.t.	12	38	13	30	-	7
1993	4	n.v.t.	17	37	13	37	11	9
1994	3	n.v.t.	35	n.v.t.	19	35	18	11
1995	6	50	14	n.v.t.	35	38	21	8
1996	n.v.t.	49	34	n.v.t.	23	44	34	8



Figuur 3 Molybdeengehalte in bodemas bepaald op basis van koningswaterontsluiting. Voor alle AVI's wordt een significante toename van gehalten in de tijd geconstateerd (zie 2.3) De uitschieters bij AVI 8 en 9 worden zeer waarschijnlijk veroorzaakt door incidentele leveringen van molybdeenrijk afval (katalysator-restanten).

2.4 Vrachten in huishoudelijk afval en AVI-reststoffen

Op basis van hoeveelheid en samenstelling van de reststofstromen kan de molybdeenvracht in de output van de AVI berekend worden. Op basis van sorteerproeven van huishoudelijk afval kan de molybdeenaanvoer in huishoudelijk afval naar de AVI worden geschat. Vergelijking van deze vrachten geeft mogelijk aanwijzingen over het belang van molybdeenaanvoer naar de AVI met overig afval als Kantoor-, Winkel- en Dienstenafval (KWD) en bedrijfsafval.

2.4.1 Molybdeenvracht in AVI-reststoffen

Het resultaat van de vrachtberekening is gepresenteerd in Tabel 6. Voor de meeste AVI's geldt dat er een toename is te constateren in de molybdeenvracht in AVI-reststoffen. De hoge molybdeenvracht bij AVI 9 in 1996 is te verklaren door het hoge gehalte molybdeen in de bodemas (gem. 103 mg/kg) en de grote capaciteit van de AVI (bodemas productie ongeveer 246 kton). Gezien de grote spreiding in de gehalten in bodemas en vliegias is de vrachtberekening van molybdeen in AVI-reststoffen onzeker.

Tabel 6 *Berekende vracht molybdeen op basis van AVI-reststoffen*

<i>vracht Mo (ton)</i>	<i>1991</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>
AVI 1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.7	1.0
AVI 2	0.7	0.7	1.5	2.0	2.7	2.5
AVI 3	0.4	0.4	0.4			
AVI 4	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.7
AVI 5	0.6	0.7	0.5	0.8	0.8	0.9
AVI 8	1.0	1.2	0.8	2.3	4.3*	1.9*
AVI 9	3.4	2.9	5.4	5.4	5.2	21
TOTAAL	7	6	9	11	16	28
Standaarddeviatie	1.9	1.8	2.1	2.0	3.5	21

* AVI 8 heeft een afwijkende verdeling van molybdeen over bodemas en vliegias, in 1994 en 1995 is 47% resp. 23% van totaal Mo in AVI-reststoffen aanwezig in het vliegias.

2.4.2 Molybdeenvracht in huishoudelijk afval

Op basis van gegevens van de sorteerproeven van huishoudelijk afval uitgevoerd door het RIVM [13,14,15,16] is de vracht molybdeen berekend die via huishoudelijk afval bij de AVI's terecht kan komen. De hoeveelheid verbrand huishoudelijk afval bedroeg in 1994: 1730 kton en in 1995: 1745 kton [17,18]. De totale vracht van molybdeen in huishoudelijk afval wordt voor 1994 berekend op 8270 kg en in 1995 op 4380 kg. De uitkomst van de vrachtberekening is onzeker maar geeft wel een indicatie welke fracties een bijdrage leveren aan de AVI-input. In Tabel 7 zijn de afzonderlijke categorieën en hun bijdrage aan de

molybdeenvracht weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de restfraktie⁴ de belangrijkste bijdrage aan de molybdeenvracht in huishoudelijk afval is. Verder zijn voor de molybdeenvracht van belang de ferro-, non-ferrofraktie, de papier- en kartonfraktie en, mogelijk, de glasfraktie. Het grote verschil in berekende vracht in 1994 en 1995 valt terug te voeren op de restfraktie en glas. Op grond van twee waarnemingsjaren kan niet worden vastgesteld of de berekende afname van molybdeen in huishoudelijk afval structureel is. Het lijkt waarschijnlijk dat de spreiding in molybdeenvracht de heterogeniteit van het huishoudelijke afval weerspiegelt.

Tabel 7 Molybdeen in huishoudelijk afval berekend op basis van sorteerproeven

komponent	gem. gehalte Mo (mg/kg d.s.) 1986-1994 [3]	range Mo (mg/kg d.s.) 1986-1992 [3]	gem. gehalte Mo (mg/kg d.s.) [13,14]		hoeveelheid verbrand H.H.A. (kton d.s.) [13]		berekende vracht Mo (kg)	
			1994	1995	1994	1995	1994	1995
Restfraktie	10.7	< 6 - 70.0	11	11.5	361	291	3973	3352
< 3 mm	24 ^a		20	28	61	54	1210	1519
3 - 8 mm	11 ^a		11	10	69	74	763	737
8 - 20 mm	20 ^a		23	17	39	34	886	581
organisch materiaal > 20 mm	4 ^a		4	4	191	127	765	508
papier/karton	1.5	1.0 - 2.0	2	<1	361	393	722	393 ^b
kunststoffen	2.8	2.8 - 7.8	2.8	2.5	158	160	443	400
glas	16.5	<5 - 45.0	45	<1	69	60	3083	60 ^b
ferro	40	< 7.4 - 470.0	< 7.4	9	70	62	514	555
non-ferro	40 ^c	2.7 - 910.0	< 27	1	9.5	7	258	7
textiel	1	0.6 - < 9.0	1	<1	43	36	43	36 ^b
keramiek	3.7	3.7 - 79.5	3.7	1.0	71	46	264	46
tapijten/matten	1	< 1 - 6.9	1	2.7	22	10	22	26
leer/rubber	1	0.6 - < 6	1.5	2.0	16	24	24	49
hout	1	0.3 - < 6	1	<1	42	24	42	24 ^b
TOTAAL (vracht Mo: exclusief ferro, non-ferro)					1730^d	1745^d	8270	4380

^a van deze frakties is het gemiddelde berekend over 1994 en nog niet gepubliceerde data van 1995.

^b de vracht is berekend op basis van de detectiegrens van de betreffende fraktie. Dit geeft een overschatting van de molybdeenvracht.

^c gezien de grote spreiding is gekozen voor een logaritmisch gemiddelde.

^d hoeveelheid verbrand huishoudelijk afval (natgewicht). De hoeveelheden van de sorteerfrakties zijn op basis van droge stof gehalte. In 1995 was de hoeveelheid restafval die uiteindelijk verbrand en gestort wordt 3648 kton (53% verbrand). In 1994 was dit 3420 kton (49% verbrand)[17,18].

⁴ Restfraktie: De restfraktie bestaat uit Groente-, fruit- en tuinafval en een ongedefinieerde rest. De ongedefinieerde rest is de fraktie welke middels een trommelzeef wordt gescheiden van de rest van het afval. Er zijn drie zeeffrakties (< 3 mm, 3-8 mm en 8-20 mm), welke tezamen de ongedefinieerde rest vormt.

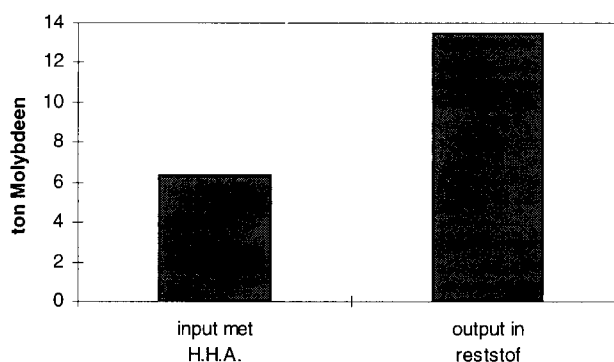
2.4.3 Input-output balansen voor AVI's

Op basis van gegevens over hoeveelheden verbrand huishoudelijk afval, overig afval (waaronder bedrijfsafval) en AVI-reststoffen is een input-output balans opgesteld voor molybdeen in de AVI's.

Nationale balans

Op basis van de gegevens uit Tabel 6 en Tabel 7 is de input van molybdeen via huishoudelijk afval en de output in AVI-reststoffen voor de periode 1994-1995 weergegeven in Figuur 4. Gemiddeld over de jaren 1994 en 1995 verklaart de input naar de AVI's via huishoudelijk afval ca. 45% van de gemeten output van molybdeen in AVI-reststoffen.

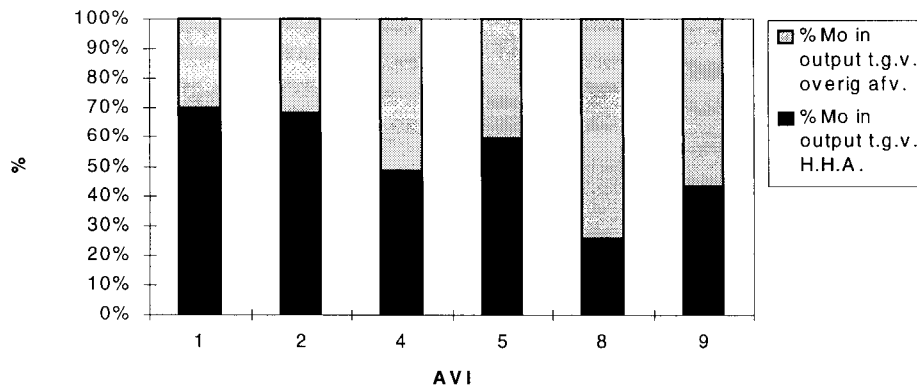
Het verschil tussen input en output kan verklaard worden doordat naast huishoudelijk restafval ook overig afval van huishoudens (grof afval, wit- en bruingoed) en bedrijfsafval (w.o. Kantoor-, Winkel- en Dienstenafval, reinigingsafval) bij de AVI's wordt verbrand. De bijdrage van de niet geanalyseerde fracties van het huishoudelijk restafval, zoals klein chemisch afval en enkele kleine metaalfrakties, is te verwaarlozen.



Figuur 4 Nationale balans, gemiddelde Mo-input naar de AVI's met huishoudelijk afval (H.H.A.) en output naar reststoffen in 1994 en 1995.

Balans per AVI

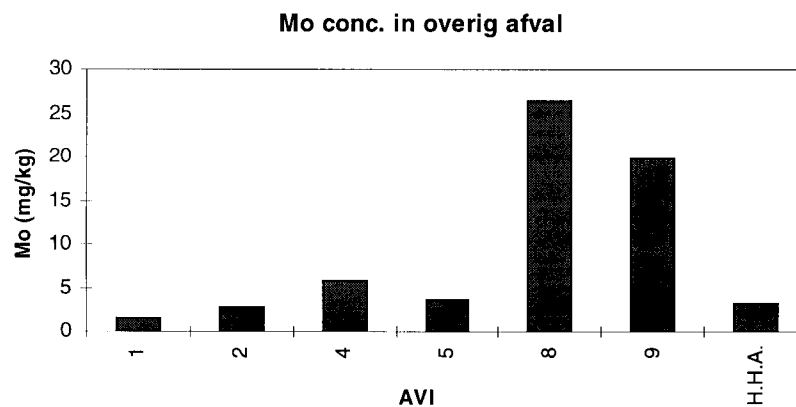
In Figuur 5 is per AVI de bijdrage van huishoudelijk afval en overig afval aan de molybdeenvracht weergegeven. De bijdragen zijn berekend door de Mo-vracht in reststoffen per AVI (Tabel 6) te vergelijken met het molybdeenaanbod via huishoudelijk afval. Deze vracht per AVI is berekend door de nationale Mo-input (Figuur 4) te verdelen over de AVI's op basis van het huishoudelijk afvalaanbod per AVI [10,11]. Voor AVI 8 is die bijdrage het hoogst, te weten 80%. Voor de andere AVI's draagt overig afval (w.o. bedrijfsafval) ongeveer 40-70% bij aan de molybdeenoutput in reststoffen.



Figuur 5 Berekende bijdrage van huishoudelijk afval en overig afval aan de vracht van molybdeen in AVI-reststoffen, gemiddeld over de jaren 1994 en 1995.

Molybdeenconcentraties in overig afval

De molybdeenconcentratie in overig afval (d.w.z. niet huishoudelijk afval) is bepaald uit het verschil tussen AVI-input via huishoudelijk afval en AVI-output per AVI, zie Figuur 6. Deze indicatieve berekening van de molybdeenconcentratie in overig afval per AVI geeft aan dat in AVI's 8 en 9 specifieke afvalstromen met een hoog molybdeengehalte worden verbrand. Voor de AVI's 1-5 is de berekende molybdeenconcentratie in overig afval vergelijkbaar met die van huishoudelijk afval. Dit wijst erop dat de samenstelling van het overig afval bij deze AVI's vergelijkbaar is met huishoudelijk afval.



Figuur 6 Berekende molybdeenconcentratie in overig afval bij de AVI's, gemiddeld over de jaren 1994 en 1995.

2.5 Conclusies

Uit de analyse in hoofdstuk 2 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

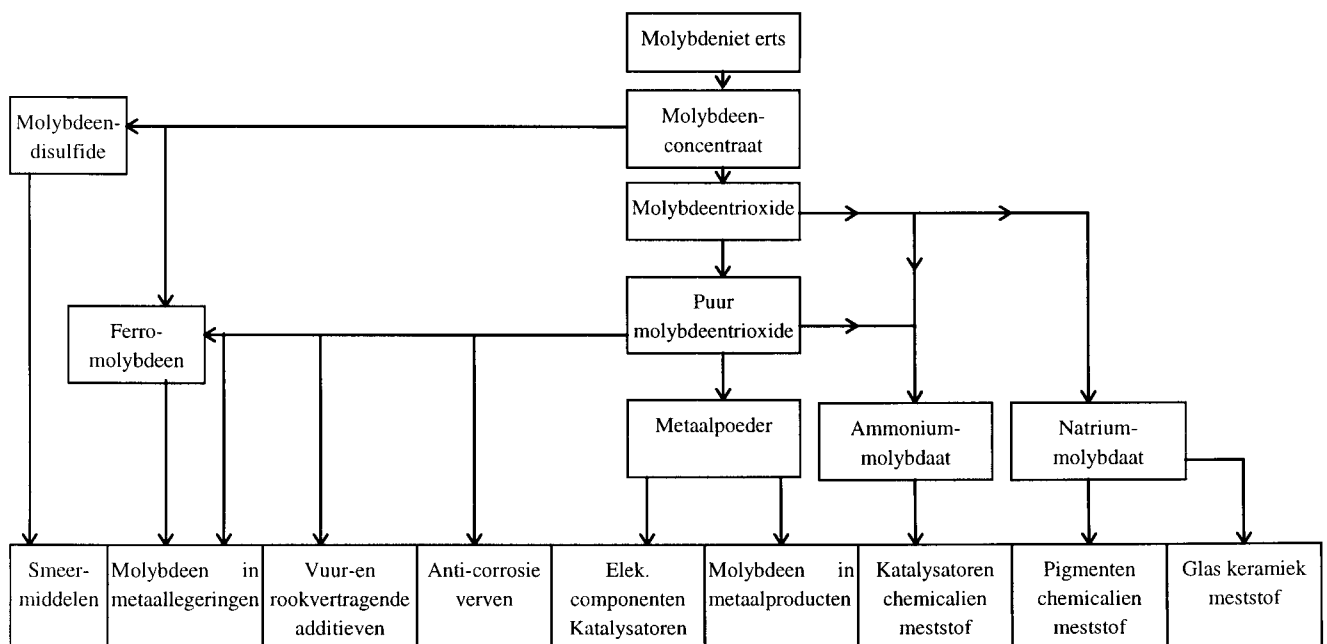
- Er kunnen twee groepen AVI's worden onderscheiden. AVI's 1-5 met relatief lage molybdeengehaltes en AVI's 8-9 met relatief hoge gehalten. Dit zou verklaard kunnen worden door specifieke afvalstromen met een hoog molybdeengehalte die bij AVI 8 en 9 worden verbrand.
- In *beide groepen* wordt een lineair verband tussen gehalte en uitloging van molybdeen gevonden.
- Voor alle AVI's, in zowel de groep met hoge gehalten als de groep met lage gehalten, neemt het molybdeengehalte van de bodemassen *significant toe* in de periode 1991-1996.
- Autonome ontwikkelingen als het apart inzamelen van GFT en papier, alsmede veranderingen in aanbod van bedrijfsafval, kunnen de geconstateerde toename van het molybdeengehalte in bodemassen niet verklaren. Procestechnische wijzigingen (temperatuurverhoging in de oven) bij de AVI's kunnen wellicht een deel van de toename verklaren. Door een verhoogde temperatuur treden insmeltingen van ijzer op, hetgeen kan resulteren in een hoger ijzer- en molybdeengehalte in de bodemas.
- Voor *alle AVI's* draagt huishoudelijk afval 45-70% bij aan de molybdeen-output in reststoffen. Voor AVI 8 is die bijdrage slechts 20% en wordt de overige 80% bepaald door overig afval (o.a. bedrijfsafval; Kantoor- Winkel- en Dienstenafval en grof huishoudelijk afval). Er is geen directe verklaring gevonden voor dit verschil. De uitschieters in bodemasgehalten bij AVI 8 en 9 kunnen zeer waarschijnlijk worden verklaard door incidentele leveringen van molybdeenrijk afval (katalysator-restanten).
- De berekende molybdeenconcentratie van ca. 20 mg/kg (vgl. andere AVI's ca. 5 mg/kg) in overig afval (o.a. bedrijfsafval; KWD-afval en grof huishoudelijk afval) per AVI geeft aan dat in AVI's 8 en 9 specifieke afvalstromen met een hoog molybdeengehalte worden verbrand.

3. TOEPASSINGEN VAN MOLYBDEEN

In dit hoofdstuk wordt informatie gegeven over molybdeen in producten, het vrijkomen tijdens productieprocessen en molybdeen in overige bronnen. Daarbij wordt aandacht besteed aan gehalten en de hoeveelheid in producten en de mogelijke route van molybdeen via afvalstoffen naar de AVI's.

Algemeen

Molybdeen (Mo, atoomnummer 42, atoomgewicht 95) komt algemeen voor in de aardkorst als de mineralen molybdeniet (MoS_2) en wulfeniet (PbMoO_4) met een gemiddelde hoeveelheid Mo van 1-3 ppm. Molybdeniet is de belangrijkste bron van molybdeen (41%), maar het wordt ook verkregen als bijproduct van met name de koperwinning (54%). In de bodem komt molybdeen voor als molybdaat (MoO_4^{2-}) en is gebonden aan ijzer(hydr)oxiden en organische stof [19]. Molybdeen is een essentieel element voor biologische processen, bv. nitrificatie. Molybdeen wordt toegepast in staallegeringen, katalysatoren, smeermiddelen en pigmenten, zie Figuur 7 [20,21,47]. De wereldproductie van molybdeen in 1996 was 128 kton (1978: 85 kton), hoofdzakelijk gerealiseerd in de Verenigde Staten, China, Chili, Canada en Rusland. Het molybdeengebruik in de Verenigde Staten in 1996 was 20.300 ton, waarvan ongeveer 75% wordt toegepast in staal en staallegeringen en 10% in katalysatoren [22]. Het molybdeengebruik in West-Europa was in 1989 37.2 kton [21]. De prijs van molybdeen [23] als molybdeenoxide is ongeveer fl. 17.000 per ton (vgl. koper: fl 3.400 per ton). In Nederland wordt jaarlijks ongeveer 490 ton molybdeen gebruikt, 77% als legeringselement en 23% als verbinding [24]. Een ruwe schatting van het jaarlijkse molybdeengebruik in Nederland op basis van de hierna besproken informatie van bedrijven en het molybdeengebruik in staal uit [24] is 460 ton.



Figuur 7 Molybdeenverbindingen en toepassingen

Tabel 8 Molybdeengebruik in Westerse landen [20,21]

Gebruik	%
Staallegeringen	28-40
Roestvast staal	20-27
Gereedschapsstaal	7-10
Gietijzer	4-6
Speciale legeringen	6-12
Mo-metaal	6
Mo-verbindingen	11-19

Tabel 9 Belangrijkste molybdeenverbindingen [20]

molybdeentrioxide	RVS-staal, staallegeringen
molybdeendisulfide	smeermiddelen
ammoniummolybdaat	katalysatoren, meststof
ammoniumheptamolybdaat	katalysatoren
ammoniumoctamolybdaat	rook/brandvertragers
calciummolybdaat	tussenprodukt metallurgie
natriummolybdaat	pigmenten, anticorrosie toevoeging, meststof

In de volgende paragrafen zijn de mogelijke bronnen van molybdeen en het belang voor de AVI per produktgroep aangegeven. Dit is gebaseerd op informatie verkregen bij bedrijven, branche-organisaties, instellingen en literatuur. In Bijlage 1 is een overzicht gegeven van de benaderde bedrijven.

3.1 Molybdeen in staal

Uit informatie van staalproducenten en literatuur blijkt dat molybdeen een belangrijk legeringselement is in de staalindustrie. Molybdeen wordt toegevoegd aan staal in de vorm van molybdeentrioxide of ferromolybdeen om de treksterkte, hardheid, kruip, corrosiebestendigheid en hittebestendigheid van het staal te verbeteren. Er wordt gesproken van molybdeengelegeerd staal als het molybdeengehalte groter is dan 0.08%. Een belangrijke toepassing van molybdeen is in roestvaststaal (RVS), o.a. type 316 (Austeniet roestvaststaal). Toepassingen van molybdeengelegeerd staal zijn pijpen in de olie- en gasindustrie en gereedschapsstaal. Het overgrote deel van het metaal in Nederland wordt gerecycleerd. Bij een staalproducent wordt molybdeen toegevoegd als ferromolybdeen aan sterke staalsoorten voor de automobiellindustrie en de bouw in hoeveelheden van 5-10 mg/kg, met een maximum tot 20 mg/kg. Dit staal zal nauwelijks in huishoudelijk afval terecht komen. In staal voor verpakkingdoeleinden (blik) wordt geen molybdeen toegevoegd.

Door de anticorrosieve en hittebestendige eigenschappen van het molybdeengelegeerd staal zal dit staal in de bodemas vermoedelijk een geringe bijdrage leveren aan de uitloging van molybdeen uit bodemas.

Na verbranding wordt de bodemas ontijzerd en bij een aantal AVI's wordt ook de non-ferrofractie afgescheiden (Eddy Current-systeem). Na ontijzering blijft nog ongeveer 5 gew.% ijzer als ijzeroxide in bodemas achter [18]. Wanneer er van wordt uitgegaan dat ongeveer 50% hiervan afkomstig is van de oxidatie van metaal, met een molybdeengehalte van 0.015 gew.% als in schroot [3], dan is volgens deze schatting de bijdrage aan de molybdeenvracht in AVI-bodemas ongeveer 2.5 ton ofwel 4 mg/kg Mo⁵. Omdat aan verpakkingmetaal geen molybdeen wordt toegevoegd is deze schatting de maximale bijdrage. Volgens [5] is om te voldoen aan het Besluit Luchtemissies Afvalverbranding de gemiddelde oventemperatuur in een AVI toegenomen. Als gevolg hiervan treden insmeltingen van het ijzer in de bodemas op, hetgeen resulteert in een verhoogd ijzergehalte en hieraan gekoppeld molybdeengehalte in de bodemas.

Volgens een indicatieve schatting kan in bodemas na ontijzering overgebleven ijzer (ijzeroxide) tot 2.5 ton aan de molybdeenvracht toevoegen.

In laselektrodes (draad of staaf) wordt ook molybdeen toegepast. Een stelregel hiervoor is dat het gehalte Mo in de elektrode hetzelfde moet zijn als het materiaal dat gelast wordt. Het molybdeengehalte in laselektrodes is in het algemeen in tienden van procenten. In speciale laselektrodes voor staallegeringen, anticorrosie staalsoorten en speciale legeringen is het gehalte hoger (tot 16%). Volgens informatie van een fabrikant/importeur worden laselektrodes met het metaalafval afgevoerd naar de metaalrecycling. Uit verdere navraag bij bedrijven bleek dat dit niet altijd het geval is en restanten ook wel via het bedrijfsafval worden afgevoerd. Ook veegafval zal voor een deel bij het bedrijfsafval terecht komen.

De hoeveelheid lasrestanten is gering in omvang en zal waarschijnlijk geen belangrijke bron van molybdeen voor de AVI's zijn.

Tabel 10 Molybdeen in staal

toepassing	subcategorie	Hoeveelheid/ gehalte	Ref.
Staal			
	onlegeerd staal	< 0.05 %	[46]
	laag gelegeerd staal	0.05-0.1 %	[46]
	gelegeerd staal	> 0.1 %	[46]
Staallegeringen			
	hoge sterkte laag-gelegereerd staal	0.1-0.3 %	[20]
	machinestaal	0.15-0.35 %	[20]
	hoge temperatuur toepassingen	0.5-1.0 %	[20]
Roestvast staal			
	Feriet roestvaststaal (12-30 % Cr, 0-0.1 % C)	1-2 %	[20]
	Austeniet roestvaststaal (16-30 % Cr, 8-32 % Ni)	2-4 %	[20]

⁵ Berekend op basis van een hoeveelheid bewerkte bodemas van 638 kton [18], 5 gew.% ijzer dat voor de helft afkomstig van is onlegeerd staal met 0.015 gew.% Mo.

Tabel 11 Molybdeen in staal, vervolg

toepassing	subcategorie	Hoeveelheid/ gehalte	Ref.
	Martensiet roestvaststaal (11-18 % Cr, 0.15-1.2 % C)	0-1.25 %	[20]
Gereedschapsstaal		148 t. 1992	[2]
	hoge temperaturen gereedschapsstaal	1-1.5 %	[20]
	hoge snelheden gereedschapsstaal	4.0 - 9.5 %	[20]
Laselectrodes			[24]
		0.5-3%, max. 16%	m.m. ^a

^a m.m.: mondelinge mededeling bij navraag bij bedrijven/instellingen.

3.2 Molybdeen-metaal

Molybdeenmetaal (en legering) wordt volgens literatuur toegepast in electriciteitsturbines, turbines in vliegtuigen, raketmotoren en electronica [21] en als steendraad in gewone gloeilampen. Op basis van informatie uit het bedrijfsleven wordt geschat dat jaarlijks ongeveer 300 kg molybdeen in gloeilampen wordt toegepast.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat molybdeenmetaal slechts een kleine bijdrage levert aan de molybdeenvracht bij de AVI's.

Tabel 12 Molybdeen-metaal

		Hoeveelheid molybdeen	Ref.
in huishoudelijk afval	gloeilampen, halogeenlampen	300 kg	m.m.

3.3 Katalysatoren

Uit literatuur en informatie verstrekt door de chemische industrie blijkt dat molybdeen wordt toegepast in katalysatoren in de petrochemische industrie voor ontzwaveling. De ontzwavelingskatalysatoren zijn de grootste groep van petrochemische katalysatoren (ca. 95%). Voor ontzwaveling wordt vooral colbalt-molybdeenkatalysatoren op een aluminium dragermateriaal gebruikt (CoO-MoO₃ /γ-Al₂O₃). Daarnaast zijn er nog de nikkel-molybdeenkatalysatoren voor denitrificatie (NiO-MoO₃ /γ-Al₂O₃), vanadiumkatalysatoren en andere katalysatoren met molybdeen voor de produktie van acrylonitril (bismuth-molybdaat) en formaldehyde (ijzer-molybdaat). Molybdeenhexacarbonyl wordt gebruikt als katalysator voor o.a. methanolproduktie [25,26]. Bij bedrijven is navraag gedaan over de afvalstroom van katalysatoren, hieruit blijkt dat de katalysatoren na gebruik waardevol zijn en worden geregenereerd of verwerkt door specialistische bedrijven. De reststroom die vrijkomt bij rookgasontzwaveling m.b.v. Mo-katalysatoren (elementair zwavel) bij raffinaderijen wordt hergebruikt in de vorm van zwavelzuur.

De kans is zeer klein dat gebruikte katalysator bij de AVI's terecht komt.

Tabel 13 Katalysatoren

	<i>katalysator</i>	<i>Hoeveelheid molybdeen</i>	<i>Ref.</i>
productie in NL.:	9-10 kton/jr., gehalte 10-12% Mo (ontzwaveling)	900-1200 ton	m.m
gebruikte katalysatoren:	Wereldwijd: 80-100 kton/jr., gem. gehalte 8-12% Mo (ontzwaveling)	6.4-12 kton	m.m
	Europa: 5000 ton/jr., gem. gehalte 7%, range 4-9% Mo	350 ton	[27]
	Nederland: 400-500 ton/jr., gehalte 2-3%	30-60 ton	m.m

3.4 Pigmenten in verven, drukinkt en toners

Verf

Uit literatuur is bekend dat molybdeen als pigment wordt toegepast. [28,29]. Een belangrijk anorganisch pigment is het lood-chromaat-molybdaat pigment, molybdaatrood/oranje $Pb(Cr,S,Mo)O_4$ (C.I. Pigment Red 104, C.I. 77605) [30]. Molybdaatoranje bevat zo'n 60 gew.% lood en 3 gew.% molybdeen. Molybdeen wordt in deze loodchromaten toegepast als natriummolybdaat. Doordat de groep loodchromaten steeds minder wordt toegepast daalt ook het gebruik van molybdeen in pigmenten en verven. De molybdeenpigmenten worden alleen in de professionele markt toegepast zoals in de industrie, door schildersbedrijven en in autolakken, dus niet in de zgn. 'doe het zelf' verven. In de kunststofindustrie werden vóór 1970 molybdaatpigmenten toegepast in PVC. Volgens informatie van bedrijven worden deze pigmenten vanaf 1970 niet meer gebruikt. Daarnaast worden in de zogenaamde PMA- en PTMA-kleuren (basis verfpigmentcomplexen voor organische pigmenten) molybdeen toegepast [20,21]. Molybdeensulfide wordt in granulaten voor kleuring van kunststoffen gebruikt, maar deze worden voorzover bekend niet in Nederland toegepast.

Op basis van deze informatie kan geconcludeerd worden dat molybdeen in verven en pigmenten geen belangrijke bron voor de AVI's is.

Drukinkt

Navraag bij drukinktfabrikanten leert dat molybdaatpigmenten bijna niet meer worden toegepast in drukinkten (offset, diepdruk, heatset, zeefdruk). Hierbij geldt hetzelfde als bij verven; loodchromaten worden steeds minder toegepast. Door inzameling van oud papier zal slechts een deel van de inktresten bij de AVI's terecht komen. Het gescheiden ingezameld oud-papier wordt door papierfabrikanten ontinkt. Het ontinkings-slib wordt gestort en komt niet bij de AVI's terecht.

Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat drukinkten geen belangrijke bron van molybdeen zijn.

Kleurentoners

Kleurentoners zouden ook een mogelijke bron van molybdeen in afval kunnen zijn. Het feit dat de markt voor kleurentoners sterk groeiende is zou mogelijk verband kunnen houden met de in hoofdstuk 2 waargenomen toename in molybdeengehalten in bodemassen van alle

Nederlandse AVI's. Door het RIVM zijn 5 soorten kleurentoners op molybdeen (en andere metalen) geanalyseerd, zie Tabel 13. Slechts in 1 van de toners werd molybdeen aangetroffen. *Op basis van deze indicatieve analyse kan geconcludeerd worden dat kleurentoners waarschijnlijk geen relevante bron van molybdeen voor de AVI's zijn.*

Tabel 14 Overzicht analysesresultaten geselecteerde elementen uit Instrumentele Neutronen Activeringsanalyse (INAA) (mg/kg)

Omschrijving	Mo	Cu	Sb	Br
BAGA concentratiegrenswaarde (mg/kg)	5000	5000	50	2000
1. Was, rood, merk A	< 2	< 3	< 0,1	< 0,1
2. Was, geel, merk A	< 2	< 4	< 0,1	< 0,1
3. Was, blauw, merk A	< 5	572	< 0,1	0,2
4. Poeder, rood, merk B	< 3	< 5	< 0,1	3
5. Poeder, geel, merk B	< 3	< 5	< 0,1	3
6. Poeder, blauw, merk B	< 6	2520	< 0,2	30
7. Poeder, rood, merk C	< 6	10	< 0,2	0,5
8. Poeder, geel, merk C	< 6	10	< 0,2	< 1
9. Poeder, blauw, merk C	< 8	2570	< 0,2	< 1
10. Poeder, mix rood/geel/blauw; merk D	< 11	819	<u>468</u>	2
11. Poeder, mix rood/geel/blauw; merk E	3350	1060	<u>164</u>	< 1
12. Inkt, mix rood/geel/blauw; merk F	< 12	751	< 1	< 2

Tabel 15 Kleurstoffen, pigmenten, verven en toners

		Hoeveelheid molybdeen	Ref.
grondstof voor pigmenten bij Verf- en drukinktfabrikanten	molybdaatrood, molybdaatoranje	1979: 10 ton 1989: 7 ton 1991: 1 ton 1994: 0.5 ton	[29] [29] [31] [32]
gebruik bij productie	pigment voor keramiek	paar honderd kg	m.m.

3.5 Smeermiddelen

Molybdeendisulfide is een belangrijk vast smeermiddel en wordt gebruikt voor toepassingen bij hoge temperaturen en zware belastingen [25,26]. Daarnaast wordt het als additief toegevoegd aan sommige smeeroliën en -vetten. Deze smeermiddelen met molybdeendisulfide worden met name toegepast in de (automobil-)industrie. Het molybdeendisulfide geeft een polaire hechting op staal en vult oneffenheden op. Volgens producenten wordt molybdeendisulfide niet in motorolie toegepast in Europa. Een producent van smeermiddelen stelde echter dat aan alle zwarte smeermiddelen molybdeendisulfide is toegevoegd. Er is verder gevraagd bij het bedrijfsleven, een rederij en vervoersbedrijf. Het is een hoogwaardig (kostbaar: ca. fl 120,- per liter) smeermiddel en zal daarom selectief gebruikt worden. Via het RIZA en de Scheepvaartinspectie is navraag gedaan naar het gebruik van smeervetten in schroefasvet. Molybdeen wordt niet toegepast in schroefasvet.

In welke mate smeermiddelen met molybdeendisulfide via het bedrijfsafval (bv. poetsdoeken en restanten in verpakkingen) bij de AVI's terecht komen, blijft vooralsnog onbekend. De route via huishoudelijk afval is zeer onwaarschijnlijk.

Tabel 16 Smeermiddelen

		Hoeveelheid, gehalte Mo	Ref.
gebruik bij productie	molybdeendisulfide in smeervetten	12-14 ton/jaar MoS ₂	m.m.
geschatte percentage in producten	poeder, glijlakken, smeermiddelen	2 - 10 % MoS ₂	m.m.

3.6 Emaïlle

Molybdeentrioxide wordt toegepast in emaïllefritten voor het aanbrengen van een emaïllelaag op staal. Het molybdeen zorgt voor een betere hechting op staal. Molybdeenverbindingen worden niet toegepast in glazuren voor staal. Emaïlle op staal kan terecht komen bij de AVI via kleine huishoudelijke producten (bekers, etc.) maar het grootste gedeelte van grote huishoudelijke apparaten (fornuizen etc.) zal worden gerecycleerd. Wanneer er van wordt uitgegaan dat al het molybdeen in de ferro-fractie van de sorteerproeven van huishoudelijk afval (Tabel 7) afkomstig is van emaïlle, dan is volgens deze 'worst case' benadering de maximale bijdrage 500 kg.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat emaïlle geen belangrijke bron van molybdeen voor de AVI's is.

Tabel 17 Emaïlle

		Hoeveelheid molybdeen	Ref.
productie emaïllefritten	molybdeentrioxide (66.5% Mo): 10 ton/jr.	6.5 ton	m.m.

3.7 Corrosie-inhibitoren

Molybdeen wordt als anticorrosie-additief gebruikt in open en gesloten koelwatersystemen. In open koelwatersystemen (koeltorens) wordt ongeveer 10 mg/l natriummolybdaat toegepast. In gesloten koelwatersystemen (air-conditioners) 150 mg/l [21]. Natriummolybdaat zou in Nederland vrij algemeen worden toegepast in gesloten koelwatersystemen. Omdat molybdeen op de 'grijze lijst' staat, wordt het molybdeengebruik voor koelwatersystemen steeds meer vervangen. *De route naar de AVI is zeer onwaarschijnlijk.*

Tabel 18 Corrosie-inhibitoren

		Molybdeen	Ref.
	additief in antivries	-	[25,26]
	anti-corrosie verven (Ca,Zn-molybdaat)	-	[25]
	natriummolybdaat in koeltorens	-	[25]

3.8 Brandvertragers

In de literatuur [21,26,27,33] worden molybdeenverbindingen als molybeentrioxide en ammoniumoctamolybdaat genoemd als vuur- en rookvertragers voor kunststoffen (polyvinylchloride, polyesters en polyofinen) en voor cellulose-materialen. De wereldproductie van ammoniumoctamolybdaat ligt tussen de 1000 en 5000 ton per jaar en de productie van molybdeentrioxide als brandvertrager is minder dan 1000 ton per jaar [33]. Mogelijk worden deze verbindingen toegepast in de autoindustrie, in elektriciteitskabelisolatie, plastics in vliegtuigen en karpetten. Uitgebreide navraag is gedaan bij TNO, vliegtuigindustrie en producenten en handelaren van brandvertragers.

Molybdeenverbindingen als rook- of brandvertragers zijn bij de producenten van brandvertragers niet bekend en worden naar hun weten niet toegepast.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat brandvertragers geen bron van molybdeen voor de AVI's zijn.

3.9 Meststoffen

De meststoffen natriummolybdaat en ammoniummolybdaat [19,25] worden toegepast in de glastuinbouw bij de substraatteelt. De gebruikte concentratie is 0,2-2 $\mu\text{mol Mo}$ per liter. Als substraat worden (steenwol-)matten gebruikt die poreus en wateropneembaar zijn. Niet meer bruikbare matten worden teruggenomen door de leverancier die deze matten na droging opnieuw in de productie inzet. Het is een relatief dure meststof (meestal in zakjes van 12 g geleverd). *Molybdeenmeststof en steenwolmatten zijn geen bron van molybdeen bij de AVI's.*

Tabel 19 Meststoffen

		Hoeveelheid Molybdeen	Ref.
gebruik Mo in substaatteelt	natriummolybdaat, 5-10 ton	2 - 4 ton	m.m.

3.10 Andere toepassingen

Uit het onderzoek zijn ook nog enkele andere toepassingen naar voren gekomen. In remblokken/remvoering van voertuigen wordt molybdeendisulfide toegepast om het piepen tegen te gaan. Andere in de literatuur genoemde toepassingen zijn verwarmingselektroden voor glasproductie, analytische reagentia, schiethagel [34,35], koelelementen van computers, poedercoating voor machine- en motoronderdelen, smeermiddel voor kunststoffen (o.a. kunststofvezeldoek) en elektrische componenten [48]. Uit navraag bij een computerproducent over koelelementen bleek dat gezien de hoge prijs van het materiaal, molybdeen niet voor koelelementen van PC's gebruikt wordt. Mogelijk wel als koellichamen in mainframes, maar deze zullen in de afvalfase gerecycleerd worden en niet bij AVI's terecht komen.

In de literatuur wordt een molybdeengebruik in elektrische componenten opgegeven van 37 ton (zie Tabel 19). Voor elektrische componenten is verder navraag gedaan bij een producent

en een bedrijf dat elektronicashredder verwerkt. Molybdeen wordt naar hun weten niet toegepast en werd niet aangetroffen bij analyses van elektronicashredder.

Op basis hiervan kan gesteld worden dat elektronica geen belangrijke bron van molybdeen voor de AVI's is.

Bij de sorteeroproeven van huishoudelijk afval worden soms hoge gehalten molybdeen gevonden in de glasfractie (zie Tabel 7). Uit navraag bij glasproducenten blijkt dat molybdeen bij de produktie van glas niet wordt toegevoegd. De hoge gehalten in de glasfractie zouden verklaard kunnen worden door de aanwezigheid van resten van gloeilampen of vervuiling door andere fracties.

Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat glas geen belangrijke bron van molybdeen is voor de AVI's.

Tabel 20 Andere toepassingen

		Mo hoeveelh./geh.	Ref.
produktie	remvoering/remblokken	100 kg	m.m.
	analytische reagentia		[25]
	verwarmingselectroden bij glasproduktie		[20]
	poedercoating machine- en motoronderdelen	9 ton (1992)	[24,20]
	electrische componenten	37 ton* (1992)	[24,20]
gehalten	ruwe olie, teer, steenkool	ca. 100 mg/kg	[2]
	kolen van Ned. kolencentrales	ca. 3 mg/kg	[36]

* Zie tekst, dit getal wordt niet bevestigd bij verdere navraag bij bedrijven.

3.11 Grond, asresten en organisch materiaal

Organisch materiaal

Door de NV VAM is in het kader van het voorliggend project molybdeen in GFT-compost bepaald (zie Tabel 21). Het gemiddelde gehalte van molybdeen in GFT-compost is 4-5 mg/kg d.s. Wanneer wordt aangenomen dat bij composteren een drievoudige concentratie plaatsvindt, is het gehalte molybdeen in organisch materiaal ongeveer 1-2 mg/kg d.s. Het molybdeengehalte in plantenresten en GFT-compost is in de zelfde orde grootte als waarden uit de literatuur (zie Tabel 22). Op basis van een totale vracht van de restfractie (inclusief het niet-gescheiden ingezameld GFT) van ca. 290 kton (zie Tabel 7) wordt een maximale bijdrage van 0.3-0.6 ton molybdeen berekend.

Tabel 21 Gehalte molybdeen in GFT compost, week 13 t/m 29 1995 (NV VAM)

gehalte in mg/kg d.s.	minimum	maximum	aantal metingen
Mo	1.96	7.23	16

Grond

De literatuur geeft sterk uiteenlopende gehalten voor molybdeen in bodems. Gehalten lopen uiteen van 0 tot 40 mg/kg (zie Tabel 22). Het molybdeengehalte in grof keramische produkten

ligt binnen deze range en bevestigt dat molybdeen van nature in kleiachtige materialen aanwezig is. Er zijn geen verdere gegevens bekend over hoeveelheden grond die via huishoudelijk afval, of anderszins, in de AVI worden verbrand (aanhangende grond van tuinafval, puin van doe-het-zelfers e.d.). Uit de sorteerproeven van huishoudelijk afval (Tabel 7) kan worden afgeleid dat bodemmateriaal/grond maximaal 1.3 ton bijdraagt aan de molybdeenvracht naar de AVI's (onder de 'worst case' aanname dat de fractie <3 mm in de restfractie volledig uit bodemmateriaal/grond bestaat)⁶.

Asresten

In Bijlage 3 is een schatting gemaakt van de hoeveelheid molybdeen in asresten van open haarden en kachels die worden afgevoerd naar de AVI's. Dit is in de orde van 200-400 kg molybdeen.

Tabel 22 Molybdeengehalte grond, slib en organisch materiaal

	gehalte (mg/kg d.s.)	Ref.
zandgrond in Zuid-Holland	0-2	[19]
natuurlijk zand ^a	gem. 19 , min-max: 0.68-137, n=65	[37]
klei- en veengebieden in Zuid-Holland	21-39	[19]
klei	gem. 4.0 , min-max: 0.53-11, n=23	[37]
leem	gem. 9.2 , min-max: 8.98-9.50 , n=2	[37]
grof keramische producten als bouwstof	gem. 21.5 , min-max: 0.67-74.25 , n=24	[37]
GFT-compost	1.97-7.23	NV VAM
compost uit huishoudelijk afval	16	[18]
zuiveringsslib	14	[18]
zuiveringsslib; Zuiveringschap W-Overijssel	gem. 8.4 , min-max: 5-18	[37]
organisch materiaal	0,2 - 5	[19]
planten (per soort verschillend Mo gehalte)	gem. 1.2 , min-max: >0.02 - 20	[39]
	0.03-0.15	[40,19]
asresten van schoon hout ^b	<2-25	[41]
asresten van geveerd hout ^b	<2-6	[41]

^a natuurlijk zand is een los afzettingsgesteente bestaande uit een mengsel van deeltjes met een korrelgrootte die voornamelijk ligt tussen de 63 µm en 2 mm, waarvan de samenstelling en aard sterk kunnen variëren. Onder natuurlijk zand (ophoogzand) vallen beekzand, bekkenzand, bergzand, dekzand, duinzand, heidezand, plaatzand, putzand, rivierzand, stuifzand, zeezand en zilverzand. Landzand is het belangrijkste deel van het ophoogzand. Dit betreft zand uit primaire en secundaire ontgroningen op het land, in binnenwateren, Waddenzee, Eems-Dollard en Westerschelde.

^b aantal analyses niet bekend, slechts twee waarden opgegeven.

⁶ Hoewel het molybdeengehalte en de spreiding daarin in bodemmateriaal/zand en bodemas vergelijkbaar zijn (0-40 mg/kg) is de bijdrage van bodemmateriaal/zand aan de AVI-input beperkt (maximaal 1.3 ton op een totale nationale AVI-input vracht van 16 ton -Tabel 6-). Tevens neemt de bijdrage van bodemmateriaal/zand aan de AVI-input in de tijd vermoedelijk af door de gescheiden inzameling van GFT.

Uit het bovenstaande blijkt dat natuurlijke materialen molybdeen bevatten. Organisch materiaal en asresten dragen naar schatting 500-1000 kg bij aan de molybdeenvracht naar de AVI's. Bodemmateriaal/grond kan van nature substantiële concentraties molybdeen bevatten, de geschatte maximale bijdrage aan de molybdeenvracht naar de AVI's is 1300 kg.

3.12 Bedrijfsafval

Gedurende het (telefonisch) contact met bedrijven over toepassingen van molybdeen is ook gevraagd of er bedrijfsafvalstromen vrijkomen met molybdeen en wat de bestemming daarvan is. Algemeen kan gesteld worden dat omdat molybdeen een dure grondstof is, er tijdens het productieproces zorgvuldig mee wordt omgegaan.

-Bij de productie van molybdeentrioxide zijn er volgens de producent geen afvalstromen die bij de AVI's terechtkomen. Eventuele reststromen, zoals doekfilters uit de rookgasreiniging worden weer in het roostproces ingezet.

-De bij de productie van gloeilampen vrijkomende reststroom wordt verwerkt bij een recyclingsbedrijf voor hergebruik.

-Bij de productie van katalysatoren is er volgens de producent geen procesafvalstroom naar de AVI's. De reststroom van de rookgasontzwaveling bij raffinaderijen met behulp van Mo-katalysatoren wordt hergebruikt (elementair zwavel).

-In het algemeen zullen molybdeenhoudende verfresten niet bij de AVI's terecht komen, deze verven worden alleen gebruikt door schildersbedrijven en voor industriële toepassingen. Volgens de verfbranche is het mogelijk dat verfresten door slordige omgang met het afval bij AVI's terechtkomen. Dit zal echter een kleine bron van molybdeen zijn.

-Molybdeenhoudende inktten worden niet in de drukinktindustrie toegepast en er zijn daarom ook geen bedrijfsafvalstromen met molybdeen die bij de AVI's terecht komen. Ontinkingsslib wordt gestort en komt niet bij de AVI's terecht.

-Resten van laselektrodes zullen meestal via metaalrecycling afgevoerd maar het kan voorkomen dat een gedeelte hiervan bij gewoon bedrijfsafval terecht komt. Dit geldt met name voor het veegafval bij metaalconstructiebedrijven. Deze afvalstroom is waarschijnlijk klein in omvang en zal daarom geen belangrijke bron van molybdeen zijn.

- Communaal zuiveringsslib wordt in een speciale verbrandingsinstallatie verbrand of gestort en komt niet bij de AVI's terecht. De gehalten molybdeen in zuiveringsslib zoals gemeten door het Zuiveringsschap West-Overijssel en uit de literatuur zijn opgenomen in Tabel 22.

-Voor de overige toepassingen van molybdeen is door de bedrijven aangegeven dat er geen bedrijfsafvalstromen zijn met molybdeen naar de AVI's.

Conclusie: Er zijn afgezien van een incidentele industriële bron gedurende dit onderzoek geen specifieke bedrijfsafvalstoffen gevonden als relevante bron van molybdeen voor de AVI's. Het in bedrijfsafvalstoffen aanwezige molybdeen is mogelijk afkomstig van allerlei kleinere bronnen, b.v. veegafval, resten van smeermiddelen in poetsdoeken, etc.

Licht verontreinigde bedrijfsafvalstromen afkomstig van AVR-chemie worden in de roosterovens van AVI 9 verbrand en zijn een mogelijke bron van molybdeen in reststoffen van AVI 9. Een aanwijzing voor de molybdeenbijdrage van deze afvalstromen geeft Tabel

22. In totaal wordt ca. 200 kton afval aangeboden aan de AVR-chemie. 140 kton daarvan wordt daadwerkelijk bij de AVR-chemie verbrand en levert een vracht van 11 kton molybdeen in de reststoffen van AVR-chemie. Onder de aanname dat de afvalstroom afkomstig van AVR-chemie die aan AVI 9 wordt doorgeleverd (ca. 60 kton) eenzelfde molybdeengehalte heeft als het afval dat bij AVR-chemie is verbrand, wordt geschat dat AVR-chemie ca. 5 ton molybdeen aan AVI 9 levert. Volgens AVR bestaat deze afvalstroom uit met name vaste reststoffen, oliesludges en tankbodemsudges.

Tabel 23 Molybdeengehalten en vrachten molybdeen van AVR-Chemie (1996)

	<i>gehalte molybdeen (mg/kg)</i>	<i>molybdeen (kg/jaar)</i>
grove slak	450	453
fijne slak	580	5252
rookgasreinigingsresidu	660	2800
vliegas	690	2742
Totaal		11 ton

bron: AVR-Chemie, januari 1998

3.13 Molybdeen in produkten in huishoudelijk afval

Een aantal produkten die in de afvalfase bij de AVI's terecht komen zijn in het verleden geanalyseerd op zware metalen, waaronder molybdeen. Slechts in enkele van deze produkten werd molybdeen aangetroffen, Tabel 24. Analyses van molybdeen in produkten zijn over het algemeen erg schaars.

Tabel 24 Analyses van molybdeen in huishoudelijke produkten

	<i>Mo-concentratie (mg/kg)</i>	<i>Ref.</i>
Viltstift, kunststof rood	248	[45]

3.14 Conclusies

- De toepassing van molybdeen is globaal in te delen in molybdeen in ijzer/staal: 75%, katalysatoren: 10% en overige molybdeenverbindingen 15%. De molybdeenverbindingen worden toegepast als smeermiddel (MoS_2), meststof, in emaille, en pigmenten.
- In gewone staalsoorten is het molybdeengehalte tienden van procenten. Bodemas na ontijzering bevat nog circa 5% ijzer. De vracht van molybdeen hierin wordt geschat op 2.5 ton. Roestvaststaalsoorten en gereedschapsstaal bevatten een hoger percentage (0.1-10% gew.%) molybdeen. Gezien de eigenschappen (corrosiebestendigheid, bestand tegen hoge temperaturen) van dit staal zal de bijdrage aan de uitloging van molybdeen uit AVI-reststoffen gering zijn.
- Molybdeenhoudende katalysatoren zijn in de afvalfase economisch interessant voor herverwerking en komen niet bij de AVI's terecht.
- Molybdeen wordt gebruikt als metaal in gloeilampen. De molybdeenvracht naar de AVI's is echter klein (ca. 300 kg).
- Molybdaatpigmenten behoren tot de groep loodchromaten en worden vanwege het loodgehalte steeds minder toegepast in verven en drukinkten. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat verven en drukinkt geen belangrijke bron van molybdeen zijn.
- Een vijftal kleurentoners zijn gedurende dit project door het RIVM geanalyseerd op molybdeen. In slechts één type toner is molybdeen aangetroffen. Op basis hiervan is gesteld dat kleurentoners geen belangrijke bron van molybdeen zijn.
- Molybdeenhoudende smeermiddelen worden specifiek toegepast in de industrie en zullen niet via huishoudelijk afval bij de AVI's terecht komen. Restanten van smeermiddelen kunnen via bedrijfsafval echter in de AVI's worden verbrand. De bijdrage hiervan is onbekend.
- Emaille voor staal, meststof en overige toepassingen vormen geen of verwaarloosbare bronnen van molybdeen voor de AVI's.
- Molybdeenhoudende brandvertragers worden in Nederland niet toegepast.
- Er zijn geen specifieke bedrijfsafvalstoffen gevonden met hoge gehalten molybdeen die bij de AVI's worden verbrand. Bij AVI 9 is de doorlevering van bedrijfsafval afkomstig van AVR-chemie een potentiële bron van molybdeen (geschat op 5 ton/jaar).
- Organisch materiaal en asresten dragen naar schatting 500-1000 kg bij aan de molybdeenvracht in AVI-reststoffen. Bodemmateriaal/grond kan van nature substantiële concentraties molybdeen bevatten, de geschatte maximale bijdrage aan de molybdeenvracht naar de AVI's is 1300 kg.

Een samenvatting van de gevonden toepassingen, hoeveelheden bij productie en het belang voor de AVI's is weergegeven in Tabel 24.

Tabel 25 Bronnen van molybdeen en hun bijdrage aan de vracht voor de AVI's

	Bron van molybdeen voor AVI	Gebruik molybdeen bij productie per jaar in Nederland	Geschatte hoeveelheid molybdeen per jaar in afvalfase
Metaallegeringen	-	380 ton	~2.5 ton ^a
Katalysatoren	-	900-1200 ton	30-60 ton
Smeermiddelen	+/-	12-14 ton MoS ₂	
Gloeilampen	+		300/150 ^b kg
Verven	+	0.5-1 ton	
Drukinkten	-/+		
Emaille	+	6.5 ton	< 0.5 ton
Meststof	-	2 - 4 ton	
Elektronica	-		
Brandvertragers	nee		
Asresten en organisch materiaal	+		0.5-1 ton ^a
Bodemmateriaal/grond	+		max. 1.3 ton ^a

^a schatting hoeveelheid molybdeen naar AVI's

^b naar schatting komt 300 kg per jaar in Nederland vrij. De helft hiervan wordt gestort.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Molybdeen in AVI-reststoffen

- Er kunnen twee groepen AVI's worden onderscheiden: AVI's met lage molybdeengehalten en AVI's met hoge gehalten in de reststoffen. De verklaring voor de hogere molybdeengehalten zal gezocht moeten worden in specifieke afvalstromen die daar worden verbrand.
- Voor *alle* AVI's nemen de molybdeengehalten in bodemas significant toe over de periode '91-'96 van gemiddeld 12 mg/kg in 1991 tot 40 mg/kg in 1996 (17 mg/kg wanneer piekconcentraties buiten beschouwen worden gelaten). Er is geen eenduidige verklaring gevonden voor deze toename.

Bronnen van molybdeen in huishoudelijk afval

- Huishoudelijk afval draagt voor 45-70% bij aan de molybdeen-output in reststoffen. Overig afval (o.a. bedrijfsafval, Kantoor-, Winkel- en Dienstenafval, grof huishoudelijk afval) draagt ca. 30-50% bij.
- Diverse bronnen in huishoudelijk afval kunnen bijdragen aan de molybdeenvracht in de AVI's. De belangrijkste bijdrage is afkomstig van de restfractie na sortering van huishoudelijk afval. Andere bronnen zijn de ferro-, non-ferro- en papier- en kartonfractie.
- Bronnen van molybdeen in de restfractie zijn o.a. organisch materiaal (0.3-0.6 ton Mo), asresten (0.2-0.4 ton Mo), zand/klei (max. 1.3 ton Mo), gloeidraden (0.3 ton Mo) en verfresten (vracht onbekend). De bijdrage van organisch materiaal en verfresten aan de molybdeenvracht neemt af. De genoemde bronnen kunnen daarom niet de waargenomen toename van molybdeen in AVI-reststoffen verklaren.
- Uitgebreide navraag naar de toepassing van molybdeen in drukinkten en toners liet zien dat deze geen relevante bron naar de AVI vormen. De molybdeenvracht in de papier-/kartonfractie wordt vermoedelijk mede verklaard door molybdeen dat 'van nature' in papier en karton aanwezig is.
- Molybdeen wordt als pigment toegepast in kunststoffen en keramiek. Het gebruik van molybdeenpigmenten in Nederland neemt af. Hoewel deze afname door 'nauwlijng' niet direct in de afvalfase zichtbaar hoeft te worden, is het niet waarschijnlijk dat het verbranden van oudere partijen kunststoffen met molybdeenpigmenten de huidige toename van molybdeen in AVI-reststoffen, gezien de geringe vracht, verklaart.

Bronnen in bedrijfsafval

- Voor twee AVI's verklaart huishoudelijk afval slechts 20-40 % van de molybdeenvracht in de reststoffen. De berekende molybdeenconcentratie in overig afval ligt ongeveer 5x hoger dan bij de andere AVI's, hetgeen duidt op specifiek molybdeenhoudende afvalstromen in het overig afval. Uitschieters in molybdeengehalten van bodemas van deze AVI's kunnen

zeer waarschijnlijk verklaard worden door incidentele leveringen van molybdeenrijk afval (katalysator-restanten). Wanneer deze piekwaarden buiten beschouwing worden gelaten neemt ook bij deze AVI's de molybdeengehalten in bodemas significant toe over de periode '91-96.

- Navraag bij producenten heeft geen nieuw inzicht gebracht in specifieke molybdeenhoudende bedrijfsafvalstromen die bij de AVI's zouden worden verbrand. Voor AVI 9 geldt dat de bijdrage van licht verontreinigde afvalstromen afkomstig van AVR-Chemie mogelijk kunnen bijdragen aan de molybdeenvracht in de reststoffen van deze AVI.

Aanbeveling: Voor een beter inzicht in de herkomst van molybdeen bij AVI 9 is het wenselijk dat de licht verontreinigde afvalstromen afkomstig van AVR-Chemie die in AVI 9 worden verbrand, op molybdeen worden geanalyseerd.

Uit het onderzoek is gebleken dat de herkomst van molybdeen is te herleiden uit allerlei diffuse bronnen. Er zijn geen specifieke bronnen aan te wijzen die de toename van de molybdeengehalten in bodemas kunnen verklaren. Het is daarom niet mogelijk via inputmaatregelen het molybdeengehalte en uitloging te verlagen.

5. SLOTBESCHOUWING

Basis voor dit onderzoek is geweest de meerjarige monitoring van AVI-input met huishoudelijk afval en de *samenstelling* en uitloging van AVI-reststoffen. Op basis van deze monitoring kan wordt vastgesteld dat i) de molybdeentoevoer naar de AVI's toeneemt, ii) dat huishoudelijk afval voor ongeveer 50% bijdraagt aan die input en iii) welke fracties in huishoudelijk afval belangrijk zijn. Monitoring blijkt daarmee een belangrijk middel om vroegtijdig veranderingen te signaleren en eventuele trends aan te wijzen. Voor molybdeen werd in het voorliggend onderzoek een verrassend sterke trend gevonden, voor alle AVI's nam het molybdeengehalte significant toe in de periode '91-'96. Ondanks de relatief sterke gegevensbasis bleek het moeilijk de specifieke bronnen van molybdeen te identificeren en te kwantificeren. Enerzijds omdat vele -diffuse- bronnen bijdragen aan de input met huishoudelijk afval naar de AVI, anderzijds doordat de monitoring niet dekkend is, met name wat betreft het bedrijfsafval, KWD en grof afval. Daarnaast bleek informatie over molybdeengehalten en vrachten relatief schaars. Daarbij speelt een rol dat molybdeen beleidsmatig nauwelijks in de aandacht staat, behalve in relatie tot de AVI-reststoffen-problematiek. Omdat in het voorliggend onderzoek de bronnen van molybdeen in de AVI-reststoffen niet eenduidig konden worden vastgesteld zijn geen beleidsmatige aanbevelingen mogelijk, die gericht zijn op het reduceren van molybdeen in de AVI-input.

LITERATUUR

- [1] Ministerie van VROM, 1995. Implementatieplan AVI-reststoffen. Publicatiereeks afvalstoffen nr. 1995/22.
- [2] VVAV. 1995. Bronnenonderzoek molybdeen in AVI-bodemas. Vereniging van Afvalverwerkers, Utrecht, Publicatie nr. VVAV94051TR.R .
- [3] Krajenbrink, G.W. en P.G. Eggels. Componentenonderzoek AVI-input. Componenten in het Nederlands huishoudelijk afval en daarmee vergelijkbaar bedrijfsafval in AVI's: herkomst en bestemming. Publicatiereeks afvalstoffen 1997-37.
- [4] Aalbers, T.G. e.a. 1993. Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewaterenbescherming. RIVM rapport nr. 771402006. RIZA rapport nr. 93.042
- [5] VVAV. 1995. Kwantiteits- en kwaliteitsanalyses afvalaanbod en AVI-reststoffen 1994. Vereniging van Afvalverwerkers. Publicatie nr. VVAV95061TR.R
- [6] Gilbert, R.O. 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. p. 208-215, 272 (Table A18). Van Nostrand Reinhold Company.
- [7] Tauw Milieu. 1998. Concept februari 1998: Onderzoek naar de relatie tussen samenstelling van afvalcomponenten en de uitloging van AVI-residuen.
- [8] Werkgroep Afvalregistratie, 1993. Afvalverwerking in Nederland. Kalenderjaar 1992. RIVM Rapport nr. 776201006.
- [9] Werkgroep Afvalregistratie, 1994. Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 1993. RIVM Rapport nr. 776201017.
- [10] Werkgroep Afvalregistratie, 1995. Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 1994. RIVM Rapport nr. 776201019.
- [11] Werkgroep Afvalregistratie, 1996. Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 1995. RIVM Rapport nr. 776205002
- [12] Werkgroep Afvalregistratie, 1997. Afvalverwerking in Nederland. Gegevens 1996. RIVM Rapport nr. 776204002
- [13] Cornelissen, A.A.J. en P.F. Otte. 1996. Fysisch onderzoek naar de samenstelling van het Nederlandse huishoudelijk afval. Resultaten 1995. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Rapport nr. 776221001
- [14] RIVM, Tauw Milieu, 1997. Analyseresultaten sorteerproeven huishoudelijk afval. Niet gepubliceerde gegevens.
- [15] Otte, P.F., 1995. Analysis of metals and calorific value in components from household waste, 1988-1992. RIVM rapport nr. 776201024
- [16] Cornelissen, A.A.J., A. Buijze en P.F. Otte., 1995. Fysisch onderzoek naar de

- samenstelling van het Nederlandse huishoudelijk afval. Resultaten 1994. RIVM rapport nr. 776201018
- [17] RIVM, 1996. Monitoring Prioritaire Afvalstoffen. Gegevens 1994. RIVM rapport nr. 776205001
- [18] RIVM, 1997. Monitoring Prioritaire Afvalstoffen. Gegevens 1995. RIVM/LAE, februari 1997.
- [19] Stoop, J.M. en A.J.M. Rennen. 1991. Schadelijke stoffen voor land- en tuinbouw: molybdeen. Centrum voor landbouw en milieu.
- [20] Braithwaite, E.R. and J. Haber (eds.) 1994. Molybdenum: an outline of its chemistry and uses. Studies in Inorganic Chemistry 19. Elsevier Science, The Netherlands.
- [21] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition. 1991. Vol A 16, p. 655-698.
- [22] US Department of the Interior. 1996. Minerals yearbook. Volume II: area reports: domestic. Washington
- [23] U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. 1998. Mineral Industry Surveys. <http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/molybdenum/>
- [24] Tuinen, van, S.T. 1992. Metalen in het milieu: een nadere analyse van toepassingen van metalen in de samenleving. Groningen: Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde. IVEM-onderzoeksrapport nr. 58
- [25] Kirk-Othmer. 1978. Encyclopedia of chemical technology, 3rd ed., New York, Wiley
- [26] Climax Molybdenum Company. A Cyprus Amax Company, Fort Madison Plant. Uses of molybdenum. <http://www.cyprusamax.com/madison/uses.html>
- [27] Gerritsen, R. e.a. 1990. Overzichtsrapport Metrex-project. Terugwinning van metalen uit afgewerkte katalysatoren. TNO-rapport 90-362.
- [28] Douma G.H., H. Verhagen en H.J. Bremmer. 1993. Informatiedocument spuitafval RIVM rapport nr. 738902024
- [29] VVVF. 1996. Grondstoffenverbruik 1994 in de Nederlandse verf- en drukinktindustrie. Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten.
- [30] Endriss, H., 1997. Aktuelle anorganische Bunt-Pigmente. Hannover: Vincentz. ISBN: 3-87870-440-2
- [31] VVVF. 1990. Grondstoffenverbruik 1989 in de Nederlandse verf- en drukinktindustrie. Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten.
- [32] VVVF. 1991. Grondstoffenverbruik 1991 in de Nederlandse verf- en drukinktindustrie. Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten.

-
- [33] WHO, 1997. Flame Retardants: A General Introduction. Environmental Health Criteria 192. World Health Organization.
- [34] Tulp, M. 1995. Molybdeenhagel - het vijfde alternatief. De Nederlandse Jager- 100, 2. p. 10-11
- [35] Tulp, M. 1997. Tin, tungsten, nikkel en het nieuwe Molyshot. De Nederlandse Jager- 102, 9. p. 10-12
- [36] R. Meij. 1992. The fate of trace elements at coal-fired power plants. KEMA Onderzoek en Ontwikkeling, Arnhem. KEMA-rapport 32561-MOC 92-3641
- [37] Aalbers, Th. G. e.a., 1993. Appendix A,B,C bij RIVM-rapport nr. 771402006 en RIZA-rapport nr. 93.042. Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodem- en oppervlaktewaterenbescherming.
- [38] Zuiveringschap West-Overijssel, Bureau Slibzaken. Analyseresultaten vloeibaar zuiveringsslib 1995
- [39] Gupta, U.C. (ed.) 1997. Molybdenum in agriculture. Cambridge University Press, UK. ISBN 0-521-57121-9
- [40] Kabata-Pendias, A. en H. Pendias. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Florida. ISBN 0-8493-6639-9
- [41] Tauw Infra Consult b.v., 1987. Verbranding van afvalhout. Deel 1: Verbrandings-experimenten en haalbaarheidsstudie. Deel 2: Verven en impregneermiddelen voor hout. Nationaal onderzoeksprogramma hergebruik afvalstoffen (NOH)
- [42] Heyes, J.G. and R.G.R. Sellers. 1992. Metals and materials 2.
- [43] Concept MER Uitbreiding Installatie voor de verwerking van caustic water. AVR-Bedrijven.
- [44] Booij, H., C.H.A. Quarles Ufford en H. Brouwer. 1996. Stoken van openhaarden, hout- en kolenkachels door partikulieren. WESP document. RIVM rapport nr. 772414006.
- [45] Meijer, P.J. 1994. Analyse van een aantal metalen in de produkten: kaarsen, viltstiften, vetkrijtjes en ballonnen. RIVM rapport nr. 776201016
- [46] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. 1965. Dritte Auflage, Band 16. p. 180. Urban & Schwarzenberg, Munchen, Berlin.
- [47] IMO, 1992. Molybdenum. International Molybdenum Association ISBN: 0-9519441-0-X. See also: <http://www.imoa.org.uk>
- [48] Shields, J. 1995. Applications of Mo metal and its alloys. International Molybdenum Association

BIJLAGE I LIJST VAN GERAADPLEEGDE BEDRIJVEN EN INSTELLINGEN

Akros Chemicals v.o.f., Roermond
AKZO NOBEL Chemicals B.V., Amsterdam
AKZO Nobel Inks B.V., Deventer
ARCO Chemie Nederland Ltd., Rotterdam
AVR, Rozenburg
BASF Nederland B.V., Arnhem
Bayer B.V., Division Inorganic Products, Mijdrecht
Beverol B.V., Beverwijk
Booy Clean B.V., Botlek Rt
BOVAG, Bunnik
CBS, Den Haag
Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht
Centrum voor onderzoek en Technisch advies, Haarlem
Clariant B.V., Uden
CLIMAX Molybdenum B.V., Rozenburg
Cronifer Holland B.V., Moerdijk
Dow Benelux B.V., Terneuzen
Eurobrom B.V., Rijswijk
Ferro Holland B.V., Rotterdam
Frentex Productie B.V., Heerhugowaard
Global Friktion B.V., Beverwijk
HVC, Alkmaar
Hydro Agri Rotterdam B.V., Rotterdam
IWC Chemische produkten B.V., Maarsen
Keyser en Mackay B.V., Amsterdam
KLM, Amsterdam
KNP BT Packaging, Hoogeveen
Koninklijke Smeets Offset B.V., Weert
Koninklijke Talens B.V., Apeldoorn
LB METREX, Heerlen
Lincoln Smitweld B.V., Nijmegen
Maetis Consultancy B.V., Maarsen
Manders Premier Winschoten B.V., Winschoten
Materiaalkundig Instituut Delft Eindhoven Groningen, Delft
Mavom B.V., Alphen a/d Rijn
Ministerie van Economische Zaken, Den Haag
MIREC B.V., Eindhoven
NedStaal B.V., Alblasterdam
O + R inktchemie B.V., Zaandam
Paktank B.V., Rotterdam
PHILIPS Lightning B.V., Eindhoven
RIVM-CSR
RIZA, Lelystad
Roter Smeets B.V., Deventer
Scheepvaartinspectie, Den Haag

Sicpa Sinclair B.V., Zevenaar
Sunchemical B.V., Lelystad
SunChemical PGI (Publication Gravure Inks) B.V., Ettenleur
TAUW Milieu B.V., Deventer
Technische Universiteit, Delft
TNO Industrie, Delft
TNO-Kunststoffen en Rubberinstituut, Delft
TNO-MEP, Apeldoorn
Tulip Computers Nederland B.V., 's Hertogenbosch
VAM N.V., Wijster
Van Son koninklijke Drukinktfabrieken B.V., Hilversum
Vereenigde Glasfabrieken N.V., Schiedam
Vereniging van Afvalverwerkers VVAV, Utrecht
Vereniging van Nederlandse Papierproducenten VNP
Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten VVVF, Leiden
Visprox B.V., Haarlem
Vollenhove Olie B.V., Tilburg

BIJLAGE II STATISTISCHE ANALYSE

De statistische analyse is uitgevoerd door Arnold Dekkers (RIVM/CIM) met behulp van het statistische pakket S-Plus.

Het onderzoek richtte zich op drie vragen:

1. is er een lineair verband af te leiden tussen het gehalte molybdeen in AVI-bodemas en de molybdeenconcentraties na uitloging?
2. is er een stijgende trend in de molybdeengehaltes in bodemas per AVI?
3. is het gehalte molybdeen in de bodemas te verklaren uit het gedrag van andere stoffen die worden aangetroffen?

Voor vraag 1. is een lineaire regressie analyse uitgevoerd. AVI 1-5 en AVI 8,9 vertoonden een sterk afwijkend gedrag. Daarom zijn deze twee groepen apart genomen. Binnen deze groepen was het AVI-nummer niet significant.

Het model voor AVI 1-5 is na weglaten van sterk afwijkende waarden:

Mo-uitloging = $0.34 + 0.04 \cdot \text{Gehalte Mo}$ met $R^2 = 53\%$,
zowel het intercept als de richtingscoëfficiënt zijn significant.

Het model voor AVI 8,9 is:

Mo-uitloging = $1.26 + 0.04 \cdot \text{Gehalte Mo}$ met $R^2 = 60\%$,
zowel het intercept als de richtingscoëfficiënt zijn significant.

Voor vraag 2. en 3. is gebruik gemaakt van de Mann-Kendall test [6].

De nulhypothese H_0 : geen trend aanwezig wordt eenzijdig getoetst tegen een alternatieve hypothese H_1 : er is een stijgende trend aanwezig met een significantieniveau van 5%. De bijbehorende ondergrens is 1.654. Dus waarden groter dan 1.645 houden in dat de nulhypothese H_0 wordt verworpen. De resultaten van deze test staan in Tabel 25.

Toelichting op Tabel 25:

Alle **vet gedrukte** getallen geven aan dat de nulhypothese “geen trend aanwezig” verworpen wordt (waarden groter dan 1.645). Niet vet gedrukte getallen betekenen dat de nulhypothese “geen trend aanwezig” niet verworpen wordt. Significant en niet significant wordt gebruikt als er weinig monsters zijn genomen. Bij deze waarden hoort een andere ondergrens. AVI 3 is door het kleine aantal monsters buiten beschouwing gelaten.

In 1996 vertoont molybdeen extreem hoge waarnemingen bij AVI 9. Tevens vertonen chloor en lood en een duidelijke verhoging maar niet zo prominent als bij molybdeen.

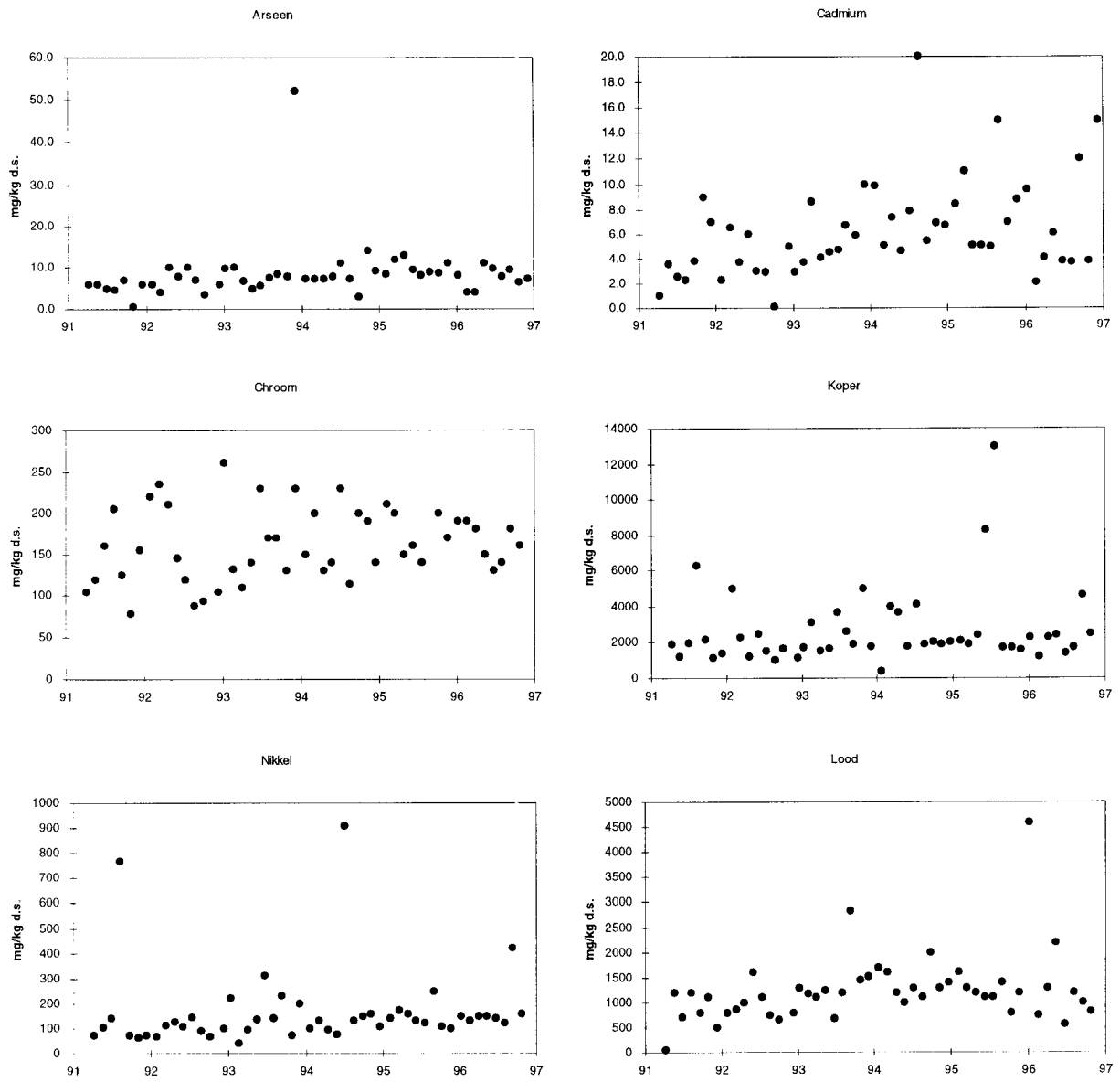
Verder is antimoon wat verhoogd, maar niet extreem. De extreme waarde voor zink ligt in 1995. In Figuur 8 en Figuur 9 zijn de gehalten van de gemeten elementen bij AVI 9 weergegeven.

Tabel 26 Trend Analyse van gehalte molybdeen in as voor AVI's

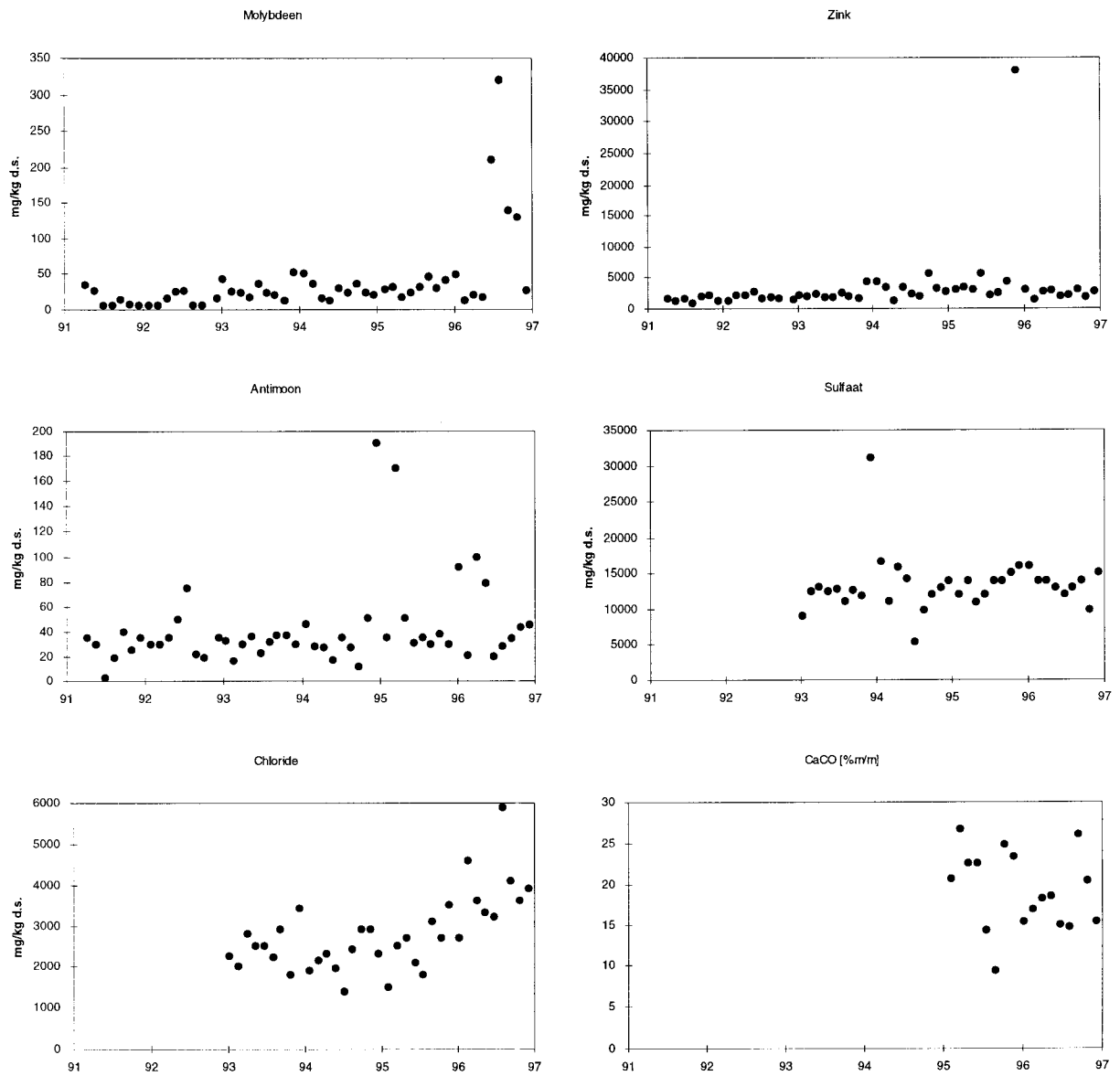
	AVI 1	AVI 2	AVI 4	AVI 5	AVI 8	AVI 9	AVI 9 ^a
Arseen	0.896	-0.242	1.897	1.465	1.147	2.705	3.702
Bromide	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Niet signif	Niet signif	n.v.t.
Cadmium	1.787	0.583	1.449	2.461	1.654	3.013	3.934
Chroom	2.337	3.96	3.212	1.053	0.847	1.256	1.506
Koper	3.36	1.62	1.893	3.053	1.402	1.381	1.417
Molybdeen	2.062	3.567	3.023	4.036	2.374	3.756	3.044
Nikkel	1.512	1.284	2.455	3.077	2.455	2.831	2.057
Lood	1.309	0.152	0.586	2.14	0.654	1.937	2.684
Antimoon	1.796	0.98	1.04	0.82	1.987	1.72	1.299
Zink	1.585	0.444	2.026	3.154	2.437	3.649	4.574
Sulfaat	-0.55	2.113	-1.937^b	0.645	1.066	1.343	1.304
Chloride	1.714	0.668	-0.556	1.972	1.294	3.583	0.773
CaCO	n.v.t.	-0.28	Niet signif.	significant	Niet signif.	-0.907	Niet signif.

^a zonder jaar 1996 vanwege extra hoge waarnemingen voor sommige componenten, de tijdstippen van deze waarnemingen vallen niet samen met die van molybdeen.

^b alternatieve hypothese : neerwaartse trend



Figuur 8 Gehalte van de elementen in bodemas van AVI 9



Figuur 9 Gehalte van de elementen in bodemas van AVI 9

BIJLAGE III MOLYBDEEN IN ASRESTEN VAN OPEN HAARDEN EN KACHELS*1. Berekening van molybdeen in asresten van open haarden en kachels, 1992 [44]:*

	gewicht (droog):
Hout ouder dan 1 jaar, vocht 20%	465 kton
Hout jonger dan 1 jaar, vocht 50%	208 kton
Kolen/turf/bruinkool	17 kton
Afval	<u>8 kton</u> +
Hoeveelheid verbrand materiaal:	690 kton d.s./jr.
Hoeveelheid asresten:	29 kton/jr [44].
Verbrandingsdeeltjes <10 µm:	7 ton/jr. (verwaarloosbaar)

Uitgaande van een molybdeengehalte van 1 mg/kg d.s. (zie Tabel 21) en een hoeveelheid verbrand materiaal van 690 kton d.s. geeft dit een vracht van 690 kg Mo.

Als dan wordt aangenomen dat al de asresten bij het huishoudelijk afval terecht komen (ongeveer de helft wordt verbrand) dan levert dit een bijdrage aan de vracht in de restfractie <3 mm van ongeveer 300-400 kg. Deze schatting is waarschijnlijk te hoog doordat ook een deel van de as als meststof wordt verspreid in tuinen.

2. Uitgaande van vergelijking as van kolencentrales en hout [36,37]:

Het gehalte in molybdeen in kolenas is: 14-27 ppm aangenomen dat dit gehalte aanwezig is in de 29 kton asresten dan geeft dit een molybdeenvracht van 400-800 kg/jr., waarvan de helft in huishoudelijk afval voor verbranding: 200-400 kg/jr.