

RIVM rapport 518001014/2002

Inzetbaarheid van XRF en ICP-MS voor de vaststelling van metaalgehalten in verpakkingsmateriaal in het kader van de Regeling Verpakking en Verpakkingsafval

J. van Dijk, A. van de Beek, R. Ritsema

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directie RIVM, in het kader van project S/518001, Milieu/Methodeontwikkeling.

Abstract

Within the framework of the “Regulation of Packaging and Packaging Waste” are requirements for the amounts of cadmium, lead, mercury and chromium (Cr^{VI}). The sum of the amounts may not exceed the concentration of 100 $\mu\text{g/g}$.

Because of analytical limitations chromium is determined as total chromium (Cr) instead of Cr^{VI} .

The applicability of three different apparatus is investigated within the framework of maintenance in an exploratory research:

1. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)
2. XRF-XEPOS (XRF: X-Ray Fluorescence Spectrometry)
3. XRF-NITON

Criteria of judgement are:

- Accuracy
- Speed/ efficiency
- Location restriction

The pre-selection of 115 plastic packaging samples is executed with the XRF-NITON. A limited number of samples was analysed with INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) as a reference method.

The ICP-MS results were compared with INAA and the results of XRF-XEPOS with those of INAA and/or ICP-MS.

After comparing the results it seems that the ICP-MS is most accurate with exception of the element chromium. Chromium in casings does not or not completely dissolve during digestion. ICP-MS is a time-consuming technique and the analysis is tied to the laboratory.

The results of XRF-XEPOS are in good agreement with the INAA and/or ICP-MS results. The XRF-XEPOS results for Cr measured with the semi quantitative program are a factor 2 till 4 higher than the INAA and/or ICP-MS results. Adding comparable calibration samples to the measuring-program can realise a shift from a semi quantitative to a quantitative analysis. The XRF-XEPOS is a fast, efficient and on location available technique.

The XRF-NITON is only useable for indicating samples with a very high exceeding of the norm. However false positive samples will also be measured.

Voorwoord

De totstandkoming van dit rapport is mede mogelijk gemaakt door R. P. M. van Veen van het Laboratorium voor Anorganisch-analytische Chemie (LAC) en M.G. Mennen, E. M. van Putten en F. Fortezza van de afdeling Inspectie-onderzoek en Milieu-ongevallendienst (IEM).

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Materiaal en methode	9
2.1 Apparatuur, hulpmiddelen en chemicaliën	9
2.2 Monsters	9
2.2.1 Monsterneming	9
2.3 Monstervoorbereiding	10
2.4 ICP-MS analyse, XRF-XEPOS en XRF-NITON	10
2.4.1 Ontsluiting en ICP-MS analyse	10
2.4.2 Algemene introductie XRF	11
2.4.3 XRF-XEPOS	11
2.4.4 XRF-NITON	12
2.5 Aantoonbaarheidsgrenzen	13
3 Resultaten, aanvullende metingen en discussie	15
3.1 Resultaten	15
3.1.1 Analyse resultaten	15
3.1.2 Kwaliteitsborging	16
3.1.3 Aanvullend onderzoek met Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) van een aantal geselecteerde monsters	18
3.2 Discussie	19
3.2.1 Cadmium	19
3.2.2 Chroom	20
3.2.3 Lood	22
3.2.4 Kwik	23
3.2.5 Inzetbaarheid van de XRF-XEPOS voor handhaving	23

3.2.6	Koper	25
3.2.7	Molybdeen	25
3.2.8	Antimoon	26
4	Conclusies	28
5	Aanbevelingen	30
	Literatuurlijst	31
Bijlage 1	Overzicht codering en omschrijving monsters verpakkingsmateriaal	32
Bijlage 2	Resultaten Cd, Cr, Hg en Pb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS	35
Bijlage 3	Resultaten Cu, Mo, Sb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS	41
Bijlage 4	Totaaloverzicht screening van de elementen Cr, Cd, Pb, Hg, Cu, Mo en Sb middels XRF-XEPOS van monsters verpakkingsmateriaal	46
Bijlage 5a t/m d	Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten voor het kopergehalte (a), chroomgehalte (b), molybdeengehalte (c), antimoongehalte (d) in verpakkingen	49
Bijlage 6	Verzendlijst	51

Samenvatting

In het kader van de “Regeling Verpakking en Verpakkingsafval” worden eisen gesteld aan de gehalten van cadmium, lood, kwik en zeswaardige chroom. De som van de gehalten mag de grens van 100 µg/g niet overschrijden.

Wegens analytische beperkingen wordt chroom als totaal chroom (Cr) bepaald i.p.v. zeswaardig chroom (Cr^{VI}).

Een verkennend onderzoek is ingesteld naar toepassingsmogelijkheden van drie apparaten in het kader van handhaving:

1. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)
2. XRF-XEPOS (XRF: X-Ray Fluorescence Spectrometry)
3. XRF-NITON

Criteria van beoordeling zijn:

- Nauwkeurigheid
- Snelheid/ efficiency
- Locatiegebondenheid

De voorselectie van 115 kunststof verpakkingen is uitgevoerd met de XRF-NITON. Een beperkt aantal monsters is geanalyseerd met INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) als referentiemethode.

De ICP-MS resultaten worden vergeleken met INAA en de resultaten van de XRF-XEPOS met die van INAA en/of ICP-MS.

Uit de vergelijking van de resultaten blijkt ICP-MS het meest nauwkeurig met uitzondering van het element chroom. Chroom in casing (kunst darmen) gaat tijdens de ontsluiting niet of onvolledig in oplossing. ICP-MS is een tijdrovende techniek en de analyse is gebonden aan het laboratorium.

De resultaten verkregen met XRF-XEPOS zijn in goede overeenstemming met de INAA en/of ICP-MS resultaten. De XRF-XEPOS resultaten voor Cr verkregen met de huidige semi kwantitatieve meetmethode liggen een factor 2 tot 4 hoger dan de INAA en/of ICP-MS resultaten. Het toevoegen van vergelijkbare kalibratiemonsters aan het meetprogramma kan een verschuiving van een semi-kwantitatieve naar een kwantitatieve analyse bewerkstelligen. De XRF-XEPOS is een snelle, efficiënte en op locatie inzetbare meetmethode.

De XRF-NITON is alleen inzetbaar als indicatie voor monsters met een zeer hoge overschrijding van de norm, waarbij echter ook vals positieve monsters worden gemeten.

1. Inleiding

Per 1 augustus 1997 is de “Regeling Verpakking en Verpakkingsafval” van kracht (EG richtlijn nr. 94/62/EG). Dit besluit is een gevolg van EG richtlijnen van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie (PbEG L 365) betreffende verpakkingen en verpakkingsafval.

Voor dit onderzoek worden 5 materiaalsoorten onderscheiden [1]:

1. papier / karton (b.v. zakken en labels)
2. glas (b.v. potten en flessen)
3. kunststof (b.v. flacons, emmers en bakken)
4. metaal (b.v. stalen en blikken verpakkingen (ferro) en aluminium verpakkingen (non-ferro))
5. hout (b.v. pallets en kratten)

In het besluit worden onder meer eisen gesteld aan de gehalten van enkele zware metalen in verpakkingsmateriaal, namelijk cadmium (Cd), lood (Pb), kwik (Hg) en zeswaardig chroom (Cr^{VI}). Sinds 30 juni 2001 mag het totaalgehalte van de som van deze vier elementen niet groter zijn dan 100 $\mu\text{g/g}$. De zware metalen benoemd in de “Regeling Verpakking en Verpakkingsafval” worden veelal voor de kleuring van verpakkingen zelf gebruikt en voor de opdruk van deze verpakkingen.

Het onderzoek beschreven in dit rapport bestaat primair uit de vergelijking van een aantal meetmethoden voor de bepaling van de in de “Regeling Verpakking en Verpakkingsafval” genormeerde zware metalen Cd, Pb, Hg en Cr. Behalve de vier genormeerde zware metalen worden ook enkele andere voor het milieu relevante zware metalen, namelijk molybdeen (Mo), antimoon (Sb) en koper (Cu), in dit onderzoek meegenomen. Voor deze elementen zijn in de “Regeling Verpakking en Verpakkingsafval” geen normen opgenomen, maar deze staan in andere wet- en regelgevingen.

De gebruikte meetmethoden zijn:

- X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF)
- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS).

De voorselectie van de monsters is uitgevoerd door middel van screening met een draagbare XRF (type XRF-NITON). Niet alle geselecteerde monsters bevatten te hoge gehalten aan Cd, Cr, Pb of Hg gemeten met de XRF-NITON. Een aantal monsters, waarin deze metalen niet werden gevonden, zijn toch geselecteerd om een aantal controlemetingen te hebben op eventuele vals positieve en negatieve uitslagen van de XRF-NITON.

Doordat de meeste monsters niet homogeen gekleurd zijn worden deze vernalen om een zo homogeen monster te benaderen. Na het vernalen van de geselecteerde monsters zijn deze gemeten met de energie dispersieve XRF (type XRF-XEPOS, firma Spectro). Bij ED-XRF worden de karakteristieke energieën van alle elementen in één keer gemeten. Vervolgens zijn de vernalen monsters ontsloten en zijn de monsteroplossingen gemeten met de ICP-MS. Een aantal monsters is geanalyseerd met een referentiemethode Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA).

Chroom kan voorkomen als driewaardig (Cr^{III}) en - zeswaardig chroom (Cr^{VI}). Wegens analytische beperkingen kan bij de gebruikte analysemethoden XRF en ICP-MS chroom niet als Cr^{VI} worden bepaald, maar wel als totaal chroom (som van Cr^{III} en Cr^{VI}). Het gemeten gehalte van het totaal Cr zal waarschijnlijk groter zijn dan het werkelijke aandeel van Cr^{VI}

waardoor een mogelijk overschatting van het gehalte aan Cr^{VI} plaatsvindt. In dit rapport zal totaal chroom worden gerapporteerd als Cr.

Wanneer loodchromaat wordt gebruikt als kleurstof komt Cr voor als Cr^{VI}. In dit geval wordt er naast een hoog chroomgehalte ook een hoog loodgehalte gemeten.

De analyseresultaten van de XRF-NITON, XRF-XEPOS en ICP-MS zijn naast elkaar gezet voor Cd, Pb, Hg en Cr om een uitspraak te kunnen doen over de mate van geschiktheid en de toepasbaarheid van de verschillende methoden voor handhavingdoeleinden. Tevens zijn de analyseresultaten van Mo, Sb en Cu meegenomen in de discussie. Deze elementen zijn niet in de conclusie opgenomen, omdat dan aan het primaire doel van het onderzoek voorbij wordt gegaan.

Het RIVM heeft een inventarisatie van een aantal meetmethoden gemaakt. De ontwikkeling van deze meetmethoden is binnen het RIVM uitgevoerd. Hieronder volgen de voor- en nadelen van de verschillende meetmethoden:

Voordelen van de XRF-XEPOS:

- ✓ Snelle screening van monsters
- ✓ Weinig monstervoorbewerking
- ✓ Meten op locatie mogelijk

Nadelen van de XRF-XEPOS:

- ✓ Semi-kwantitatieve programma niet optimaal voor verpakkingen
- ✓ Geen optimale gevoeligheid

Voordelen ICP-MS:

- ✓ Hoge mate van gevoeligheid en precisie
- ✓ Zeer korte analysetijd

Nadelen ICP-MS:

- ✓ Ontsluiting van de monsters is essentieel en zeer tijdrovend
- ✓ Ontsluiting kan onvolledig zijn

De voorkeur gaat uit naar het gebruik van de XRF-XEPOS voor handhavingdoeleinden, omdat deze snel, en eventueel op locatie, inzetbaar is met weinig monstervoorbewerking. De metingen zijn uitgevoerd met een semi-kwantitatieve meetmethode Tqk2760 voor poedervormige matrices, de gemeten concentratie wordt benaderd binnen 10-20% relatief wanneer de matrix van de monsters overeenkomt met die van de standaarden in het meetprogramma. Bij een afwijkende matrix zal meetfout nog groter zijn. De verwachting is dat het meetprogramma zal moeten worden aangepast om kwantitatief te kunnen vaststellen of de norm voor verpakkingen (Σ Cd, Cr, Pb, Hg <100 µg/g) wordt overschreden.

Het onderzoek is uitgevoerd in een nauw samenwerkingsverband van de Inspectie Milieuhygiëne van VROM en het RIVM in opdracht van de VROM-Inspectie Regio Oost.

Het onderzoek maakt deel uit van een project gestart door de VROM-Inspectie. De doelstellingen van het project zijn:

1. Het in kaart brengen van de aanwezigheid van zware metalen in verpakkingsmateriaal binnen de keten.
2. Het ontwikkelen van een handhavingstrategie.
3. **Het ontwikkelen van monsterneming- en analysemethoden die binnen deze strategie passen.**
4. Inzicht krijgen in de gehalten aan zware metalen van samengestelde, scheidbare verpakkingen.

In dit rapport wordt ingegaan op punt 3 van de doelstellingen van het totale project.

2. Materiaal en methoden

2.1 Apparatuur, hulpmiddelen en chemicaliën

Apparatuur en hulpmiddelen:

- ED-XRF, Spectro, XEPOS, Palladium röntgenbuis
- Portable ED-XRF, Niton, 723Q, Cd¹⁰⁹ en Am²⁴¹ bron
- ICP-MS, Hewlet Packard, HP 4500 plus
- Stoof, Heraeus Instrument, UT 6760
- Ontsluitingsvat, Berghof, type DAB-2
- Universele snijmolen, Fritsch, type pulverisette 19, V-vormige rotor, wolframcarbide maalgarnituur
- QF20 Quarzfaser Rundfilter, Schleicher & Schuell

Chemicaliën:

- ✓ Salpeterzuur, 65% (w/w), Merck, suprapur
- ✓ Gedemineraliseerd water, milli-Q kwaliteit

2.2 Monsters

2.2.1 Monsterneming

De kunststof verpakkingen en verpakkingsmaterialen zijn geselecteerd met XRF-NITON en op het RIVM geanalyseerd middels XRF-XEPOS en ICP-MS.

Splitsing verpakkingen in deelmonsters

Een aantal van de geselecteerde monsters bleek uit meerdere te scheiden delen te bestaan. Conform het verpakkingenbesluit (EU richtlijn nr. 94/62/EG) en in overleg met de opdrachtgever is besloten de verschillende onderdelen van deze verpakkingen apart te analyseren.

Enkele deelmonsters bestonden niet uit kunststof maar uit een ander materiaal. Hoewel het onderzoek is gericht op kunststof verpakkingen, zijn deze deelmonsters toch geanalyseerd met de XRF-XEPOS en een enkele met ICP-MS. Een ICP-MS analyse van metalen en glazen deelmonsters is niet uitgevoerd vanwege het niet in oplossing kunnen brengen van deze matrices met behulp van de gangbare ontsluitingsmethode. Enkele papieren en kartonnen deelmonsters zijn wel met ICP-MS geanalyseerd. Voor deze deelmonsters is dezelfde ontsluitingsmethode gebruikt als voor de kunststof monsters.

In bijlage 1 (Overzicht codering en omschrijving monsters verpakkingsmateriaal) staat een monsteroverzicht van de geselecteerde verpakkingen met codering en omschrijving.

2.3 Monstervoorbereiding

Een groot aantal verpakkingen is inhomogeen omdat deze eenzijdig bedrukt zijn. Om een zo homogeen mogelijk monster te benaderen worden deze cryogeen vermalen. Een kwantitatieve analyse middels XRF-XEPOS vereist deeltjes met een maximale deeltjesgrootte van 50 µm. Uit de praktijk blijkt dat maalgarnituur met een kleinere diameter dan 2 mm dichtslaat tijdens het verkleinen van de verpakkingen. Met een deeltjesgrootte van maximaal 2 mm is een compromis gevonden tussen praktische uitvoerbaarheid, hanteerbaarheid en homogeniteit van de monsters.

De manier van stapelen van het monster (compacte stapeling, of veel lucht tussen deeltjes) in het meetcupje kan ook een belangrijke rol spelen voor een optimale meting.

Om contaminatie tijdens het verkleinen van de monsters in de snijmolen te vermijden is een wolframcarbide maalgarnituur gebruikt. Dit is een zeer hard en inert materiaal bestaande uit wolfram en koolstof, waardoor weinig slijtage tijdens het snijden optreedt. Er zal dus geen storend effect afkomstig door metaaldeeltjes van de snijmolen op de te bepalen elementen in de verpakkingen optreden. Tussen de malingen door is de maalapparatuur goed schoongemaakt, dit is essentieel maar ook zeer tijdrovend.

2.4 ICP-MS, XRF-XEPOS en XRF-NITON

2.4.1 Ontsluiting en ICP-MS analyse

ICP-MS is de techniek bij uitstek voor de bepaling van elementen in vloeistoffen. Deze detectietechniek kent een groot aantal voordelen zoals een groot lineair bereik, lage aantoonbaarheidsgrenzen, een hoge analysesnelheid en multi-elementcapaciteit.

Voor een ICP-MS analyse zijn vloeibare monsters noodzakelijk. De vaste verpakkingsmaterialen zijn daarom ontsloten. De ontsluiting is uitgevoerd met salpeterzuur in een gesloten ontsluitingsvat.

De verkregen monsteroplossingen moeten helder zijn wat duidt op een volledige ontsluiting van het monster. Bij een onvolledige ontsluiting kan geen kwantitatieve uitspraak over het elementgehalte in het monster worden gedaan. Tevens mogen er voor een ICP-MS analyse geen vaste deeltjes in de geïntroduceerde monsters voorkomen.

De ontsluitingsmethode die voor dit onderzoek is gebruikt is niet geschikt voor de bepaling van antimoon, omdat dit element met salpeterzuur niet volledig in oplossing gaat.

Ontsluiting

Voor ontsluiting is een deel van het vermalen monster ($\pm 0,2$ g) nauwkeurig ingewogen in een teflon vat. Hieraan is achtereenvolgens 3 ml water (milli-Q kwaliteit) en 3 ml geconcentreerd salpeterzuur toegevoegd. De vaten zijn in stalen buitenmantels (Berghofbommen) geplaatst en afgesloten. Vervolgens zijn deze Berghofbommen gedurende minimaal 6 uur in een stoof geplaatst bij 180°C. De destruatien zijn vervolgens met milli-Q water overgespoeld in 50 ml buizen en aangevuld tot 50 ml.

ICP-MS analyse

Voor analyse zijn de monsters vervolgens 10 keer verdund met milli-Q water en gemeten met de HP4500plus ICP-MS met de 56-elementen methode. Voor de kwaliteitscriteria en bereiding van de oplossingen en praktische uitvoering wordt verwezen naar het “Huisvoorschrift 56 elementen methode” [2].

2.4.2 Algemene introductie XRF

Een röntgenbuis straalt een monster aan (primaire straling) waardoor elk element in het monster een karakteristieke energie uitstraalt (secundaire straling of fluorescentie).

Door het aanstralen van een atoom van een element met röntgenstraling wordt een elektron uit één van de binnenste schillen verwijderd. Deze instabiele situatie wordt opgeheven doordat een elektron uit één van de buitenste schillen deze lege plaats opvult. Door deze elektronverplaatsing komt de karakteristieke energie vrij die als fluorescentie wordt gemeten. De hoeveelheid uitgestraalde energie is uniek voor het aangeslagen atoom van het betreffende element. Het energieniveau van de lijnen wordt bepaald door het aangeslagen element en de intensiteit van de lijn wordt bepaald door de concentratie van het element (literatuur 3). Op deze wijze worden tegelijkertijd kwalitatieve en kwantitatieve gegevens verkregen. Een element met een hoog atoomnummer heeft ook een hoge fluorescentie energie. Deze energie zal makkelijker de detector bereiken dan een lagere energie, wat resulteert in een makkelijk te meten element.

Röntgenfluorescentie is een niet-destructieve methode voor de analyse van een groot aantal elementen. Er kan in een grote verscheidenheid van matrices worden gemeten zoals vloeistoffen, vaste stoffen, poeders en legeringen.

De resultaten van de meting zijn sterk afhankelijk van de chemische samenstelling en de structuur van het monster. De structuur van het monster kan worden geoptimaliseerd voor een betere kwantitatieve bepaling van de elementen. Voor een kwantitatieve analyse is de volgende monstervoorbereiding noodzakelijk:

- ✓ Representatief voor het monstermateriaal (optimale deeltjesgrootte <50 µm)
- ✓ Homogeen (b.v. malen)
- ✓ Een vlak en glad oppervlak (b.v. persen, polijsten)
- ✓ Voldoende dik (afhankelijk van matrix en te meten element)

2.4.3 XRF-XEPOS

De gevoeligheid van de XRF-XEPOS wordt vergroot door gebruik te maken van targets. De primaire straling wordt gepolariseerd door specifieke targets die tussen de röntgenstraal en het monster zijn geplaatst. De XRF-XEPOS maakt gebruik van drie verschillende targets, respectievelijk molybdeen, aluminiumoxide en HOPG (Highly Orientated Pyrolytic Graphite). Het meetbereik staat in onderstaande overzicht weergegeven:

Target	Meetbereik
Molybdeen (Mo)	Vanadium – yttrium
Aluminiumoxide (Alox)	Zirconium – uranium
Highly Orientated Pyrolytic Graphite (HOPG)	Natrium – titaan

De straling afkomstig van de lichte elementen worden in lucht geabsorbeerd, maar kunnen in een heliumatmosfeer en onder vacuüm wel worden gemeten.

De vermalen monsters (bijlage 1) zijn voor XRF-XEPOS screening compact in speciale cupjes gestapeld voor minimaal 50% vulling van de cupjes indien mogelijk. De cupjes zijn aan de meetzijde afgedekt met folie en worden na vulling gewogen.

De keuze van de folie wordt bepaald door:

- De te meten elementen (dunner folie laat meer intensiteit door waardoor lichte elementen beter kunnen worden gemeten)
- De chemische samenstelling van de monsters (folie moet intact blijven)
- De folie mag zelf geen energie absorberen (de te meten elementen mogen niet in folie aanwezig zijn)

De monsters zijn met de XRF-XEPOS gemeten met een semi-kwantitatief programma. De meettijd van dit programma bedraagt per individueel monster ongeveer 15 minuten (5 minuten per target). Het berekende gehalte van de elementen wordt uitgedrukt in $\mu\text{g/g}$.

In het meetprogramma is het mogelijk om een groot aantal verschillende matrices te meten. Het programma bevat een tiental standaarden van verschillende matrices, o.a. sediment, grond en melkpoeder. Met behulp van wiskundige berekeningen en fundamentele parameters (factoren voor de matrixeffecten die berekend zijn aan de hand van de gemeten intensiteiten en de samenstelling van de standaard) kan bij een gemeten intensiteit van bepaalde elementen van een monster de concentratie van dat element berekend worden.

Door de grote variatie in de gemeten matrices is het mogelijk dat het meetprogramma een systematische afwijking geeft voor een aantal elementen van dezelfde soort matrix. De gemeten concentratie is nauwkeurig tot op 10-20% relatief, afhankelijk van de matrix en de meettijd [3]. De afwijking wordt veroorzaakt doordat de matrix van de aanwezige standaarden niet overeenkomt met de te analyseren matrix (in dit geval kunststof verpakkingen). Om een nauwkeurige analyse uit te voeren moet de matrix van de standaarden zoveel mogelijk overeenkomen met die van de onbekende monsters.

Wanneer de XRF-XEPOS een concentratie meet die beneden de aantoonbaarheidsgrens van het betreffende meetprogramma ligt zal de berekende waarde voorzien zijn van een "<" teken. Deze concentratie wordt berekend afhankelijk van de matrix en de meettijd. In dit onderzoek is de meettijd voor ieder monster gelijk, maar zijn alle matrices verschillend van elkaar (kunststof verpakkingen). Het getal geeft aan dat de werkelijke concentratie in ieder geval kleiner is dan de weergegeven waarde.

2.4.4 XRF-NITON

De monsters uit bijlage 1 zijn geselecteerd door middel van elementscreening met de XRF-NITON. Deze draagbare XRF bevat twee radioactieve bronnen (cadmium en americium). In onderstaand overzicht wordt het meetbereik van beide bronnen weergegeven:

Bron	XRF-NITON	
	K-lijnen	L-lijnen
Cd ¹⁰⁹	Chroom – Molybdeen	Terbium – Uraan
Am ²⁴¹	Zink – Neodymium	Hafnium - Uraan

Bij de meting wordt eerst één van de twee radioactieve bronnen ingeschakeld. Na één tot enkele minuten, afhankelijk van het elementgehalte, kan de screening worden beëindigd, waarna de tweede bron wordt ingeschakeld en nogmaals een screening van één tot enkele minuten wordt verricht. Meetwaarden kunnen worden afgelezen op het display, en worden ook in een logger opgeslagen die achteraf kan worden uitgelezen.

Bij de verwerking van het meetsignaal van de detector maakt het instrument gebruik van een vast rekenprogramma met de “standard fundamental parameter” methode. De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gemeten waarden worden bepaald door de chemische samenstelling van het monster, de verschillende meettijd en de laagdikte van het monster.

Voor de selectie van de monsters op locatie is de XRF-NITON tegen een monster of een onderdeel daarvan aangedrukt. Daardoor wordt een veiligheidspal ingedrukt, waardoor het monster rechtstreeks wordt aangestraald. Een optimale nauwkeurigheid wordt bereikt wanneer het monster homogeen is, een vlak meetoppervlak en voldoende laagdikte heeft. Bij dit onderzoek voldoen de meeste geselecteerde monsters niet aan deze eisen. Daarom moeten de met dit instrument gemeten waarden als indicatief worden beschouwd.

2.5 Aantoonbaarheidsgrenzen

Voor de bepaling van de gehalten aan elementen in verpakkingen met de XRF-XEPOS zijn nog geen aantoonbaarheidsgrenzen vastgesteld. Uit het rapport “Heavy metals in packaging on the Belgian market” [4] blijkt dat de aantoonbaarheidsgrens van verpakkingsmateriaal voor XRF voor de elementen Cd, Cr, Pb en Hg ongeveer 10 µg/g bedraagt.

De concentratie van elementen wordt met het semi-kwantitatieve programma volgens de firma Spectro benaderd binnen 10-20% relatief [3], afhankelijk van de matrix. Aangezien kunststofmonsters niet gedefinieerd staan in de meetmethode, zullen de metingen van de kunststof verpakkingen waarschijnlijk een grotere afwijking vertonen. Tevens zal de niet-optimale structuur van het monster hier ook een bijdrage aan leveren.

De detectiegrenzen van de XRF-NITON zijn voor dit onderzoek niet relevant omdat de XRF-NITON puur als screeningsmethode bij monsternamen is gebruikt.

De aantoonbaarheidsgrens (AG) vastgesteld bij de 56 elementen methode met ICP-MS, waarbij rekening is gehouden met “carry-over” en selectiviteit is voor de desbetreffende elementen weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Aantoonbaarheidsgrenzen (AG) voor de ICP-MS in µg/g in vast monstermateriaal.

Element	AG (µg/g) Uitgaande van 0,2 g inweeg en een eindvolume van 500 ml
Cd	0,08
Cr	2,5
Pb	0,5
Hg	0,3
Cu	1,3
Mo	1,0

De aantoonbaarheidsgrens van Sb is niet vermeld in tabel 1 omdat Sb niet of onvolledig in oplossing gaat bij de toegepaste ontsluitingsmethode.

De doelstelling van het onderzoek is het inzetten van de XRF-XEPOS voor handhavingdoeleinden, dat wil zeggen het selecteren van monsters die de norm (Σ Cd, Cr, Pb, Hg in verpakkingen $<100 \mu\text{g/g}$) overschrijden. Wanneer voor XRF-XEPOS de aantoonbaarheidsgrens inderdaad $10 \mu\text{g/g}$ per element blijkt te zijn, kan deze techniek voor handhaving van de norm worden gebruikt. Voor ICP-MS zijn de AG's ruim voldoende laag voor handhaving.

3. Resultaten, aanvullende metingen en discussie

3.1 Resultaten

Na ontsluiting van de monsters is bij ca. 80% van de destruatena een troebeling zichtbaar die wordt veroorzaakt door kleine deeltjes in de oplossing (colloïdaal), die op den duur uitzakken. Dit wijst op een onvolledige ontsluiting, dat wil zeggen dat het monster niet volledig in oplossing is gegaan.

Een aantal troebele oplossingen zijn na ontsluiting gefiltreerd en de filters met de onopgeloste deeltjes zijn na drogen gescreend met de XRF-XEPOS. Op deze manier is er informatie verkregen over de samenstelling van de onoplosbare delen van de monsters na ontsluiting.

3.1.1 Bijlagen

Hieronder volgt een overzicht van alle bijlagen.

Bijlage 1: Overzicht codering en omschrijving monsters verpakkingsmateriaal.

De analyseresultaten zijn weergegeven in de volgende bijlagen.

Bijlage 2: Resultaten Cd, Cr, Hg en Pb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS.

Bijlage 3: Resultaten Cu, Mo en Sb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS.

Bijlage 4: Totaaloverzicht screening van de elementen Cr, Cd, Pb, Hg, Cu, Mo en Sb middels XRF-XEPOS van monsters verpakkingsmateriaal.

De tabellen die in de discussie worden besproken staan in onderstaande bijlagen.

Bijlage 5a: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten voor het kopergehalte in verpakkingen.

Bijlage 5b: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten voor het chroomgehalte in verpakkingen.

Bijlage 5c: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten voor het molybdeengehalte in verpakkingen.

Bijlage 5d: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS en XRF-NITON resultaten voor het antimoongehalte in verpakkingen.

3.1.2 Kwaliteitsborging

Kwaliteitsborging ICP-MS

Als kwaliteitsborging voor ICP-MS zijn er bij elke ontsluitingsserie twee referentiematerialen van polyethyleen (BCR 680 en BCR 681) in duplo en minimaal één blanco meebepaald. In tabel 2a staat een overzicht van de ICP-MS analyse van de referentiematerialen BCR 680 en 681 en de gecertificeerde waarden.

Tabel 2a: Analyseresultaten van referentiematerialen BCR 680 en 681 gemeten met ICP-MS en de gecertificeerde waarden.

		Cd	Cr	Pb	Hg
BCR 680					
Gecertificeerde waarde ($\mu\text{g/g}$)		140,8 \pm 2.5	114,6 \pm 1.9	107,6 \pm 2.8	25,3 \pm 1.0
(n = 14)	Gemiddeld ($\mu\text{g/g}$)	140,6	112,6	108,1	31,4
	RSD _R (%)	1.9	4.3	2.4	18.5
	Terugvinding (%)	99.9	98.3	100.5	124.1
BCR 681					
Gecertificeerde waarde ($\mu\text{g/g}$)		21,7 \pm 0.7	17,7 \pm 0.6	13, \pm 0.7	4,5 \pm 0.14
(n = 10)	Gemiddeld ($\mu\text{g/g}$)	21,8	17,2	13,7	5,8
	RSD _R (%)	1.4	6.3	4.4	22.3
	Terugvinding (%)	100.5	97.2	99.3	128.9

De ICP-MS resultaten voor Cd en Pb vallen binnen de in tabel 2a aangegeven grenzen van de gecertificeerde waarden. Cr valt net buiten de aangegeven grens en Hg heeft een duidelijk grotere afwijking van de gecertificeerde waarde.

Uit de ICP-MS resultaten blijkt dat de relatieve standaardafwijking van de steekproef (RSD_R) voor Cd, Cr en Pb goed is (RSD_R <7,5%) voor BCR 680 en 681. Hg heeft voor beide referentiematerialen een grotere standaardafwijking (RSD_R <25%). Dit is toe te schrijven aan het “carry-over” effect van kwik afkomstig van standaarden met een hoge kwikconcentratie. Kwik blijft in het systeem “plakken”. De ICP-MS bepaling voor het meten van kwik kan echter geoptimaliseerd worden.

In het totaal zijn 16 blanco's geanalyseerd, waarvan de resultaten staan weergegeven in tabel 2b.

Tabel 2b: ICP-MS resultaten van ontsloten blanco oplossingen.

Sample/ DL	114 Cd	Bevinding	53 Cr	Bevinding	208 Pb	Bevinding	202 Hg	Bevinding
	µg/l		µg/l		µg/l		µg/l	
AG	0,300		10,000		2,000		1,000	
blanco 1	0,006	OK	-1,1	OK	0,7	OK	1,32	>AG
blanco 2	-0,087	OK	2,8	OK	0,2	OK	0,412	OK
blanco 3	-0,149	OK	0,1	OK	0,4	OK	-0,29	OK
blanco 4	-0,212	OK	2,3	OK	0,1	OK	-0,892	OK
blanco 5	-0,168	OK	-1,5	OK	-0,2	OK	0,019	OK
blanco 6	-0,228	OK	-0,6	OK	0,8	OK	-1,178	OK
blanco 7	-0,019	OK	-0,3	OK	0,9	OK	-0,613	OK
blanco 8	0,070	OK	-0,4	OK	0,6	OK	-0,648	OK
blanco 9	0,556	>AG	1,4	OK	0,9	OK	5,426	>AG
blanco 10	0,085	OK	1,1	OK	0,1	OK	2,201	>AG
blanco 11	0,094	OK	-0,5	OK	-1,9	OK	-0,459	OK
blanco 12	-0,075	OK	-2,2	OK	-2,4	OK	-0,38	OK
blanco 13	-0,010	OK	-0,6	OK	-5,4	OK	0,489	OK
blanco 14	1,689	>AG	-0,6	OK	-6,5	OK	0,097	OK
blanco 15	0,123	OK	3,9	OK	1,9	OK	0,467	OK
blanco 16	0,026	OK	0,0	OK	-6,5	OK	0,314	OK

- Het cadmiumgehalte van twee blanco's ligt hoger dan de aantoonbaarheidsgrens (>AG)
- Het kwikgehalte van 3 blanco's ligt hoger dan de aantoonbaarheidsgrens (>AG)

De verhoogde gehalten van cadmium en kwik zijn wijten aan het "carry-over" effect. Na controle van de resultaten bleek dat monsters voorafgaand aan de verhoogde blanco's een hoog cadmium- en kwikgehalte bevatten.

Kwaliteitsborging XRF-XEPOS

Wekelijks wordt de XRF-XEPOS gekalibreerd met behulp van een MCA-kalibratie (MCA: Multi Channel Analyser). Deze MCA-kalibratie is de spectrometer kalibratie voor de elektronica. Met dit programma wordt de "energy-channel" en de "width-energy" kalibratie uitgevoerd.

De resultaten van de wekelijkse MCA-kalibratie vallen binnen de XRF-XEPOS gedefinieerde betrouwbaarheidsgrenzen.

Als kwaliteitsborging voor de XRF-XEPOS zijn er in de loop van de tijd bij verschillende onderzoeken de referentiematerialen BCR 680 en 681 meebepaald. De gehalten aan Cd, Cr, Pb en Hg in de referentiematerialen zijn gecertificeerd. Een overzicht van de referentiematerialen BCR 680 en 681 geanalyseerd middels XRF-XEPOS en de gecertificeerde waarden staan in tabel 2c.

Tabel 2c: Overzicht resultaten van referentiematerialen BCR 680 en 681 gemeten met XRF-XEPOS.

		Cd	Cr	Pb	Hg
BCR 680					
Gecertificeerde waarde ($\mu\text{g/g}$)		140,8 \pm 2.5	114,6 \pm 1.9	107,6 \pm 2.8	25,3 \pm 1.0
(n = 10)	Gemiddeld ($\mu\text{g/g}$)	93,0	144,2	89,5	28,9
	RSD _R (%)	14.3	7.6	2.4	4.4
	Terugvinding (%)	66.1	125.8	83.2	114.2
BCR 681					
Gecertificeerde waarde ($\mu\text{g/g}$)		21,7 \pm 0.7	17,7 \pm 0.6	13,8 \pm 0.7	4,5 \pm 0.14
(n = 8)	Gemiddeld ($\mu\text{g/g}$)	14,7	26,1	11,6	5,7
	RSD _R (%)	19.2	15.0	3.8	6.7
	Terugvinding (%)	67.7	147.2	83.9	126.1

De resultaten voor BCR 680 en 681 gemeten met het semi-kwantitatieve programma met de XRF-XEPOS komen redelijk overeen met de gecertificeerde waarden. De resultaten voor BCR 681 gemeten met de XRF-XEPOS wijken alleen voor Cr aanzienlijk af (147% terugvinding). Het terugvindingspercentage voor overige gecertificeerde elementen Cd, Pb en Hg, inclusief Cr voor de BCR 680, ligt tussen 66% en 127%.

Kwaliteitsborging Cd in plastics m.b.v. AAS (Atomaire Absorptie Spectrometrie)

In oktober 2001 heeft het RIVM deelgenomen aan een ringonderzoek naar cadmium in plastics georganiseerd door "Institute for Interlaboratory Studies (IIS) Dordrecht". In de aangeboden plastic monsters werd Cd volgens AAS-Vlam (PrEN1122, RIVM rapport 609021016) bij de afdeling LAC (Laboratorium voor Anorganisch-analytische Chemie) bepaald. De LAC-resultaten liggen binnen de 2S-grenzen van de IIS-groepsgemiddelden. De "Z-scores" van de door het LAC geanalyseerde monsters zijn kleiner dan 1, dat wil zeggen een goed analyseresultaat. De resultaten staan beschreven in het rapport "Results of Proficiency Test Cadmium in Plastics" [5]. De resultaten van bovenstaand onderzoek door het RIVM is gearchiveerd onder onderzoekscode 01/LAC/609023/IIS-Cd2001 (literatuur 6).

3.1.3 Aanvullend onderzoek met Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) van een aantal geselecteerde monsters

De analyseresultaten voor het chroomgehalte bepaald met XRF-XEPOS en ICP-MS verschillen voor een aantal monsters aanzienlijk (bijlage 2). Een aantal monsters is daarom naar het Interfacultair Reactor Instituut (IRI) van de Technische Universiteit te Delft gestuurd voor analyse met INAA. INAA is een referentiemethode waarmee het gehalte van een groot aantal elementen behalve Pb in diverse matrices kan worden bepaald.

In verband met het beperkte onderzoeksbudget is een aantal monsters geselecteerd en zijn deze monsters voor een beperkt aantal elementen geanalyseerd met INAA. De geselecteerde monsters zijn geanalyseerd op chloor, titaan, chroom, koper, zink, molybdeen en antimoon. De keuze van de monsters is vooral gebaseerd op de resultaten voor chroom, aangezien voor dit element de grootste verschillen werden gevonden tussen de XRF-XEPOS en de ICP-MS

analyse. Bij de selectie is ook rekening gehouden met verschillen in meetwaarden van andere elementen, in het bijzonder antimoon omdat voor dit element de toegepaste ontsluitingsmethode voor de ICP-MS analyse niet geschikt is.

De gemeten monsters betroffen twee glazen verpakkingen, een kunststof hoes van een picknickdeken, een aantal kunststof draagtassen, netzakken en een aantal casings. De glazen verpakkingen zijn geselecteerd, omdat deze uitsluitend met de XRF-XEPOS zijn geanalyseerd en er aanvankelijk dus geen vergelijking mogelijk was met een andere methode. De glazen verpakkingen zijn niet gemeten met ICP-MS omdat de gebruikte ontsluitingsprocedure niet geschikt is voor glas.

3.2 Discussie

In onderstaande discussie worden de genormeerde (Cd, Cr, Hg en Pb) en de aanvullende elementen (Cu, Mo en Sb) één voor één behandeld. Alle resultaten uit onderstaande discussie staan in bijlage 2 t/m 5. In de discussie zelf zijn nog een aantal overzichtstabellen opgenomen.

3.2.1 Cadmium

In een viertal verpakkingen is met ICP-MS een hoog cadmiumgehalte ($>100 \mu\text{g/g}$) aangetoond (zie tabel 3), terwijl voor de overige monsters ($n = 89$) het cadmiumgehalte lager ligt dan de aantoonbaarheidsgrens voor ICP-MS van $0,1 \mu\text{g/g}$ (bijlage 2).

De XRF-XEPOS resultaten voor het cadmiumgehalte zijn goed vergelijkbaar met de ICP-MS resultaten (terugvinding tussen 80 en 90%). Het semi-kwantitatieve meetprogramma geeft dus goed vergelijkbare resultaten met de ICP-MS voor het cadmiumgehalte in de geselecteerde verpakkingen. Er zijn geen vals positieve en/of vals negatieve resultaten aangetoond met de XRF-XEPOS.

Wanneer de resultaten van de XRF-NITON worden vergeleken met de ICP-MS en XRF-XEPOS resultaten blijkt dat de XRF-NITON een redelijke indicatie (een factor 2 tot 3 lager) geeft voor hoge cadmiumgehalten. In geen enkel geval werd een vals positief resultaat groter dan $50 \mu\text{g/g}$ gevonden. Voor het element cadmium is de XRF-NITON bruikbaar voor screening.

Tabel 3: Vergelijking van ICP-MS, XRF-XEPOS en XRF-NITON resultaten voor monsters met een hoog cadmiumgehalte, en het terugvindingspercentage van de XRF-XEPOS t.o.v. de ICP-MS.

Monster	ICP-MS $\mu\text{g/g}$	XRF XEPOS $\mu\text{g/g}$	XRF NITON $\mu\text{g/g}$	Terugvinding (%) XRF-XEPOS t.o.v. ICP-MS	Visuele beoordeling homogeniteit *
124796/bruin	225	185	206	85	I
124796/trans.	382	338	n.b.	89	H
124798/trans.	320	269	169	83	H
126626	604	539	236	83	H

n.b. niet bepaald

I: Inhomogeen

H: Homogeen

De 4 positieve monsters overschrijden alleen al voor het cadmiumgehalte de norm voor verpakkingen (ΣCd , Pb, Cr, Hg <100 $\mu\text{g/g}$) wanneer bepaald middels ICP-MS en XRF-XEPOS. De overige 89 monsters zijn allen negatief bevonden voor het cadmiumgehalte.

3.2.2 Chroom

Van de 93 geanalyseerde monsters met ICP-MS heeft globaal 70% een chroomgehalte <10 $\mu\text{g/g}$ en 20% een chroomgehalte >100 $\mu\text{g/g}$. Van de overige 10% ligt het chroomgehalte tussen 10 en 100 $\mu\text{g/g}$.

De XRF-XEPOS geeft in één geval (monster 127018) een extreme hoge aantoonbaarheidsgrens (<130 $\mu\text{g/g}$), terwijl de ICP-MS een chroomgehalte van 10 $\mu\text{g/g}$ vindt. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de matrix van het monster die afwijkt van de matrix van de standaarden in het meetprogramma van de XRF-XEPOS.

De resultaten voor het chroomgehalte betreft het totaal chroomgehalte in plaats van Cr^{VI} . In tabel 4 worden de monsters waaraan een INAA analyse is uitgevoerd vergeleken met de resultaten van XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS.

Tabel 4: Chroomgehalte en terugvindingspercentage (R%) in verpakkingsmateriaal bepaald middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS ten opzichte van INAA.

Monster	Omschrijving	INAA	ICP-MS	XEPOS	NITON	R (%)	R (%)	R (%)
		$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	ICP-MS	XEPOS	NITON
124790	glas	29,6	n.b.	22	n.b.		74	
124795	glas	315	n.b.	34	n.b.		11	
124796	kunststof bruin	1680	1853	1595	<195	110	95	
124797	kunststof rood	2020	1977	5282	1600	98	262	79
124799	kunststof wit	<	1,8	93	n.b.			
125734	kunststof	2360	2249	5476	2120	95	232	90
125741	kunststof	1920	1935	6818	1829	101	355	95
125744	Kunststof	1050	992	4027	1300	95	384	124
126629	kunststof	1080	5	3640	232	1	337	22
126630	kunststof	868	9	1902	<126	1	219	
126633	kunststof	86,9	0,8	3	<54	1	5	
126637	Kunststof kleur	5660	5015	10280	4998	89	182	88
126643	kunststof	889	935	2525	352	105	284	40
125742b	kunststof	2600	2486	8097	n.b.	96	311	

n.b.: niet bepaald

De resultaten voor het chroomgehalte verkregen met ICP-MS zijn goed vergelijkbaar met de INAA resultaten (terugvinding tussen 88 en 111%) op enkele uitzonderingen na (tabel 4). In de monsters met monstercode 126629, 126630 en 126633 is met INAA analyse een hoog chroomgehalte aangetoond terwijl met ICP-MS analyse na ontsluiting nagenoeg geen chroom ($\leq 1\%$) is teruggevonden. Het betreft hier de casings (kunst darmen) die worden gebruikt als verpakkingsmateriaal voor worst en kaas.

Bij de ontsluiting van een aantal kunststofmonsters ontstaat een lichte sluiering, waarvan de deeltjes na verloop van tijd uitzakken. ICP-MS analyse kan alleen worden uitgevoerd aan oplossingen, zodat de deeltjes in de troebele oplossingen niet met deze techniek kunnen

worden bepaald. Om vast te stellen welke elementen niet of onvolledig in oplossing zijn gegaan, zijn een aantal troebele oplossingen gefiltreerd over een kwartsfilter. Vervolgens zijn de filters na drogen gemeten met de XRF-XEPOS met het semi-kwantitatieve programma. Op deze manier wordt een kwalitatieve indruk verkregen van de elementen die tijdens de ontsluiting niet in oplossing zijn gegaan. De verkregen gehalten voor de elementen zeggen op zich zelf niets, maar geven aan of het betreffende element niet, weinig of veel aanwezig is. Op de filters gefiltreerd met de monsters 126629, 126630 en 126633 is met de XRF-XEPOS een hoog chroomgehalte aangetoond. Ter verificatie zijn een tiental andere troebele monsteroplossingen gefiltreerd en vervolgens geanalyseerd met de XRF-XEPOS. Op deze filters is geen noemenswaardig verhoogd chroomgehalte aangetoond. Hieruit kan geconcludeerd worden chroom in casings tijdens de ontsluiting niet in oplossing gaat.

Wanneer de resultaten van de verpakkingen gemeten met de XRF-XEPOS worden vergeleken met INAA blijkt dat de gevonden chroomgehalten met XRF-XEPOS veelal aanzienlijk hoger liggen (tabel 4) met uitzondering van de glazen monsters (124790 en 124795). Er is wel een duidelijk verband tussen de resultaten.

Uit bijlage 2 blijkt dat de chroomgehalten gemeten met de XRF-XEPOS gemiddeld een factor 2 tot 4 hoger liggen dan de INAA en/of ICP-MS resultaten (monster 126629, 126630 en 126633 buiten beschouwing gelaten). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het meetprogramma, waarvan de matrix van de standaarden niet overeenkomt met de matrix van de gemeten monsters.

Tevens zal meespelen dat Cr een relatief licht element is (atoom nummer: 24) waarvan de fluorescentie energie laag is (5,4147 /KeV voor de $K\alpha$ -lijn) is. Deze lage fluorescentie energie zal gemakkelijk door de matrix van het monster worden geabsorbeerd waardoor in verhouding een relatief klein deel de detector zal bereiken. Lichte elementen zijn dus “moeilijk” te meten.

Zowel homogene als inhomogene monsters (zie bijlage 2: visuele beoordeling) vertonen dezelfde afwijking voor het chroomgehalte gemeten met XRF-XEPOS ten opzichte van ICP-MS. De monsters zijn waarschijnlijk voldoende homogeen vernalen zodat de mate van inhomogeniteit in dit geval geen invloed heeft.

Wanneer de XRF-NITON resultaten worden vergeleken met de INAA resultaten (tabel 4) blijkt de XRF-NITON een terugvindingspercentage tussen 21 en 124% heeft. De resultaten verkregen met de XRF-NITON geven alleen een redelijke indicatie voor de aanwezigheid van chroom wanneer het gehalte groter is dan 100 $\mu\text{g/g}$ bepaald middels ICP-MS, een enkele uitzondering daargelaten (monster 124796). Voor screening van monsters die de norm ($\Sigma 100 \mu\text{g/g}$) overschrijden is de XRF-NITON dus geen geschikte techniek.

De monsters waarvan het chroomgehalte bepaald middels ICP-MS in het onzekerheidsgebied rond de grenswaarde liggen overschrijden in de meeste gevallen de norm alleen al voor het loodgehalte, want een hoog chroomgehalte in de monsters gaat in de meeste gevallen gepaard met een hoog loodgehalte. Monster 126636 is de enige uitzondering; in dit monster is geen lood aangetoond terwijl het chroomgehalte rond de 100 $\mu\text{g/g}$ ligt. De samenhang tussen Pb en Cr kan duiden op de aanwezigheid van loodchromaat in het monster, dat vaak aan plastics wordt toegevoegd als pigment. Chroom komt in loodchromaat voor als Cr^{VI} .

3.2.3 Lood

Van de 93 geanalyseerde monsters met ICP-MS heeft globaal 60% een loodgehalte <10 µg/g en 30% een loodgehalte >100 µg/g. Van de overige 10% ligt het loodgehalte tussen 10 en 100 µg/g.

Middels INAA-analyse is het technisch niet mogelijk om het loodgehalte in de monsters te bepalen.

Wanneer de resultaten voor het loodgehalte in verpakkingen (zie bijlage 2) van de XRF-XEPOS vergeleken worden met de ICP-MS resultaten dan blijken deze over een breed concentratiegebied goed overeen te komen. Ongeveer 75% van de monsters met een loodgehalte groter dan 10 µg/g gemeten met ICP-MS heeft een terugvindingspercentage voor de XRF-XEPOS tussen de 80 en 120%. De overige 25% van de monsters met een terugvindingspercentage <80% of >120% zijn hoofdzakelijk monsters met een concentratie kleiner dan 20 µg/g gemeten met XRF-XEPOS, een enkele uitschieter daargelaten. De monsters die een cruciale bijdrage zullen leveren aan de gestelde norm voor verpakkingen (Σ Cd, Cr, Pb, Hg <100 µg/g) zullen voor de bepaling van lood met de XRF-XEPOS correct worden geselecteerd. Hoewel het meetprogramma niet gekalibreerd is voor kunststoffen worden toch goede resultaten verkregen voor Pb-analyse. Dit wordt mede veroorzaakt doordat Pb een zwaar element is (atoom nummer: 82). De fluorescentie energie van de K α -lijn van Pb bedraagt 74.9560/KeV, een factor 15 hoger dan Cr. Absorptie van deze grote hoeveelheid energie door het monster zal relatief weinig invloed hebben op het signaal wat de detector bereikt.

De XRF-NITON geeft vaak sterk verhoogde waarden (>100 µg/g) voor het loodgehalte in vergelijking met de overige technieken. Aan de andere kant worden hoge loodgehalten in het algemeen sterk verlaagd teruggevonden met de XRF-NITON. Het screenend vermogen van de XRF-NITON voor lood in verpakkingen is dus zeer beperkt.

De relatie tussen het lood- en chroomgehalte is besproken in 3.2.2. Van de 93 monsters gemeten met de ICP-MS is bij 6 monsters een loodgehalte > 10 µg/g gemeten terwijl er geen verhoogd chroomgehalte (>10 µg/g) is gemeten met de ICP-MS (zie tabel 5). In monster 124798 overschrijdt de som van Cd, Pb, Cr en Hg de norm door het hoge cadmiumgehalte in dit monster wat doorslaggevend is. In monster 126626 wordt de overschrijding veroorzaakt door lood en cadmium die beiden individueel een gehalte > 100 µg/g hebben.

Tabel 5: Som van de gehalten Cd, Pb, Cr en Hg bepaald middels XRF-XEPOS en ICP-MS voor monsters waarvan het loodgehalte > 10 µg/g terwijl er geen verhoogd chroomgehalte is.

	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS
Codering LAC	Cd	Cd	Cr	Cr	Hg	Hg	Pb	Pb	Σ Cd, Cr, Pb, Hg	Σ Cd, Cr, Pb, Hg
	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124798/trans	324	269	-1	<14	1	3	73	67	396	339
124803/trans	0	<3,3	0	<14	0	<1,7	26	23	26	23
126623	0	<5,2	4	7	0	0	20	8	24	15
126624	0	<6,3	3	22	0	<1,4	18	17	21	39
126626	645	539	-1	<15	0	2	442	410	1087	951
127019	0	<6,2	5	18	0	<2,1	20	24	26	42

3.2.4 Kwik

Uit de ICP-MS resultaten blijkt dat 5 monsters van de in het totaal 93 gemeten monsters een aantoonbaar kwikgehalte hebben ($> 0,3 \mu\text{g/g}$). Echter al deze monsters hebben een kwikgehalte $< 1 \mu\text{g/g}$. Deze monsters zullen geen belangrijke bijdrage leveren aan overschrijding van de norm voor verpakkingen.

Voor de XRF-XEPOS geldt dat het merendeel van de gemeten monsters vergelijkbare resultaten geeft met ICP-MS. De XRF-XEPOS toont voor één monster een kwikconcentratie van $12 \mu\text{g/g}$. Dit monster (127022) is een metalen deksel waarvan geen ICP-MS resultaten zijn. De overige positief gemeten monsters hebben een kwikgehalte tot $6 \mu\text{g/g}$ terwijl de ICP-MS geen verhoogd kwik aantoont.

De verwachting is dat Hg goed gemeten kan worden met de XRF-XEPOS omdat Hg een zwaar element is (atoomnummer: 80). De fluorescentie energie van de $K\alpha$ -lijn van Hg bedraagt $70.8070/\text{KeV}$, vergelijkbaar met Pb. De hoeveelheid geabsorbeerde fluorescentie energie door de monstermatrix zal een relatief kleine bijdrage leveren aan het signaal dat de detector bereikt.

De XRF-NITON toont van de 93 gemeten monsters 9 keer een kwikconcentratie hoger dan $10 \mu\text{g/g}$ (tot $180 \mu\text{g/g}$ voor monster 127022) terwijl dit niet met ICP-MS is aangetoond. Dit betekent dat de XRF-NITON bij screening van verpakkingen van kwik in ongeveer 10% van de gevallen een vals positief resultaat geeft, terwijl de kans op een verhoogd gehalte waarschijnlijk (veel) minder is dan 10%.

Voor het toetsen van de verschillende methoden zijn alleen resultaten vergeleken van de monsters met een kwikgehalte $\leq 1 \mu\text{g/g}$ bepaald middels ICP-MS. Deze monsters zijn niet interessant voor de wet omdat ze geen bijdrage leveren aan overschrijding van de norm ($\Sigma 100 \mu\text{g/g}$).

Aan de hand van deze resultaten kan geen uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van de bepaling van het kwikgehalte in verpakkingen met de XRF-XEPOS en XRF-NITON bij verhoogde kwikconcentraties. Uit de kwaliteitsborging (3.1.2) blijkt dat de ICP-MS wegens het “carry-over” effect redelijke resultaten geeft voor het kwikgehalte ($\text{RSD}_R < 25\%$), en dat de resultaten van de XRF-XEPOS goed zijn op hoog en laag niveau.

Van de 93 geselecteerde monsters blijkt het kwikgehalte van geen enkel monster een bijdrage te leveren aan de overschrijding van de norm ($\Sigma \text{Cd, Pb, Cr, Hg} < 100 \mu\text{g/g}$). De XRF-XEPOS kan voor de bepaling van kwik goed worden ingezet voor handhaving. Wanneer het gevonden kwikgehalte in het onzekerheidsgebied rond de grenswaarde ligt, zodat de norm overschreden kan worden, kan besloten worden het monster te heranalyseren met de ICP-MS om dit te bevestigen.

3.2.5 Inzetbaarheid van de XRF-XEPOS voor handhaving

In tabel 6 staan de resultaten weergegeven van de monsters waarvan $\Sigma \text{Cd, Cr, Pb, Hg} > 100 \mu\text{g/g}$ zijn, mits deze met de XRF-XEPOS en de ICP-MS zijn gemeten.

Het betreft 35 van de 114 geselecteerde monsters met XRF-NITON waarvan de XRF-XEPOS een overschrijding van de norm geeft. In 21 gevallen is de overschrijding tenminste 10 keer de norm ($> 1000 \mu\text{g/g}$), met als maximum $36600 \mu\text{g/g}$.

De XRF-XEPOS geeft goede resultaten met de semi kwantitatieve methode voor de individuele elementen Pb, Cd en Hg. Het kwikgehalte in de gemeten monsters was in alle

gevallen <1 µg/g bepaald middels ICP-MS, maar uit de kwaliteitsborging blijkt dat kwik met XRF-XEPOS goed gemeten wordt op hoog en laag niveau.

De chroomresultaten gemeten met de XRF-XEPOS liggen gemiddeld een factor 2 tot 4 te hoog. Wanneer het meetprogramma van de XRF-XEPOS wordt aangepast voor de bepaling van chroom naar een kwantitatieve analyse, zal de XRF-XEPOS alle geselecteerde monsters in dit onderzoek juist beoordelen als de norm wordt overschreden volgens de ICP-MS analyses.

Tabel 6: Overzicht van verpakkingen die middels XRF-XEPOS en/of ICP-MS de norm van Σ Cd, Cr, Pb, Hg <100 µg/g hebben overschreden.

	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS	ICP-MS	XRF-XEPOS
Codering LAC	Cd	Cd	Cr	Cr	Hg	Hg	Pb	Pb	Σ Cd,Pb, Cr,Hg	Σ Cd,Pb, Cr,Hg
	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124796/bruin	217	185	1793	1595	1	<5,1	8902	6421	10913	8201
124796/trans	381	338	0	<13	1	1	2	8	384	347
124797	0	<5,9	2033	5282	2	<5,0	10252	10460	12287	15742
124798/trans	324	269	-1	<14	1	3	73	67	396	340
124803/blauw	0	<4,4	29	31	0	<1,9	155	138	184	169
125219/folie oranje	0	<5,9	420	1884	0	<3,0	2326	2310	2746	4194
125222/poly vel,rood	0	<2,8	264	499	0	3	1643	1579	1907	2081
125624/tas groen	0	<4,8	30	143	0	<1,1	143	133	173	275
125734	0	<8,6	2421	5476	1	<8,3	10477	13080	12900	18556
125735	0	<6,2	3630	7904	0	<6,9	18297	18800	21927	26704
125737	0	4	162	410	0	3	1134	1205	1296	1622
125740	0	<6,2	112	430	0	<1,7	661	658	773	1088
125741	0	<6,6	2034	6818	0	<5,1	9197	8888	11231	15706
125742a/sticker	0	<4,0	748	1649	0	<3,1	3247	3732	3995	5381
125742b/netzak	0	<5,2	2656	8097	0	6	13488	13170	16144	21273
125743	0	<6,7	250	920	0	<2,3	1187	1377	1436	2297
125744	0	<7,1	1026	4027	0	<3,8	4549	4321	5575	8348
126622	0	<5,5	885	3139	0	<3,6	4829	4825	5714	7964
126626	645	539	-1	<15	0	2	442	410	1087	950
126629 casing	0	<11	5	3640	0	2	2	5	7	3647
126630 casing	0	<9,2	9	1902	0	<1,6	3	6	12	1908
126633 casing	0	<8,9	2	253	0	2	6	9	8	264
126636	0	<2,6	77	282	0	1	0	1	77	283
126637	0	<5,9	5144	10280	0	<8,1	26074	26320	31218	36600
126637_trans	0	<5,4	19	50	0	1	99	56	119	107
126638	0	<5,7	3939	8079	0	<7,4	22751	23510	26691	31589
126639	0	<7,9	77	190	0	<2,4	389	518	466	708
126640	0	<6,7	88	316	0	<2,2	430	459	518	775
126641	0	<4,6	43	126	0	<1,1	169	163	211	289
126642	0	<6,3	542	1867	0	<3,4	3506	3746	4049	5613
126643	0	<4,8	869	2525	0	<3,1	3807	3860	4677	6385
127016	0	<3,9	21	60	0	<0,8	100	86	121	146
127017	2	<6,1	21	25	0	<2,8	149	149	172	174
127018	0	<17	10	<130	0	<5,3	299	214	309	214
127024 deksel	0	4	712	1143	0	6	3430	2955	4142	4108

De meetonzekerheid per individueel element zal nog onderzocht moeten worden, zodat kan worden vastgesteld wanneer met zekerheid gezegd kan worden of de norm is overschreden. De monsters die in het schaduwgebied kunnen vervolgens geanalyseerd worden met ICP-MS om vast te stellen of deze aan de norm voldoen.

3.2.6 Koper

Van de 93 geanalyseerde monsters met ICP-MS heeft globaal 60% een kopergehalte <10 µg/g en 20% een kopergehalte >100 µg/g. Van de overige 20% ligt het kopergehalte tussen 10 en 100 µg/g.

Van de 14 monsters die met INAA zijn geanalyseerd vertonen slechts 4 monsters een verhoogd kopergehalte. De kopergehalten bepaald middels INAA komen niet goed overeen met de overige methoden (zie tabel 7).

De kopergehalten (zie bijlage 3) bepaald met de XRF-XEPOS liggen ongeveer een factor 2 hoger (gemiddelde terugvinding XRF-XEPOS: $194 \pm 65\%$) dan de kopergehalten bepaald middels ICP-MS, ook in het lage concentratiegebied (vanaf 10 µg/g).

De XRF-NITON geeft zeer afwijkende resultaten van INAA en lijkt dus niet bruikbaar voor screening van monsters met een kopergehalte tot 100 µg/g.

Tabel 7: Vergelijking van het kopergehalte in verpakkingsmateriaal geanalyseerd met INAA, ICP-MS, XRF-XEPOS en XRF-NITON.

Monster	Omschrijving	INAA	ICP-MS	XRF-XEPOS	XRF-NITON
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
125734	Kunststof geel/groen	16,1	15	31	<195
125744	Kunststof geel/oranje/blauw	6,1	5,1	13	<83
126633	Kunststof lichtgeel	60,3	0,8	3	<54
126643	Kunststof groen	91,6	57	142	<60

Voor een kwantitatieve bepaling van het kopergehalte in verpakkingen met de XRF-XEPOS en de ICP-MS is nader onderzoek noodzakelijk.

3.2.7 Molybdeen

Van de 93 geanalyseerde monsters met ICP-MS heeft globaal 80% een molybdeengehalte <10 µg/g en 5% een molybdeengehalte >100 µg/g. Van de overige 15% ligt het molybdeengehalte tussen 10 en 100 µg/g.

De resultaten voor het molybdeengehalte verkregen met ICP-MS (zie tabel 8) komen redelijk overeen met de INAA resultaten (tussen 75% en 110% terugvinding met als uitzondering monster 125734 waarvan de terugvinding 60% bedraagt).

De monsters waar middels ICP-MS en XRF-XEPOS een positief molybdeengehalte is gemeten hebben een gemiddelde terugvindingspercentage van de XRF-XEPOS van $66\% \pm 16\%$ (bijlage 3). Deze afwijking wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de matrix van de standaarden in het meetprogramma niet overeenkomen met de matrix van de monsters.

Voor een kwantitatieve bepaling van het molybdeengehalte in verpakkingen met de XRF-XEPOS is nader onderzoek noodzakelijk.

De XRF-NITON resultaten voor het molybdeengehalte liggen voor een groot aantal monsters ongeveer een factor 2 hoger liggen dan de ICP-MS resultaten (zie bijlage 3).

Tabel 8: Vergelijking van het molybdeengehalte in monsters geanalyseerd met INAA, ICP-MS, XRF-XEPOS en XRF-NITON.

Monster	Omschrijving	INAA	ICP-MS	XRF-XEPOS	XRF-NITON
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124790	Glas wit	<	n.b.	<23	n.b.
124795	Glas olijfbuin	<	n.b.	<22	n.b.
124796	Kunststof bruin	181	198	67	<18
124797	Kunststof rood	633	513	311	674
124799	Kunststof wit	<	0.3	<19	n.b.
125734	Kunststof geel/groen	39	23	<35	71
125741	Kunststof wortelkleur en wit	130	96	45	206
125742b	Kunststof d-oranje	684	564	252	n.b.
125744	Kunststof	24	26	<28	37
126629	Kunststof donker/middngeel	<	0	<32	19
126630	Kunststof middelgeel	<	0	<27	32
126633	Kunststof lichtgeel	<	0	<30	37
126637	Kunststof geel en rood	173	127	61	183
126643	Kunststof groen	<	0	<17	<13

n.b. niet bepaald

3.2.8 Antimoon

Alle monsters zijn ontsloten met HNO₃. Antimoon gaat tijdens de ontsluiting met HNO₃ niet of onvolledig in oplossing, zodat voor het antimoongehalte geen ICP-MS resultaten zijn.

Wanneer de XRF-XEPOS resultaten voor het antimoongehalte worden vergeleken met de INAA resultaten (zie tabel 9) blijken deze gemiddeld een factor 1 tot 3 lager te liggen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het gebruikte meetprogramma, dat niet specifiek voor deze matrix is gekalibreerd.

Voor de bepaling van het antimoongehalte in verpakkingen met de XRF-XEPOS is nader onderzoek noodzakelijk.

Uit de vergelijking van het antimoongehalte verkregen met INAA met de XRF-NITON (zie tabel 9) blijkt dat de XRF-NITON in een aantal gevallen afwijkingen geeft waarbij vals positieve en negatieve resultaten worden verkregen. De XRF-NITON lijkt niet bruikbaar voor screening van antimoon in verpakkingen; nader onderzoek is noodzakelijk.

Tabel 9: *Vergelijking van het antimoongehalte in monsters geanalyseerd met INAA, XRF-XEPOS en XRF-NITON.*

Monster	Omschrijving	INAA	XRF-XEPOS	XRF-NITON
		µg/g	µg/g	µg/g
124790	glas wit	9,4	8	
124795	glas olijfbruin	11,1	12	
124796	kunststof bruin	8,51	<9,6	<64
124797	kunststof rood	395	174	<91
124799	kunststof wit	2,1	6	
125734	kunststof geel/groen	329	115	672
125741	kunststof wortelkleur en wit	405	162	290
125742b	kunststof d-oranje	236	73	<65
125744	kunststof d-geel/oranje/blauw	17,2	<5,6	<122
126629	kunststof donker/middngeel	2810	1025	283
126630	kunststof middelgeel	6250	2496	560
126633	kunststof lichtgeel	1430	564	311
126637	kunststof geel en rood	3,0	15	<66
126643	kunststof groen	127	66	<41

4. Conclusies

In de conclusie is de inzetbaarheid van de ICP-MS en de XRF-XEPOS voor de analyse van Pb, Cd, Cr, Hg in verpakkingsmateriaal apart per meetmethode behandeld. In tabel 10 staat een overzicht weergegeven waarin de verschillende analysetechnieken en de mate van geschiktheid voor de bepaling van Cd, Cr, Pb en Hg in verpakkingen worden vergeleken.

Tabel 10: Overzicht van de analysetechnieken INAA, ICP-MS en XRF-XEPOS en de mate van geschiktheid voor de bepaling van Cd, Cr, Pb en Hg in verpakkingen.

Analyse techniek	Cd	Cr	Pb	Hg
INAA	++ Ref.meth.	++ Ref. meth.	--	++ Ref.meth.
ICP-MS na ontsluiting	++	+ (behalve casings)	++	+
XRF-XEPOS (meetmethode Tqk2760)	+	factor 2 tot 4 te hoog	++	+
Gemiddelde terugvinding XRF-XEPOS t.o.v. ICP-MS	85% ± 3%	270% ± 411%	98% ± 15%	geen verhoogde concentraties aangetoond

n.b. niet bepaald
 Ref.meth. Referentie methode
 ++ zeer geschikt (dient geen verdere aanpassing)
 + geschikt (bruikbaar, maar optimalisatie gewenst)
 +/- redelijk geschikt (dient voor kwantitatieve analyse te worden geoptimaliseerd)
 -- ongeschikt

INAA

INAA is een analysetechniek waarvan de analyseresultaten beschouwd worden als referentiewaarden. Met INAA kan het element lood om technische redenen niet worden geanalyseerd. Cd en Hg zijn tijdens dit onderzoek niet bepaald met INAA.

ICP-MS

De ICP-MS resultaten na ontsluiting voor het chroomgehalte in verpakkingen zijn goed vergelijkbaar met de INAA resultaten op één type monstermateriaal na, nl. de casings (kunst darmen). Bij dit type monstermateriaal gaat Cr tijdens de ontsluiting niet of onvolledig in oplossing.

In de geanalyseerde verpakkingen is nagenoeg geen kwik (<1 µg/g) aangetoond met ICP-MS.

Voor ICP-MS dient nog de meetonzekerheid per individueel element te worden vastgesteld, zodat met zekerheid kan worden vastgesteld of de norm wordt overschreden wordt.

Elementanalyse middels ICP-MS van vloeibare monsters is voor handhavingdoeleinden een betrouwbare en gevoelige meetmethode. Grote nadelen zijn dat er een tijdrovende ontsluiting moet worden uitgevoerd om de monsters in oplossing aan te kunnen bieden en dat niet op locatie kan worden gemeten.

XRF-XEPOS

De meetresultaten voor het loodgehalte gemeten met de XRF-XEPOS met het semi-kwantitatieve programma komen over een breed concentratiegebied zeer goed overeen met de ICP-MS resultaten.

De meetresultaten voor het cadmiumgehalte gemeten met de XRF-XEPOS met het semi-kwantitatieve programma komen ook goed overeen met de ICP-MS resultaten. In 4% van de monsters is met XRF-XEPOS en ICP-MS een verhoogd cadmiumgehalte gevonden, dat alleen al voor het cadmium boven de norm (ΣCd , Cr, Pb, Hg $<100 \mu\text{g/g}$) ligt. In de overige 96% van de monsters is met beide methoden geen cadmium aangetoond. Wegens het geringe aantal monsters met een verhoogd cadmiumgehalte is nader onderzoek aan te bevelen.

De resultaten voor Cr bepaald middels XRF-XEPOS liggen een factor 2 tot 4 hoger dan de INAA en/of ICP-MS resultaten. Voor handhavingdoeleinden dient het meetprogramma van de XRF-XEPOS te worden aangepast zodat er een verschuiving plaatsvindt van een screenend karakter naar een kwantitatieve analyse voor chroom.

Alle monsters gemeten middels ICP-MS hadden een kwikgehalte $<1 \mu\text{g/g}$. Dergelijke gehalten zijn van geen belang voor de toetsing van de grenswaarde van $100 \mu\text{g/g}$. De XRF-XEPOS geeft in ieder geval geen beduidende vals positieve resultaten.

De meettechniek XRF-XEPOS heeft operationeel de voorkeur boven de ICP-MS omdat op een snelle manier zonder veel monstervoorbereiding op locatie kan worden gemeten. Na optimalisatie van het meetprogramma voor verpakkingen en de monstervoorbewerking is de verwachting dat de XRF-XEPOS ingezet kan worden voor handhavingdoeleinden van de norm voor verpakkingsmateriaal. Wanneer de XRF-XEPOS na optimalisatie daadwerkelijk een detectiegrens van $10 \mu\text{g/g}$ heeft, zullen de monsters waarvan de som van de gehalten Cd, Cr, Pb en Hg in het onzekerheidsgebied rond de grenswaarde liggen een heranalyse moeten ondergaan met ICP-MS. Na optimalisatie van het meetprogramma dient de meetonzekerheid per individueel element te worden vastgesteld, met name voor inhomogene monsters.

XRF-NITON

De XRF-NITON kan voor Cd, Cr en Pb worden ingezet voor de screening van gehalten die vele malen boven de grenswaarde liggen, waarbij nochtans nog vals positieve resultaten mogelijk blijven.

Wegens de kleine draagbare uitvoering van de XRF-NITON is deze uitermate geschikt voor het screenen op locatie.

5. Aanbevelingen

XRF-XEPOS

- Aanpassen van het meetprogramma aan verpakkingen zodat een kwantitatieve bepaling uitgevoerd kan worden voor de bepaling van de gehalten aan Cd, Pb, Hg en Cr in verpakkingen. Dit moet resulteren in een meetprogramma om op locatie op een snelle manier vast te kunnen stellen of de som van Cd, Pb, Hg en Cr de grens van 100 µg/g niet overschrijdt.
- Bepaling van de meetonzekerheid per individueel element voor de XRF-XEPOS.
- De matrixinvloed dient verder onderzocht te worden, met name in relatie tot de meetonzekerheid:
 - Is malen van het monster noodzakelijk?
 - Wat is de invloed van de manier van het stapelen van het monster in de meetcupjes?
 - Zijn de vermalen monsters homogeen?
 - Geeft het persen van een tablet van het monster na smelten betere resultaten?
- Analyse van een aantal monsters met een verhoogd kwik en cadmiumgehalte, omdat hierover nog niet voldoende informatie is verkregen in dit onderzoek.

Literatuur

1. Mennen M.G., Putten E.M. van, Fortezza F., Beek A.C.W. van de, Veen R.P.M. van en Dijk J. van (2002) Onderzoek naar zware metalen in verpakkingen. Oriënterend onderzoek ten behoeve van de Handhaving van de Regeling verpakkingen en verpakkingsafval. Rapport in voorbereiding. RIVM, Bilthoven.
2. Boer J.L.M. de, Huisvoorschrift 56 elementen methode, HP4500 meetvoorschriften/methoden. RIVM, Bilthoven.
3. Theorie röntgenfluorescentie spectrometrie, Spectro X-Lab 2000, Versie 1.1, januari 2001, Cursusmap Goffin Meyvis.
4. Brucker N. de, Theunis J., Timmermans V., Tirez K., Holderbeke M. van, en Vanhoof C. (2001) Heavy Metals in Packaging on the Belgian market. Rapportnummer 001477. VITO, Mol, België.
5. Audier M., Visser R.G. (2001) Results of Proficiency Test Cadmium in Plastics October 2001. Rapportnummer iis01P02X.
6. RIVM onderzoek met code 01/LAC/609023/IIS-Cd2001. RIVM, Bilthoven.

Bijlage 1: Overzicht codering en omschrijving monsters verpakkingsmateriaal.

Codering IEM/IMH	Omschrijving artikel	Codering LAC	Omschrijving van het monster
VP290801.01	pot oploskoffie	124787/deksel	Deksel, kunststof, bruin/goud
VP290801.01		124787/glas	Pot, glas, kleurloos/transp.
VP290801.02	fles curry	124788/deksel	Deksel, kunststof, rood
VP290801.02		124788/fles	Fles, kunststof, rood
VP290801.03	pot mayonaise	124789/deksel	Deksel, kunststof, groen
VP290801.03		124789/glas	Pot, glas, kleurloos/transp.
VP290801.04	kruidenpot	124790/deksel	Deksel, kunststof, blauw
VP290801.04		124790/glas	Pot, glas, kleurloos/transp.
VP290801.05	jampot	124791/deksel met. *	Deksel, metaal, groen + rood
VP290801.05		124791/glas	Pot, glas, kleurloos/transp.
VP290801.06	milkshake	124792/beker	Beker, kunststof, wi + div. kl.
VP290801.07	snoepzak	124793/veelkl.folie	Zak, kunststof, veelkl.
VP290801.08	chipszak	124794/veelkl.folie	Zak, alum.folie, veelkl.
VP290801.09	pot kofficreamers	124795/deksel	Deksel, kunststof, bruin/goudkl.
VP290801.09		124795/glas	Glas, bruin
VP030902.01	hoes picknickdeken	124796/bruin	Band, kunststof, bruin
VP030902.01		124796/trans	Hoes, kunststof, transp.
VP030902.02	plastic zak	124797	Zak, kunststof, rood
VP030902.03	verp. zonnenscherm	124798/karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP030902.03		124798/trans	Kunststof
VP030902.04	verp. slinger	124799/transp	Zak, kunststof, transp.
VP030902.04		124799/veelkl.	Strook, kunststof, veelkl.
VP030902.04		124799/wit	Strook, kunststof, wit
VP030902.05	verp. hoedroogmolen	124800/trans	Zak, kunststof, transp.
VP030902.05		124800/wit hengsel	Hengsel, kunststof, wit
VP030902.06	hengsel tas Blokker	124801	Hengsel, kunststof, oranje
VP030902.07	verp. schorten	124802	Zak, kunststof, transp.
VP030902.08	verp. wildschaar	124803/blauw	Deel etui, kunststof, blauw
VP030902.08		124803/trans	Deel etui, kunststof, transp.
VP030902.08		124803/zwart	Deel etui, kunststof, zwart
VP030902.09	verp. douchegordijn	124804/hengsel	Hengsel, kunststof, wit
VP030902.09		124804/karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP030902.09		124804/trans	Zak, kunststof, transp.
VP030902.10	verp. straalbreker	124805/karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP030902.10		124805/trans	Blister, kunststof, transp.
VP030902.11	verp. aansteker	124806/karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP030902.11		124806/trans	Blister, kunststof, transp.
VP040903.01	verp. Omnivat vitaminen	124807/deksel	Deksel, kunststof, oranje

VP040903.01		124807/kunststofbuis	Buisje, kunststof, meerkl.
VP040903.02	verp. knoflokktabletten	124808/deksel	Deksel, kunststof, wit + opdruk
Codering IEM/IMH	Omschrijving artikel	Codering LAC	Omschrijving van het monster
VP040903.02		124808/potje	Potje, kunststof, groen + meerkl.
VP040903.03	verp. tandenborstel	124809/karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP040903.03		124809/trans	Blister, kunststof, transp.
VP120904.01	folie, polyetheen	125219/folie oranje	Folie, kunststof, oranje
VP120904.02	folie, polyetheen	125220/folie rood	Folie, kunststof, rood
VP120904.03	folie, polyetheen	125221/folie blauw	Folie, kunststof, blauw
VP120905.01	dunne plaat, polyvelour	125222/poly vel,roo	Plaat, kunststof, velour, rood
VP120905.02	dunne plaat, polystyreen	125223/zwart	Plaat, kunststof, zwart
VP120906.01	verp. PET	125224/pet groen	Blister, kunststof, groen
VP120906.02	verp. PET	125225/pet transp	Blister, kunststof, transp.
VP170907.01	tas Intratuin	125624/tas groen	tas, kunststof, meer kl. groen
VP170907.02	papier	125625/papier	Papier, wit
VP170907.03	verp. bloemen, polyprop.	125626/donkerblauw	Zak, kunststof, donkerblauw
VP170907.03		125626/licht blauw	Zak, kunststof, lichtblauw
VP170908.01	folie	125627/folie transp	Folie, kunststof, transp.
VP170908.02	folie	125628/folie veelkl	Folie, kunststof, veelkl
VP200914.01	tas	125729	tas, kunststof, goudkl+opdruk
VP200914.02	tas	125730	tas, kunststof, transp+opdruk
VP200914.03	tas BBA	125731	tas, kunststof, wit + opdruk
VP200914.04	tas DA	125732	tas, kunststof, wit + opdruk
VP200914.05	tas groenteman	125733	tas, kunststof, wit + opdruk
VP200914.06	tas LIDOR	125734	tas, kunststof, geel + opdruk
VP200914.07	tas Miries	125735	tas, kunststof, oranje + opdruk
VP200915.02	verp. De Vries vloertegels	125737	Zak, kunststof, geel
VP200915.03	deel van een verp.	125738	Verp, kunststof, blauw + opdruk
VP200915.04	deel van een verp.	125739	Verp, kunststof, transp + opdruk
VP200909.01	deel bigbag FIBC	125740	Bag, kunststof, groene opdruk
VP200909.02	netzak Agrico	125741	Netzak, kunststof, oranje+opdruk
VP200909.03	netzak uien + sticker	125742a/sticker	Sticker, alum.folie, veelkl.
VP200909.03		125742b/netzak	Netzak, kunststof, rood
VP200909.04	deel bigbag FIBC	125743	Bag, kunststof, rood/zwarte opdr.
VP200909.05	netzak + koord (blauw)	125744	Netzak, kunststof, oranje
VP200910.01	folie Craven	125745	Folie, kunststof, veelkl.
VP200910.02	folie van Nelle	125746	Folie, kunststof, veelkl.
VP200910.03	folie	125747	Folie, kunststof, blauw/wit
VP200911.01	wikkel Tawa	125748	Folie, kunststof, veelkl.
VP200912.01	tas	125749	tas, kunststof, wit
VP200913.01	klem voor palletband	125750	Klem, kunststof, zwart

VP260916.01	zak + metalen ring	126622	Zak, kunststof, transp + opdruk
VP260916.02	verp.	126623	Verp., kunststof + opdruk
Codering IEM/IMH	Omschrijving artikel	Codering LAC	Omschrijving van het monster
VP260917.02	verp. + katonnen houder	126626	Verp., kunststof, transp.
VP260917.02		126626_papier	Karton, bedrukt, meerkl.
VP260918.01	mondspoelopl. Sentyl	126627_dop	Dop, kunststof, wit
VP260918.01		126627_flesje	Flesje, kunststof, transp.+sticker
VP270918.02	potje + opdruk	126628_deksel	Deksel, kunststof, wit + opdruk
VP270918.02		126628_flesje	Potje, kunststof, wit
VP260919.01	SMO casing, gold 1620	126629	Casing, kunststof, goudkl.
VP260919.02	GP casing yellow 2111	126630	Casing, kunststof, geel
VP260919.04	TS casing white 72	126632	Casing, kunststof, wit
VP260919.05	TS casing cream 30	126633	Casing, kunststof, roomkl.
VP260919.06	ML tube/bags green 25	126634	Casing, kunststof, groen
VP260920.01	Sushi schaalte	126635	Schaaltje, kunststof + opdruk
VP260920.02	comp. tray, code 449080	126636	Schaaltje, kunststof zwart
VP260920.03	puntzak	126637	Gekl.deel, kunststof geel/rood
VP260920.03		126637_trans	Transp. deel, kunststof
VP260920.04	puntzak	126638	Gekl. deel, kunststof, l+d groen
VP260920.04		126638_trans	Transp. deel, kunststof
VP260920.05	verp. vleeswaren	126639	Zak, kunststof, wit + opdruk
VP260920.06	verp. kaas	126640	Zak, kunststof, wit + opdruk
VP260920.07	tas (blauw+gouden lelies)	126641	tas, kunststof, blauw + opdruk
VP260920.08	tas (groen+witte banen)	126642	tas, kunststof, groen/wit
VP260920.09	tas	126643	tas, kunststof, groen
VP021021.01	verp. + plakstrip	127016	Zak, kunststof, roze + opdruk
VP021022.01	bindstrip	127017	Strip, kunststof, bruin/grijs
VP021022.02	bindstrip	127018	Strip, kunststof, bruin/grijs
VP021022.03	wikkel, geweven struct.	127019	Wikkel, kunststof, grijs
VP021023.01	blister	127020	Blister, kunststof, transp.
VP021023.02	verp. scartstekker	127021_blister	Blister, kunststof, transp.
VP021023.02		127021_karton	Karton, bedrukt, meerkl.
VP051023.03	deksel	127022/deksel met.*	Deksel, metaal, rood + opdruk
VP021024.01	dop spuitbus	127023	Dop, kunststof, geel
VP021024.02	pot Wipes	127024 deksel	Deksel, kunststof, rood
VP021024.02		127024 poti	Pot, kunststof, div. kl.

* Metalen deksel, deze is niet vermalen maar de bovenzijde van de deksel is gemeten.

Bijlage 2: Resultaten voor Cd, Cr, Hg en Pb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS.

Codering LAC	Visuele beoordeling H: Homogeen I: Inhomogeen	Cd			Cr			Hg			Pb		
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	AG			0.1			2.5			0.3			0.5
124787/deksel	H	4	<40	0.0	12	<225	7.9	1	<17	0.0	59	43	36
124787/glas	H	< 4,4			259			< 2,4			128		
124788/deksel	H	< 2,5	<47	0.0	< 4,5	<134	1.7	1	13	0.0	6	<11	4.8
124788/fles	H	3			8			< 0,6			1		
124789/deksel	H	< 2,9	<67	0.1	21	<15	8.4	0	<12	0.0	5	<15	3.0
124789/glas	H	< 4,5			270			< 2,4			69		
124790/deksel	H	< 3,1	<58	0.1	7	<240	1.4	0	<17	0.0	3	<24	2.7
124790/glas	H	< 4,2			425			< 2,4			185		
124791/deksel met. *	I	< 19			414			< 12			48		
124791/glas	H	< 4,4	<85		168	12397		< 2,2	93		128	202	
124792/beker	I	3	<84	0.0	9	<255	1.8	1	<16	0.0	18	50	16
124793/veelkl.fo lie	I	< 9,2	<180	0.0	25	<525	4.9	< 1,3	<32	0.0	20	58	18
124794/veelkl.fo lie	I	< 12	<88	0.0	10	<195	6.0	< 1,2	<15	0.0	14	20	16
124795/deksel	I	< 3,1	<92	0.0	13	<435	2.5	< 0,7	<24	0.0	3	<30	2.1
124795/glas	H	< 3,9			572			< 2,4			119		
124796/bruin	I	185	206	225	1595	<195	1853	< 5,1	<52	0.0	6421	4960	8975
124796/trans	H	338		382	< 13		0.2	1		1.0	8		1.5
124797	H	< 5,9	<54	0.3	5282	1600	1977	< 5,0	116	-1.0	10460	10400	10528

124798/karton	I	< 5,5			28			< 1,6			6		
Codering LAC	Visuele beoordeling	Cd			Cr			Hg			Pb		
	H: Homogeen I: Inhomogeen	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
124798/trans	H	269	169	320	< 14	<255	0,5	3	<15	0.0	67	57	69
124799/transp	H	< 5,8	<58		22	<128		1	<10		2	136	
124799/veelkl.	I	< 6,1		0.0	16		3.9	< 1,3		0.0	11		11
124799/wit	H	< 4,6		0.0	20		1.3	< 1,5		-1.0	11		2.4
124800/trans	H	< 4,4	<65	0.0	11	<119	0.3	1	<11	0.0	1	183	0.9
124800/wit hengsel	H	7			< 5,5			1			1		
124801	H	6	<61	0.0	12	<124	0.5	1	<10	0.0	2	151	0.2
124802	H	< 5,1	<84	0.0	7	<165	1.2	1	<13	0.0	1	102	0.1
124803/blauw	H	< 4,4		0.1	31		28	< 1,9		0.0	138		159
124803/trans	H	< 3,3	<72	0.0	< 14	<210	0.2	< 1,7	<16	0.0	23	72	26
124803/zwart	H	< 7,0			14			< 1,8			34		
124804/hengsel	H	2	<74		< 6,5	<137		< 0,9	<11		1	62	
124804/karton	I	< 4,4			< 14			< 2,2			3		
124804/trans	H	< 3,2		0.1	< 5,1		0.5	1		0.0	1		0.5
124805/karton	I	< 5,4			< 11			< 1,3			3		
124805/trans	H	< 3,7	<78	0.1	4	<165	1.6	1	<13	-0.1	3	87	9.0
124806/karton	I	< 5,3			21			< 1,8			9		
124806/trans	H	< 5,6	<65	8.3	< 15	<180	0.8	< 1,9	<13	-0.1	6	97	2.4
124807/deksel	H	< 2,9		0.1	< 5,0		0.5	< 0,7		0.0	1		1.9
124807/kunststo fbuis	I	< 2,3	<59		7	<180		0	<14		1	<15	
124808/deksel	H	5	<59	0.3	< 5,3	<270	0.7	< 0,7	<18	-0.1	1	39	1.0
124808/potje	H	4			9			< 0,7			1		
124809/karton	I	< 5,0			20			< 1,6			9		

124809/trans	H	< 4,9	<57	9,7	20	<195	0.7	2	<13	-0.1	4	112	1.5
Codering LAC	Visuele beoordeling	Cd			Cr			Hg			Pb		
	H: Homogeen I: Inhomogeen	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
125219/folie oranje	H	< 5,9	<39	0.1	1884	149	473	< 3,0	28	0.0	2310	2579	2338
125220/folie rood	H	< 5,0	<70	0.6	8	<135	1.5	< 0,9	5	-0.1	1	<13	2.8
125221/folie blauw	H	5	<52	0.0	< 5,1	<129	0.1	1	<12.5	0.0	0	<13	0.1
125222/poly vel,roo	I	< 2,8	<40	0.0	499	161	329	3	<23	0.0	1579	2160	1648
125223/zwart	H	2	<45	0.0	15	<126	0.7	< 0,6	<10	0.0	1	<14	1.5
125224/pet groen	H	< 2,7	<40	0.0	< 5,5	<92	0.4	1	<7	0.0	2	<9	1.4
125225/pet transp	H	< 2,3	<34	0.0	< 5,0	<82	0.0	0	<6	0.2	1	<7	-1.1
125624/tas groen	I	< 4,8	<67	0.0	143	155	34	< 1,1	<14	0.1	133	512	153
125625/papier	H	< 7,6	<64	0.1	< 11	<142	0.5	< 1,3	<10	0.2	3	<14	0.2
125626/d-blauw	I	< 9,2	<97	0.1	< 13	<225	2.1	< 1,6	<13	0.1	3	45	0.9
125626/l-blauw	I	< 5,6	<97		9	<225		< 1,2	<13		2	45	
125627/folie transp	H	< 6,6	<43	0.0	< 7,8	<85	0.4	1	<8	0.1	2	<9	-0.9
125628/folie veelkl	I	< 6,3	<38	0.0	8	<98	0.1	1	<6	-0.1	1	24	-1.3
125729	I	< 5,7	<44	0.0	23	<195	0.2	< 1,4	<14	0.0	1	<11	0.2
125730	I	< 9,2	<35	0.0	16	<86	0.7	1	<6	-0.1	2	<8	0.1
125731	I	< 4,4	<42	0.0	< 8,4	<116	0.3	1	<8	0.0	2	13	-0.3

125732	I	< 11	<50	0.0	< 43	<147	0.7	< 2,8	<11	-0.1	4	13	2.0
125733	I	< 8,3	<50	0.1	< 29	<147	-0.1	< 1,9	<11	-0.1	4	13	2.4
Codering LAC	Visuele beoordeling	Cd			Cr			Hg			Pb		
	H: Homogeen I: Inhomogeen	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
125734	I	< 8,6	<54	0.2	5476	2120	2249	< 8,3	<150	1.0	13080	17690	10765
125735	I	< 6,2	<47	0.0	7904	3578	3498	< 6,9	<132	0.3	18800	28288	18632
125737	H	4	<44	0.0	410	3309	182	3	<72	0.2	1205	9094	1255
125738	I	< 4,3	<92	0.1	< 8,4	<285	1.6	1	<19	0.2	4	<20	5.0
125739	I	4	<150	0.0	< 6,1	<300	0.8	0	<23	0.2	2	<29	1.1
125740	I	< 6,2	<44	0.1	430	228	117	< 1,7	<14	-0.1	658	753	636
125741	I	< 6,6	<49	0.0	6818	1829	1935	< 5,1	110	-0.2	8888	8909	8801
125742a/sticker	I	< 4,0	<48	0.0	1649	1080	656	< 3,1	<53	-0.3	3732	3109	2993
125742b/netzak	H	< 5,2		0.0	8097		2486	6		-0.2	13170		12770
125743	I	< 6,7	<73	0.0	920		236	< 2,3		-0.2	1377		1180
125744	I	< 7,1	<68	0.1	4027	1300	992	< 3,8	89	-0.2	4321	5818	4278
125745	I	< 4,1	<59	0.3	14	<195	3.2	1	<11	-0.3	4	39	7.3
125746	I	< 3,5	<46	0.0	< 7,2	<126	1.0	1	<8.4	-0.3	2	17	2.3
125747	I	3	<66	0.0	8	<165	1.6	1	<9	-0.3	2	57	1.1
125748	I	< 6,7	<150	0.0	11	<510	4.4	< 1,8	<34	0.0	5	<42	3.7
125749	H	< 8,4	<40	0.1	< 30	<128	1.3	< 1,9	<7	0.0	2	44	1.4
125750	H	< 2,5	<91	0.0	13	<165	0.3	1	20	-0.1	2	<14	0.8
126622	I	< 5,5	<37	0.0	3139	778	875	< 3,6	<23	0.1	4825	2229	5017
126623	I	< 5,2	<93	0.0	7	<135	4.1	0	<12	0.2	8	<13	15
126624	I	< 6,3	<106	0.0	22	<315	3.0	< 1,4	<20	0.1	17	47	15
126626_plastic	H	539	236	604	< 15	<240	-0.5	2	<21	0.1	410	330	450
126626_papier	I	< 7,7		1.4	17		3.5	2		0.0	9		6.4

Codering LAC	Visuele beoordeling	Cd			Cr			Hg			Pb		
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
126627_dop	H	6	<93	0.0	< 4,5	<240	0.1	1	<16	-0.1	1	52	0.0
126627_flesje	I	< 2,7	<89	2.0	< 6,2	<138	1.0	< 0,7	<10	-0.1	2	<15	2.6
126628_deksel	I	2	<83	0.0	< 5,1	<210	0.7	1	<10	0.0	1	22	-0.1
126628_flesje	H	4		0.0	13		2.0	< 0,8		-0.1	1		-0.4
126629	H	< 11	<34	0.0	3640	232	5.0	2	<6	0.0	5	<8	1.7
126630	H	< 9,2	<35	0.0	1902	<126	8.7	< 1,6	<7	0.0	6	19	3.2
126632	H	< 7,6	<35	0.0	13	<142	1.0	2	<7.5	-0.1	2	32	0.4
126633	H	< 8,9	<26	0.0	253	<122	2.0	2	<7.5	0.0	9	21	5.5
126634	H	< 4,7	<38	0.1	< 11	<118	0.4	< 1,4	<8	0.9	2	<11	0.0
126635	I	< 3,2		0.1	< 5,5		0.2	1		0.3	1		0.1
126636	H	< 2,6		0.0	282		85.4	1		0.2	1		-0.8
126637_kleur	I	< 5,9	<64	0.0	10280	4998	5015	< 8,1	<8	0.1	26320	26189	25830
126637_trans	H	< 5,4		0.0	50		21.2	1		0.1	56		89
126638_kleur	I	< 5,7	<70	0.1	8079	2749	3889	< 7,4	<50	0.1	23510	17792	23252
126638_trans	H	< 5,4		0.0	14		9.6	1		0.0	19		36
126639	I	< 7,9	<40	0.0	190	<150	88	< 2,4	<10	-0.1	518	79	422
126640	I	< 6,7		0.0	316	<270	93	< 2,2	<22	0.0	459	395	436
126641	I	< 4,6	34	0.0	126	<124	40	< 1,1	<10	-0.1	163	37	180
126642	I	< 6,3	<45	0.0	1867	274	562	< 3,4	<21	0.0	3746	1410	3694
126643	H	< 4,8	<36	0.1	2525	352	935	< 3,1	<22	-0.1	3860	1060	4082
127016	I	< 3,9	18	0.0	60	511	22	< 0,8	<4	-0.1	86	133	102
127017	H	< 6,1	<113	2.0	25	<195	24	< 2,8	<19	0.0	149	132	153
127018	H	< 17		0.3	< 130	849	9.8	< 5,3	<19	-0.1	214	184	316
127019	H	< 6,2		0.4	18		5.0	< 2,1		0.0	24		20
127020	H	< 5,6		10	< 14	<300	-0.4	< 1,9	<19	0.6	3	<22	-0.6

Codering LAC	Visuele beoordeling	Cd			Cr			Hg			Pb		
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS
127021_blistel	H	4	<165	0.1	< 4,8	<420	-0.3	< 0,6	38	0.2	< 0,6	208	-1.4
127021_karton	I	< 5,0			34			2			10		
127022/deksel met. *	I	< 23	<165		304	<22483		12	180		38	918	
127023	H	2		0.1	< 6,7		-0.3	1		0.1	1		-1.5
127024 deksel	H	4	<120	0.0	1143	<345	672	6	<30	0.1	2955	378	3398
127024 pot	I	< 3,9	<40	0.2	< 7,9	466	0.5	< 1,0	<63	0.9	1	1580	-0.3

* Metalen deksel, deze is niet vermalen maar de bovenzijde van de deksel is gemeten.

Bijlage 3: Resultaten Cu, Mo en Sb in verpakkingsmateriaal geanalyseerd middels XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS.

Codering LAC	Visuele beoordeling H: Homogeen I: Inhomogeen	Cu			Mo			Sb	
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON
		µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	AG			1.3			1		
124787/deksel	H	14430	8448	10902	< 13	<18	0.1	6	<44
124787/glas	H	15			< 24			7	
124788/deksel	H	3	<58	1.4	< 10	<14	0.0	14	<55
124788/fles	H	0			< 11			12	
124789/deksel	H	374	420	251	< 11	22	-0.1	15	<73
124789/glas	H	17			< 27			< 5,1	
124790/deksel	H	238	536	159	< 12	<19	0.0	13	<95
124790/glas	H	22			< 23			8	
124791/deksel met. *	I	1057			< 120			< 13	
124791/glas	H	15	<885		< 25	<79		< 4,7	<90
124792/beker	I	57	<111	15	< 13	90	0.0	6	<74
124793/veelkl.folie	I	46	<210	32	< 36	58	-0.1	27	<165
124794/veelkl.folie	I	286	100	164	57	37	95	< 12	<118
124795/deksel	I	8555	<142	6509	< 12	<26	-0.3	12	<88
124795/glas	H	34			< 22			12	
124796/bruin	I	11	<79	1.6	67	<18	198	< 9,6	<64
124796/trans	H	3		0.4	< 22		2.3	< 5,7	
124797	H	< 2,9	<68	6.4	311	674	513	174	<91
124798/trans	H	< 2,2	<75	1.0	< 25	<17	6.5	< 5,4	<90

124799/transp	H	8	<49		< 19	24		13	<53
124799/veelkl.	I	155		48	< 25		0.8	14	
Codering LAC	Visuele beoordeling	Cu			Mo			Sb	
	H: Homogeen I: Inhomogeen	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON
124799/wit	H	93		1.8	< 19		0.3	6	
124800/trans	H	0	<51	0.6	< 16	14	0.2	17	<73
124800/wit hengsel	H	1			< 11			12	
124801	H	1	<53	0.1	< 15	13	-0.2	20	<55
124802	H	1	57	0.7	< 19	<11	0.0	< 5,5	<88
124803/blauw	H	178		182	< 23		0.0	< 4,3	
124803/trans	H	< 2,3	<132	0.2	< 20	<26	-0.1	8	<79
124803/zwart	H	2			< 29			64	
124804/hengsel	H	< 1,0	60		< 11	<12		15	<69
124804/karton	I	45			< 24			< 6,0	
124804/trans	H	1		3.2	< 13		-0.3	15	
124805/karton	I	35			< 21			7	
124805/trans	H	6	67	1.9	< 14	<15	-0.3	12	<79
124806/karton	I	49			< 20			< 5,0	
124806/trans	H	5	<17	1	< 22	<69	-0.2	< 5.2	<71
124807/deksel	H	3	<89	0.7	< 13	<17	-0.5	297	408
124807/kunststof buis	I	3			< 13			12	
124808/deksel	H	3	<118	1.4	< 16	31	-0.3	29	<147
124808/potje	H	120			< 12			9	
124809/karton	I	137			< 24			9	
124809/trans	H	8	<73	1.0	< 24	<20	-0.1	< 4,1	<69
125219/folie	H	< 2,2	69	0.4	71	201	128	63	102

oranje									
125220/folie rood	H	2	71	0.3	< 17	<14	5.3	16	<91
Codering LAC	Visuele beoordeling	Cu			Mo			Sb	
	H: Homogeen I: Inhomogeen	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON
125221/folie blauw	H	235	297	132	< 11	<15	-0.8	9	<54
125222/poly vel,roo	I	2	<54	0.7	52	164	68	44	104
125223/zwart	H	1	<62	0.2	< 9,0	43	2.5	19	
125224/pet groen	H	6	<36	3.1	< 12	17	0.5	122	371
125225/pet transp	H	< 0,7	39	0.7	< 8,5	27	-0.7	107	362
125624/tas groen	I	38	170	17	< 18	<10	-0.5	13	<57
125625/papier	H	15	<58	6.5	< 35		-0.3	17	<122
125626/ donkerblauw	I	2036	1809	808	47	223	67	7	<56
125626/licht blauw	I	298			< 16			5	
125627/folie transp	H	3	63	1.7	< 26	<9	2.1	< 7,7	<51
125628/folie veelkl	I	179	<55	91	< 23	35	0.4	< 5,2	<37
125729	I	32610	25395	15903	< 22	<11	2.1	8	<52
125731	I	2	60	3.0	< 16	37	-0.9	4	<39
125732	I	< 6,6	<114	25	< 39	15	19	< 13	<69
125733	I	< 4,5	<114	22	< 30	15	0.1	< 8,0	<69
125734	I	31	<195	15	< 35	71	23	115	672
125735	I	78	<150	43	529	1690	920	252	658
125737	H	< 1,2	<130	0.4	< 12	<52	33	28	
125738	I	369	560	166	< 18	<19	8.3	11	<91
125739	I	133	<132	77	< 13	<28	3.7	13	<100
125740	I	20	<49	8.5	< 22	<11	1.5	11	<51
125741	I	4	239	1.9	45	206	96	162	290

Codering LAC	Visuele beoordeling	Cu			Mo			Sb	
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON
125742a/sticker	I	30	<129	16	100	164	143	34	<52
125742b/netzak	H	< 3,6		1.4	252		564	73	<65
125743	I	5		1.7	< 28		76	29	
125744	I	13	<83	5.1	< 28	37	26	< 5,6	<122
125745	I	308	179	163	< 17	50	4.6	6	<63
125746	I	262	158	144	< 16	50	2.2	19	<57
125747	I	1387	1150	877	< 15	77	1.4	12	<67
125748	I	157	<210	92	< 24	<41	7.3	< 7,3	
125749	H	< 4,7	<50	1.8	< 31	21	-0.5	< 8,2	<47
125750	H	6	111	2.5	< 11	<13	-1.1	14	<79
126622	I	1006	592	472	< 20	<10	16	15	<37
126623	I	125	124	63	< 18	25	2.3	12	<41
126626_plastic	H	< 2,2	<97	0.8	< 25	<22	-0.4	< 6,9	<83
126626_papier	I	8		3.5	< 30		0.3	< 10	
126627_dop	H	3		0.5	< 13		-0.7	12	
126627_flesje	I	4	<66	2.4	< 10	65	-0.6	100	<105
126628_deksel	I	1	<113	0.2	< 11	35	-1.1	8	<131
126628_flesje	H	1		-0.1	< 12		-0.9	8	
126629	H	6	<34	0.9	< 32	19	-0.9	1025	283
126630	H	9	<52	0.8	< 27	32	-0.8	2496	560
126632	H	< 2,2	<50	0.5	< 26	58	-0.9	< 5,6	<38
126633	H	3	<54	0.8	< 30	37	-1.1	564	311
126634	H	58	238	34	< 21	<11	-0.4	5	<41
126635	I	158	<73	84	< 12	<15	-0.5	7	<56
126636	H	5		1.7	< 13	<31	-0.4	8	<64

Codering LAC	Visuele beoordeling	Cu			Mo			Sb	
		XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON	ICP-MS	XRF- XEPOS	XRF- NITON
126637_gekleurd	I	< 3,9	<225	0.8	61	183	127	15	<66
126637_trans	H	2		0.2	< 20		5.3	< 5,0	
126638_gekleurd	I	320	124	231	< 21	<17	2.6	< 5,7	<82
126638_trans	H	2		0.5	< 19		-0.6	14	
126639	I	< 4,6	<90	10	< 26	40	0.0	< 8,5	<42
126640	I	< 3,9	<180	4.7	< 25	42	-0.2	< 7,8	
126641	I	2041	602	964	< 14	16	-0.4	16	<32
126642	I	223	92	103	< 27	<12	-0.1	9	<56
126643	H	142	<60	57	< 17	<13	-0.1	66	<41
127017	H	86	<130	61	< 28	27	2.0	< 6,1	<58
127018	H	155	217	203	< 86	59	0.1	< 14	<120
127019	H	19	<960	7.3	< 25	<180	-0.3	9	<285
127020	H	< 2,4	3690	0.2	< 26	50	-0.2	< 4,7	<85
127021_blisters	H	< 0,7	625	0.0	< 9,9	29	-0.2	112	<210
127021_karton	I	88			< 22			6	
127022/deksel met.*	I	122	<1800		< 130	265		< 16	<165
127023	H	< 0,9	<150	0.3	< 9,6	<26	10	13	<120
127024 deksel	H	< 1,1	47	-0.2	98	103	170	104	<64
127024 pot	I	2		3.6	< 14		-0.8	13	

* Metalen deksel, deze is niet vermalen maar de bovenzijde van de deksel is gemeten.

Bijlage 4: Totaaloverzicht screening met Tqk2760 meetmethode van de elementen Cr, Cd, Pb, Hg, Cu, Mo en Sb middels XRF-XEPOS van monsters verpakkingsmateriaal

Codering	Cr	Cd	Pb	Hg	Cu	Mo	Sb
LAC	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124787/deksel	11.5	3.5	59.3	1.0	14430	< 13	6.1
124787/glas	259	< 4.4	127.6	< 2.4	14.6	< 24	6.7
124788/deksel	< 4.5	< 2.5	5.5	0.6	2.9	< 10	14.1
124788/fles	7.9	2.9	1.0	< 0.6	0.4	< 11	12.3
124789/deksel	20.5	< 2.9	4.7	0.4	374.3	< 11	15.3
124789/glas	270	< 4.5	69.0	< 2.4	16.5	< 27	< 5.1
124790/deksel	6.6	< 3.1	3.3	0.4	237.6	< 12	12.6
124790/glas	425	< 4.2	184.5	< 2.4	22.2	< 23	7.9
124791/glas	168	< 4.4	128.3	< 2.2	14.6	< 25	< 4.7
124791/met.deksel	414	< 19	48	< 12	1057	< 120	< 13
124792/beker	9.0	3.1	18.2	0.7	57.1	< 13	6.3
124793/veelkl.folie	24.6	< 9.2	19.5	< 1.3	45.9	< 36	26.9
124794/veelkl.folie	10.0	< 12	13.9	< 1.2	286.0	57	< 12
124795/deksel	12.5	< 3.1	2.9	< 0.7	8555	< 12	12.4
124795/glas	572	< 3.9	118.6	< 2.4	34.2	< 22	11.9
124796/bruin	1595	185.4	6421	< 5.1	10.7	67	< 9.6
124796/trans	< 13	337.9	7.6	1.3	2.5	< 22	< 5.7
124797	5282	< 5.9	10460	< 5.0	< 2.9	311	173.9
124798/karton	28.1	< 5.5	5.9	< 1.6	27.6	< 23	< 5.3
124798/trans	< 14	269.3	67.2	3.1	< 2.2	< 25	< 5.4
124799	21.8	< 5.8	2.3	0.7	7.6	< 19	13.4
124799/veelkl.	16.3	< 6.1	11.2	< 1.3	154.6	< 25	13.5
124799/wit	20.1	< 4.6	10.8	< 1.5	93.3	< 19	6.3
124800/trans	10.5	< 4.4	1.0	0.7	0.4	< 16	16.9
124800/uit hengsel	< 5.5	7.4	0.8	0.8	1.1	< 11	12.3
124801	11.5	5.8	1.5	0.5	1.4	< 15	19.5
124802	7.2	< 5.1	1.1	1.3	0.8	< 19	< 5.5
124803/blauw	31.0	< 4.4	137.7	< 1.9	177.9	< 23	< 4.3
124803/trans	< 14	< 3.3	23.3	< 1.7	< 2.3	< 20	7.7
124803/zwart	13.7	< 7.0	33.9	< 1.8	2.1	< 29	64.4
124804/hengsel	< 6.5	2.0	0.6	< 0.9	< 1.0	< 11	14.6
124804/karton	< 14	< 4.4	2.6	< 2.2	44.8	< 24	< 6.0
124804/trans	< 5.1	< 3.2	0.8	0.8	0.7	< 13	14.5
124805/karton	< 11	< 5.4	2.8	< 1.3	35.2	< 21	6.9
124805/trans	4.3	< 3.7	3.1	0.8	6.1	< 14	11.7
124806/karton	20.6	< 5.3	8.8	< 1.8	49.1	< 20	< 5.0
124806/trans	< 15	< 5.6	6.2	< 1.9	4.9	< 22	< 5.2
124807/deksel	< 5.0	< 2.9	1.4	< 0.7	3.1	< 13	297.2
124807/kunststofbui	7.1	< 2.3	0.9	0.4	3.2	< 13	12.1
124808/deksel	< 5.3	4.7	1.3	< 0.7	3.1	< 16	29.1
124808/potje	8.5	3.7	0.7	< 0.7	120.3	< 12	9.4
124809/karton	19.5	< 5.0	9.3	< 1.6	137.0	< 24	9.1
124809/trans	19.5	< 4.9	3.5	1.5	8.0	< 24	< 4.1
125219/folie oranje	1884	< 5.9	2310	< 3.0	< 2.2	71	63.0
125220/folie rood	8.2	< 5.0	1.3	< 0.9	1.5	< 17	15.9
125221/folie blauw	< 5.1	4.7	0.3	0.5	235.0	< 11	9.2

125222/poly vel,roo	499.3	< 2.8	1579	2.7	2.1	51.8	44.1
125223/zwart	14.8	2.2	0.5	< 0.6	0.6	< 9.0	19.1
Codering	Cr	Cd	Pb	Hg	Cu	Mo	Sb
LAC	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
125224/pet groen	< 5.5	< 2.7	2.3	0.7	5.6	< 12	122.4
125225/pet transp	< 5.0	< 2.3	0.9	0.4	< 0.7	< 8.5	106.8
125624/tas groen	142.7	< 4.8	132.7	< 1.1	38.4	< 18	13.1
125625/papier	< 11	< 7.6	2.9	< 1.3	14.9	< 35	17.3
125626/d-blauw	< 13	< 9.2	2.9	< 1.6	2036	47	6.9
125626/licht blauw	9.1	< 5.6	1.6	< 1.2	298.1	< 16	4.9
125627/folie transp	< 7.8	< 6.6	1.8	1.2	3.2	< 26	< 7.7
125628/folie veelkl	7.7	< 6.3	1.3	1.3	179.2	< 23	< 5.2
125729	23	< 5.7	1.4	< 1.4	32610	< 22	7.8
125730	16.1	< 9.2	2.3	1.2	129.0	< 31	< 7.7
125731	< 8.4	< 4.4	1.9	1.2	2.0	< 16	4.1
125732	< 43	< 11	4.3	< 2.8	< 6.6	< 39	< 13
125733	< 29	< 8.3	4.1	< 1.9	< 4.5	< 30	< 8.0
125734	5476	< 8.6	13080	< 8.3	31.3	< 35	114.6
125735	7904	< 6.2	18800	< 6.9	77.6	529	252.4
125737	409.6	4.4	1205	3.1	< 1.2	< 12	28.3
125738	< 8.4	< 4.3	4.1	1.2	368.9	< 18	11.2
125739	< 6.1	3.5	1.5	0.4	132.5	< 13	12.5
125740	430	< 6.2	657.9	< 1.7	20.3	< 22	11.0
125741	6818	< 6.6	8888	< 5.1	3.6	45	161.5
125742a/sticker	1649	< 4.0	3732	< 3.1	29.9	100	33.7
125742b/netzak	8097	< 5.2	13170	5.6	< 3.6	252	73.2
125743	920	< 6.7	1377	< 2.3	4.8	< 28	28.8
125744	4027	< 7.1	4321	< 3.8	13.4	< 28	< 5.6
125745	13.9	< 4.1	3.6	1.0	307.7	< 17	5.5
125746	< 7.2	< 3.5	1.6	0.5	262.2	< 16	18.8
125747	8.4	3.4	2.1	0.6	1387	< 15	12.0
125748	11.0	< 6.7	4.5	< 1.8	157.4	< 24	< 7.3
125749	< 30	< 8.4	1.9	< 1.9	< 4.7	< 31	< 8.2
125750	13.3	< 2.5	1.6	0.6	5.9	< 11	14.4
126622	3139	< 5.5	4825	< 3.6	1006	< 20	15.4
126623	7.2	< 5.2	8.2	0.4	125.2	< 18	11.8
126624	21.5	< 6.3	17.3	< 1.4	106.3	< 24	< 5.5
126626	< 15	538.5	409.8	1.9	< 2.2	< 25	< 6.9
126626_papier	16.5	< 7.7	8.9	1.7	8.1	< 30	< 10
126627_dop	< 4.5	5.9	1.0	0.5	2.5	< 13	12.4
126627_flesje	< 6.2	< 2.7	2.2	< 0.7	3.6	< 10	99.6
126628_deksel	< 5.1	1.9	1.4	0.6	1.4	< 11	8.2
126628_flesje	12.8	3.5	1.1	< 0.8	1.4	< 12	7.9
126629	3640	< 11	4.9	1.9	5.6	< 32	1025
126630	1902	< 9.2	5.9	< 1.6	8.9	< 27	2496
126632	13.2	< 7.6	1.6	1.7	< 2.2	< 26	< 5.6
126633	253	< 8.9	9.1	1.6	3.4	< 30	564.0
126634	< 11	< 4.7	2.1	< 1.4	57.9	< 21	4.7
126635	< 5.5	< 3.2	1.1	0.5	157.8	< 12	7.4
126636	281.8	< 2.6	0.8	0.5	5.1	< 13	7.7
126637	10280	< 5.9	26320	< 8.1	< 3.9	61	15.4
126637 trans	50.2	< 5.4	55.6	1.0	1.5	< 20	< 5.0
126638	8079	< 5.7	23510	< 7.4	320.4	< 21	< 5.7

126638 trans	14.2	< 5.4	19.0	0.7	2.4	< 19	13.8
126639	190	< 7.9	518.2	< 2.4	< 4.6	< 26	< 8.5
Codering	Cr	Cd	Pb	Hg	Cu	Mo	Sb
LAC	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
126640	316	< 6.7	459.2	< 2.2	< 3.9	< 25	< 7.8
126641	126.1	< 4.6	162.6	< 1.1	2041	< 14	16.4
126642	1867	< 6.3	3746	< 3.4	223.3	< 27	8.7
126643	2525	< 4.8	3860	< 3.1	141.7	< 17	66.0
127016	59.8	< 3.9	86.1	< 0.8	< 1.0	< 14	12.7
127017	25.2	< 6.1	148.5	< 2.8	86.4	< 28	< 6.1
127018	< 130	< 17	214.4	< 5.3	155.3	< 86	< 14
127019	18.2	< 6.2	23.9	< 2.1	19.3	< 25	8.5
127020	< 14	< 5.6	2.8	< 1.9	< 2.4	< 26	< 4.7
127021 blister	< 4.8	4.3	< 0.6	< 0.6	< 0.7	< 9.9	112.3
127021 karton	34.3	< 5.0	9.6	2.0	88.0	< 22	5.8
127022 rood onder	293	< 5.0	38	11.6	94.0	< 10	< 6.0
127022 rood onderB	304	< 23	38	12.1	121.8	< 130	< 16
127023	< 6.7	1.9	1.4	0.5	< 0.9	< 9.6	13.3
127024 deksel	1143	3.7	2955	6.2	< 1.1	97.9	104.2
127024 pot	< 7.9	< 3.9	0.9	< 1.0	2.0	< 14	13.3

Bijlage 5a: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten van het kopergehalte in verpakkingen

		INAA	ICP-MS	XRF-XEPOS	XRF-NITON
Monster	Omschrijving	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124790	glas wit	<		22	
124795	glas olijfbuin	<		34	
124796	kunststof bruin	<	1.6	11	<79
124797	kunststof rood	<	6.4	<2.9	<68
124799	kunststof wit	<		8	<49
125734	kunststof geel/groen	16.1	15	31	<195
125741	kunststof wortelkleur en wit	<	1.9	4	239
125742b	kunststof d-oranje	<	1.4	<3.6	
125744	Kunststof geel/oranje/blauw	6.08	13	13	<83
126629	kunststof donker/middngeel	<	0.9	6	<34
126630	kunststof middelgeel	<	0.8	9	<52
126633	kunststof lichtgeel	60.3	0.8	3	<54
126637	kunststof geel en rood	<	0.8	<3.9	<225
126643	kunststof groen	91.6	57	142	<60

Bijlage 5b: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten van het chroomgehalte in verpakkingen

		INAA	ICP-MS	XRF-XEPOS	XRF-NITON
Monster	Omschrijving	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
124790	glas wit	29.6		425	
124795	glas olijfbuin	315		572	
124796	kunststof bruin	1680	1853	1595	<195
124797	kunststof rood	2020	1977	5282	1600
124799	kunststof wit	<	1.3	20	
125734	kunststof geel/groen	2360	2249	5476	2120
125741	kunststof wortelkleur en wit	1920	1935	6818	1829
125742b	kunststof d-oranje	2600	2486	8097	
125744	kunststof d-geel/oranje/blauw	1050	992	4027	1300
126629	kunststof donker/middngeel	1080	5	3640	232
126630	kunststof middelgeel	868	8.7	1902	<126
126633	kunststof lichtgeel	86.9	2	253	<122
126637	kunststof geel en rood	5660	5015	10280	4998
126643	kunststof groen	889	935	2525	352

Bijlage 5c: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS, XRF-NITON en ICP-MS resultaten van het molybdeengehalte in verpakkingen

Monster	Omschrijving	INAA µg/g	ICP-MS µg/g	XRF- XEPOS µg/g	XRF- NITON µg/g
124790	glas wit	<		<23	
124795	glas olijfbruin	<		<22	
124796	kunststof bruin	181	198	67	<18
124797	kunststof rood	633	513	311	674
124799	kunststof wit	<	0.3	<19	
125734	kunststof geel/groen	39	23	<35	71
125741	kunststof wortelkleur en wit	130	96	45	206
125742b	kunststof d-oranje	684	564	252	
125744	kunststof d-geel/oranje/blauw	24.6	26	<28	37
126629	kunststof donker/middngeel	<	0	<32	19
126630	kunststof middelgeel	<	0	<27	32
126633	kunststof lichtgeel	<	0	<30	37
126637	kunststof geel en rood	173	127	61	183
126643	kunststof groen	<	0	<17	<13

Bijlage 5d: Vergelijking van INAA resultaten met XRF-XEPOS en XRF-NITON resultaten van het antimoongehalte in verpakkingen

Monster	Omschrijving	INAA µg/g	XRF-XEPOS µg/g	XRF-NITON µg/g
124790	glas wit	9.37	8	
124795	glas olijfbruin	11.1	12	
124796	kunststof bruin	8.51	<9.6	<64
124797	kunststof rood	395	174	<91
124799	kunststof wit	2.12	6	
125734	kunststof geel/groen	329	115	672
125741	kunststof wortelkleur en wit	405	162	290
125742b	kunststof d-oranje	236	73	<65
125744	kunststof d-geel/oranje/blauw	17.2	<5.6	<122
126629	kunststof donker/middngeel	2810	1025	283
126630	kunststof middelgeel	6250	2496	560
126633	kunststof lichtgeel	1430	564	311
126637	kunststof geel en rood	3.03	15	<66
126643	kunststof groen	127	66	<41

Bijlage 6: Verzendlijst

1. Directeur-Generaal RIVM (1 exemplaar)
2. Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie (1 exemplaar)
3. Dr.Ir.G de Mik
4. Ir. H.J. van de Wiel
5. Dr. Ir. R. F. M. J. Cleven
6. Dr. J. L. M. de Boer
7. Dr. P. Krystek
8. Drs. H. J. T. Bloemen
9. Dr. P. van Zoonen
10. Ir. J.J.G. Kliet
11. Dr. M.G. Mennen
12. Ing. E.M. van Putten
13. R.P.M. van Veen
14. Ing. P. M. Wolfs
15. W. A. van den Beld
- 16-25. Auteurs (10 exemplaren)
26. SBD/communicatie
27. Bureau Rapportenregistratie
28. Bibliotheek RIVM
- 29-38. Bureau Rapportenbeheer
- 39-49. Reserve exemplaren