

(Contract 081086)

Proefronde voor de bepaling van de stookwaarde van vaste (herwonnen) brandstoffen

Finaal rapport

C. Vanhoof, Groep AN en K. Tirez

Studie uitgevoerd in opdracht van OVAM

2009/MANT/R/002

VITO – Milieuanalyse en -techniek

Januari 2009

INHOUDSTABEL

1	SITUERING	9
2	WAT IS STOOKWAARDE?	10
2.1	INLEIDING	10
2.2	DEFINITIES	10
2.3	ANALYSEMETHODEN	15
3	BEOORDELING STOOKWAARDE	17
3.1	SAMENSTELLING VASTE HERWONNEN BRANDSTOFFEN	17
3.2	BELANG VAN DE PARAMETER KOOLSTOF EN WATERSTOF (H)	21
4	PROEFRONDE VOOR DE BEPALING VAN DE STOOKWAARDE	26
4.1	DOEL PROEFRONDE.....	26
4.2	BESCHRIJVING EN VOORBEHANDELING MONSTERS	26
4.2.1	<i>Zeefoverloop compostering (Igean)</i>	26
4.2.2	<i>Shredderafval BST (fluff)</i>	28
4.2.3	<i>RDF (Indaver)</i>	29
4.2.4	<i>Dierlijk afval (gemengd cat III-vet, Sonac Gent)</i>	30
4.2.5	<i>Zuiveringsslib (aeroob slib GFT, Igean)</i>	30
4.3	RESULTATEN PROEFRONDE	31
4.3.1	<i>Voorbehandeling monsters 1 t.e.m. 5</i>	31
4.3.2	<i>Analyseresultaten proefronde</i>	32
4.4	BESLUIT PROEFRONDE	43
5	REFERENTIES	44

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de biomassa-afvalstromen	17
Tabel 2: Chemische samenstelling van biogeen en fossiel materiaal	19
Tabel 3: Chemische samenstelling van biogeen en fossiel materiaal	20
Tabel 4: Ringtestresultaten stookwaarde $q_{p,net,m}$	33
Tabel 5: Vochtgehalte van de ringtestmonsters	34
Tabel 6: Ringtestresultaten bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$	35
Tabel 7: Ringtestresultaten van de asrestbepaling	36
Tabel 8: Ringtestresultaten van het C-gehalte	37
Tabel 9: Ringtestresultaten van het H-gehalte	39
Tabel 10: C- en H-gehalte op % ds-asvrij van de ringtestmonsters	40
Tabel 11: Invloed van de correctiefactoren op het gemiddelde analyseresultaat van de proefronde	41
Tabel 12: Resultaten stookwaarde berekend met en vaste H-factor (7.2 % ds).....	42
Tabel 13: Ringtestresultaten stookwaarde met vaste H-factor en zonder 2 ^{de} correctieterm ..	42

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Chemische samenstelling van biogene fractie (Bron: sorteeraanlyse 2006 in Vlaanderen).....	19
Figuur 2: Chemische samenstelling van fossiele fractie (Bron: sorteeraanlyse 2006 Vlaanderen).....	20
Figuur 3: Chemische samenstelling van biomassa (Bron: TU Vienna).....	21
Figuur 4: Invloed van de correctiefactoren op de stookwaarde	22
Figuur 5: Invloed van de correctiefactoren op de stookwaarde (lage concentratie).....	23
Figuur 6: Stookwaarde berekend met vaste H-factor (6.95%) tov correcte stookwaarde.....	23
Figuur 7: Stookwaarde berekend met vaste H-factor (6.95%) tov correcte stookwaarde (lage concentratiegebied).....	24
Figuur 8: Correlatie tussen het C-gehalte en de bovenste verbrandingswaarde.....	25
Figuur 9: Ringtestresultaten stookwaarde $q_{p,net,m}$	33
Figuur 10: Ringtestresultaten bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$	35
Figuur 11: Ringtestresultaten van de asrestbepaling.....	36
Figuur 12: Ringtestresultaten van het C-gehalte	37
Figuur 13: Correlatie tussen het gemiddelde C-gehalte en de gemiddelde $q_{V,gr,d}$	38
Figuur 14: Ringtestresultaten van het H-gehalte	39
Figuur 15: Ratio van de stookwaarde met en zonder correctiefactoren	41

LIJST VAN FOTO'S

Foto 1: Sorteeraanlyse in Vlaanderen in 2005-2006	18
Foto 2: Zeefoverloop: origineel monster (links) en na drogen 105°C (rechts)	27

Foto 3: Restfractie allerlei (links) en restfractie stenen (rechts)	27
Foto 4: Restfractie plastic	27
Foto 5: Zeefoverloop fractie < 2 cm (a), < 2 mm (b) en < 0.5 mm (c)	28
Foto 6: Gehomogeniseerd shredder materiaal	29
Foto 7: Origineel RDF monster	29
Foto 8: RDF fractie < 4 mm (links) en < 0.5 mm (rechts).....	30
Foto 9: Dierlijk vet.....	30
Foto 10: Zuiveringsslib: origineel monster (links) en verfijnd monster (rechts).....	31

SAMENVATTING

Bij de berekening van het aandeel groenestroom wordt uitgegaan van de stookwaarde bij constante druk bij een welbepaald vochtgehalte. De stookwaarde bij constante druk van het vast afval wordt berekend vertrekkende van de verbrandingswarmte op het analysestaal bij een constant volume. De bepaling van de stookwaarde bij constante druk vereist daarnaast informatie over de vochtigheid, het waterstofgehalte, het zuurstof- en stikstofgehalte van het staal. Het stikstof- en zuurstofgehalte kan anderzijds ook afgeleid worden op basis van het percentage as, koolstof, waterstof en zwavel.

In dit kader werd een koepelnorm (CMA/2/II/A.5) uitgeschreven met verwijzing naar de van toepassing zijnde EN normen die werden ontwikkeld binnen CEN TC 343 solid recovered fuels. Gezien het belang (en de financiële implicaties) van een juiste bepaling en berekening van het aandeel groenestroom werd een proefronde georganiseerd tussen erkende laboratoria op (5-tal) vaste herwonnen brandstoffen voor de bepaling van de stookwaarde bij constante druk.

Tijdens deze proefronde werd het accent gelegd op zowel de monstervoorbehandeling als de analyse. Vijf afvalmonsters werden verdeeld waarbij van 3 monsters telkens een niet voorbehandeld (wel gehomogeniseerd) als een door VITO voorbehandeld monster werd meegegeven. De laboratoria dienden de 5 niet voorbehandelde monsters zelf in bewerking te nemen, terwijl de andere monsters als dusdanig mochten geanalyseerd worden. Op deze manier werd een inzicht verkregen van de invloed van de monstervoorbehandeling op het analysesresultaat.

Op basis van de resultaten van deze proefronde kunnen volgende bevindingen worden vastgesteld:

- De monstervoorbehandeling toegepast door de verschillende laboratoria voldoet om de analyses met een aanvaardbare betrouwbaarheid uit te voeren.
- De diverse bepalingen (calorische waarde, C-gehalte, H-gehalte, asrest,...) die dienen uitgevoerd te worden voor de berekening van de stookwaarde ($q_{p,net,m}$) worden door de verschillende laboratoria met een aanvaardbare betrouwbaarheid uitgevoerd (%RSD van 2 tot 14%). Er zijn geen specifieke knelpunten vastgesteld.
- Omdat bij een hoog vochtgehalte M de fout op de berekening van de stookwaarde significant kan zijn, is het gewenst om een inschatting te krijgen van de bijdrage van het vochtgehalte op de stookwaarde. Het strekt tot aanbeveling om volgende parameters te rapporteren bij de bepaling van de stookwaarde:
 - stookwaarde $q_{p,net,m}$
 - vochtgehalte M
 - calorische waarde op het droge monster $q_{V,gr,d}$
- In vergelijking met de maximale prestatie-eis van de meetonzekerheid van $\pm 30\%$ en de bekomen % RSD (maximaal $2 \times \text{stdev} = 2 \times 14\% = 28\%$) bij deze proefronde voor de parameter stookwaarde stellen wij vast dat bij de berekening van de stookwaarde uit de bovenste verbrandingswaarde (droog):
 - de grootste bijdrage door het vochtgehalte M bepaald wordt;
 - de bijdrage van het H-gehalte substantieel is (getoetst op de dataset van de huisvuil sorteeraanlyse), gemiddeld 9% met een minimum van 5% en een

maximum van 17%. Bij toepassing van een vaste factor (bv. 6.95%) kan een gemiddelde onderschatting van de stookwaarde van -4 % bekomen, met uitschieters tot -94 % bij stookwaarden minder dan 2000 J/g ds. Deze vaste factor werd afgeleid uit de data van de sorteeranalyse. In praktijk zijn de biomassa-afvalstromen zeer divers en niet beperkt tot de afvaltypes van de sorteeranalyses.

- de bijdrage van de 2de correctieterm $0.8[100-w(as)_d-w(C)_d-w(H)_d-w(S)_d]$ maximaal 80 J/g bedraagt t.o.v. de bovenste verbrandingswaarde (droog) en in verhouding tot de relevante groenestroom energie-efficiëntie is deze verwaarloosbaar.
- de afwijking van de stookwaarde berekend met een vast H-gehalte van 7.2% ds en zonder de 2^{de} correctiefactor t.o.v. de stookwaarde (volwaardige formule) voor de ringstestmonsters maximaal -6.3 % bedraagt.

1 SITUERING

Bij de berekening van het aandeel groenestroom wordt uitgegaan van de stookwaarde bij constante druk bij een welbepaald vochtgehalte.¹ De stookwaarde bij constante druk van het vast afval wordt berekend vertrekkende van de verbrandingswarmte op het analysestaal bij een constant volume. De bepaling van de stookwaarde bij constante druk vereist daarnaast informatie over de vochtigheid, het waterstofgehalte, het zuurstof- en stikstofgehalte van het staal.

De berekening van het aandeel groenestroom op basis van de stookwaarde bij constante druk impliceert dat de erkende laboratoria naast de bepaling van de verbrandingswarmte bijkomend het as-, koolstof-, waterstof- en zwavelgehalte dienen te bepalen ofwel het zuurstof- en stikstofgehalte.

In dit kader werd een koepelnorm (CMA/2/II/A.5) uitgeschreven met verwijzing naar de van toepassing zijnde EN normen die werden ontwikkeld binnen CEN TC 343 solid recovered fuels. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de parameters en de bijhorende referentiemeetmethoden noodzakelijk voor de bepaling van de stookwaarde bij constante druk op afvalstoffen.

<i>Parameter</i>	<i>CMA methode</i>	<i>Europese normering en Internationale normering</i>
stookwaarde Cte P		CEN/TS 15400
asgehalte		CEN/TS 15403
vochtgehalte		CEN/TS 15414-1 CEN/TS 15414-2 CEN/TS 15414-3
C, H -gehalte		CEN/TS 15407
S -gehalte	CMA 2/II/B.2	CEN/TS 15408

Gezien het belang (en de financiële implicaties) van een juiste bepaling en berekening van het aandeel groenestroom zal een proefronde worden georganiseerd tussen erkende laboratoria op (5-tal) vaste herwonnen brandstoffen voor de bepaling van de stookwaarde bij constante druk.

Het doel van deze proefronde is problemen bij elk van deze verschillende bepalingen (vermeld in bovenstaande tabel) te bespreken binnen de werkgroep als voorbereiding van de opname van de stookwaarde bij constante druk ter vervanging van de bepaling van de calorische waarde in het erkenningspakket 9 (specifieke verbrandingsparameters).

2 WAT IS STOOKWAARDE?

2.1 Inleiding

Bij de verbranding van afval komt warmte vrij die gebruikt kan worden voor stroom productie. De hoeveelheid warmte die een eenheid materiaal bij verbranding levert (calorische waarde) kan op verschillende manieren bepaald worden. Bij het bepalen van de calorische waarde is het van belang op welke basis de waarde gebaseerd is; op natte of droge basis bijvoorbeeld. Bij gemengde afvalstromen kan onderscheid gemaakt worden tussen het aandeel van fossiele en niet-fossiele herkomst. Het aandeel niet-fossiel is bestempeld als hernieuwbaar en kan aangewend worden voor groenestroomproductie.

De bepaling van de verbrandingswarmte van vast afval wordt uitgevoerd bij een constant volume en waarbij al het water van de verbrandingsproducten zich in vloeibare toestand bevindt (bij een referentietemperatuur van 25°C en gebruik makend van een bomcalorimeter gekalibreerd door verbranding van gecertificeerd benzoëzuur).

In de praktijk echter wordt vast afval verbrand bij constante (atmosferische) druk en is het water ofwel niet gecondenseerd (verwijderd als damp met de rookgassen) ofwel gecondenseerd. In beide gevallen is de te gebruiken operationele verbrandingswarmte de stookwaarde bij constante druk. Om deze waarde te berekenen zijn naast de verbrandingswarmte eveneens het zuurstof-, waterstof- en stikstofgehalte of het koolstof-, zwavel-, waterstof- en asgehalte noodzakelijk.

2.2 Definities

Elke materiaalstroom kan opgesplitst worden in een aandeel water, droge stof en as. Deze fracties spelen een rol bij het bepalen van de calorische waarde van het materiaal en zullen hieronder verduidelijkt worden.

Vochtgehalte (w)

Elke materiaalstroom bevat een aandeel water. Dit water levert geen bijdrage aan de verbrandingswaarde van het materiaal. Bij verbranding moet het water verdampt worden waar warmte voor nodig is. Deze warmte kan niet nuttig aangewend worden tenzij het vocht uit de rookgassen gecondenseerd wordt waarbij de verdampingswarmte weer vrij komt. Het vochtgehalte geeft de massaverhouding van het water ten opzichte van de totale massa van het materiaal zoals geleverd.

Droge stof (ds)

Droge stof is het materiaal ontdaan van het water. Dit bevat zowel de brandbare elementen C, H, O, S en N als de niet brandbare delen (asrest). Het aandeel droge stof is de massaverhouding van de droge stof ten opzichte van de totale massa van het materiaal zoals geleverd.

Brandbare fractie (droog asvrij - dav)

De brandbare fractie omvat de droge stof exclusief de asrest (dav). Enkel de brandbare delen worden hierin betrokken (elementen C, H, O, S en N). De brandbare fractie geeft de

massaverhouding weer van de massa brandbaar materiaal ten opzicht van de massa droge stof.

Asrest (a)

De asrest omvat alle niet verbrande resten na complete verbranding van het materiaal. Mineralen en zware metalen concentreren zich in de asrest. Ook zal het aanwezige metaal, glas en aardewerk uit de afvalstroom zich concentreren in de assen. Het asgehalte wordt gegeven als de massaverhouding asrest ten opzichte van de massa droge stof.

Vrije water en reactie water

Vrij water bestaat uit het water dat in de biomassa aanwezig is. Naast het vrije water ontstaat er water bij verbranding doordat gebonden waterstofatomen reageren met zuurstof. Dit wordt reactiewater genoemd. De hoeveelheid reactiewater is afhankelijk van de hoeveelheid gebonden waterstof aanwezig in het te verbranden materiaal.

Calorische waarde

Bij verbranding van materiaal komt er warmte vrij. De calorische waarde van een stof geeft aan hoeveel warmte dit materiaal per massa-eenheid produceert bij verbranding onafhankelijk van de toepassing. Er zijn echter een aantal verschillende methoden om deze calorische waarde aan te geven. Zo kan de waarde betrokken worden op basis van de biomassa zoals deze beschikbaar is (nat), op basis van gedroogd materiaal (droog) of op basis van het brandbaar materiaal (dav). Bij het aangeven van de calorische waarde van een materiaal is het van belang op welke basis deze waarde is gebaseerd.

De hoeveelheid vrijgekomen warmte hangt af van de toestand waarin de rookgassen en vooral het water in de rookgassen zich bevindt. Indien de rookgassen op hoge temperatuur afgevoerd worden zal het vrije- en reactiewater gasvormig afgevoerd worden. De vrijgekomen warmte is op basis van de stookwaarde. Indien de rookgassen gecondenseerd worden waarbij de condensatiewarmte nuttig gebruikt wordt is dit op basis van de verbrandingswarmte. Op basis van de toestand van het materiaal en de toestand van de rookgassen kunnen er een aantal verschillende calorische waarden aangegeven worden.

Verbrandingswarmte

Een afgewogen hoeveelheid van het analysestaal van de vaste herwonnen brandstof wordt verbrand onder hoge zuurstofdruk in een bom calorimeter onder specifieke condities. De werkelijke warmtecapaciteit van de calorimeter is bepaald in kalibratie experimenten door verbranding van gecertificeerd benzoëzuur onder gelijke omstandigheden, aangegeven in het certificaat. De juiste temperatuurstijging wordt vastgesteld door observatie van de temperatuur voor, tijdens en nadat de verbrandingsreactie plaatsvindt. De tijd en de frequentie van de temperatuur observaties is afhankelijk van het type calorimeter. Water wordt aan de bom toegevoegd om een verzadigde waterdampfase te krijgen voor de verbranding start, waardoor al het gevormde water, van de waterstof en het vocht in het staal, worden opgevangen als vloeibaar water.

De verbrandingswarmte wordt berekend uit de gecorrigeerde temperatuurstijging en de werkelijke warmtecapaciteit van de calorimeter, met aftrek van de bijdrage van ontstekingsenergie, verbranding van de ontsteker en voor thermische effecten van nevenreacties zoals de vorming van salpeterzuur. Verder wordt een correctie uitgevoerd

voor de bijdrage van het verschil in energie tussen het waterige zwavelzuur dat gevormd wordt in de bomreactie en het gasvormige zwaveldioxide, dwz het vereiste reactieproduct van zwavel in de vaste herwonnen brandstof. Het overeenkomstige energie effect tussen waterig en gasvormig zoutzuur is verwaarloosbaar voor vaste herwonnen brandstoffen.

Algemeen wordt de verbrandingswarmte bij constant volume gedefinieerd als de absolute waarde van de specifieke verbrandingsenergie, in joules, per massa-eenheid van een vaste stof, verbrand in zuurstofatmosfeer in een calorimeterbom onder de beschreven condities. De verbrandingsproducten worden verondersteld te bestaan uit gasvormig zuurstof, stikstof, koolstofdioxide en zwaveldioxide, vloeibaar water (in evenwicht met zijn damp) verzadigd met koolstofdioxide onder de bomreactiecondities, en van vaste assen, alles bij de referentietemperatuur (25°C).

Stookwaarde

De stookwaarde bij constant volume en de stookwaarde bij constante druk van het vast afval worden bekomen door berekening vertrekkende van de verbrandingswarmte op het analysestaal bij een constant volume. De bepaling van de stookwaarde bij constant volume vereist informatie over de vochtigheid en het waterstofgehalte van het analysestaal. In principe dient men voor de berekening van de stookwaarde bij constante druk ook over informatie te beschikken over het zuurstof- en stikstofgehalte van het staal.

Stookwaarde bij constant volume

de absolute waarde van de specifieke verbrandingsenergie, in joule, per massa-eenheid van vaste stof, verbrand in zuurstofatmosfeer onder constant volume en zodanig dat al het water van de reactieproducten achterblijft als waterdamp (in een veronderstelde toestand bij 0,1MPa), de andere producten blijven zoals voor de verbrandingswarmte, alles bij de referentietemperatuur (25°C).

Stookwaarde bij constante druk

de absolute waarde van de specifieke verbrandingswarmte (enthalpie), in joule, per massa-eenheid van vaste stof, verbrand in zuurstofatmosfeer bij constante druk onder zodanige condities dat al het water van de reactieproducten achterblijft als waterdamp (bij 0,1 MPa), de overige producten zijn zoals bij de verbrandingswarmte, alles bij de referentietemperatuur (25°C).

Bij de karakterisatie van een materiaal (afval of brandstof) zijn er verschillende verbrandingswaardes die van belang zijn, waaronder de bovenste verbrandingswaarde (BVW) en de onderste verbrandingswaarde (OVW). (In het Engels respectievelijk 'gross caloric value' en 'net caloric value'.)

De BVW is de absolute waarde van de specifieke energie (in Joule) per massa-eenheid van een stof die in een bomcalorimeter verbrand wordt met zuurstof, met de verbrandingsproducten op omgevingstemperatuur (d.w.z. dat zuurstof, stikstof, koolstofdioxide en zwaveldioxide verondersteld worden in gasvorm aanwezig te zijn, en dat water als vloeistof aanwezig is).

Deze waarde bevat dus intrinsiek de condensatiewarmte van het gevormde water (vrij water + reactiewater). Vrij water bestaat uit het water dat in het materiaal aanwezig is. Naast het vrije water ontstaat er water bij verbranding doordat gebonden waterstofatomen reageren met zuurstof. Dit wordt reactiewater genoemd. De hoeveelheid reactiewater is afhankelijk van de hoeveelheid gebonden waterstof aanwezig in het te verbranden materiaal.

De OVW is de absolute waarde van de specifieke energie (in Joule) per massa-eenheid van een stof die in een bomcalorimeter verbrand wordt met zuurstof onder condities van constant volume én waarbij alle water van de reactieproducten als waterdamp aanwezig is. De andere voorwaarden zijn identiek als voor de BVW.

De omrekening voor de BVW tussen nat, droog en droog asvrij (dav) gebeurt op basis van het vochtgehalte (w) en het asgehalte (a).

$$BVW_{\text{droog}} = BVW_{\text{dav}} \cdot \left(1 - \frac{a}{100}\right)$$

$$BVW_{\text{nat}} = BVW_{\text{droog}} \cdot \left(1 - \frac{w}{100}\right)$$

Het product van de BVW met het overeenkomende massa-aandeel (M) geeft dus telkens dezelfde hoeveelheid bovenste verbrandingswarmte (Q_B).

$$Q_{B\text{dav}} = BVW_{\text{dav}} \cdot M_{\text{dav}}$$

$$Q_{B\text{droog}} = BVW_{\text{droog}} \cdot M_{\text{droog}}$$

$$Q_{B\text{nat}} = BVW_{\text{nat}} \cdot M_{\text{nat}}$$

$$Q_{B\text{dav}} = Q_{B\text{droog}} = Q_{B\text{nat}}$$

In de praktijk wordt de BVW van het gedroogde materiaal experimenteel bepaald ($= q_{V,\text{gr,d}}$), en worden de andere verbrandingswaardes afgeleid van deze BVW_{droog} ($= q_{V,\text{gr,d}}$).

De berekening van de OVW_{droog} ($q_{p,\text{net,d}}$) gebeurt op basis van de BVW_{droog} ($q_{V,\text{gr,d}}$) en het waterstofgehalte (w(H)), en eventueel ook het zuurstof- (w(O)) en stikstofgehalte (w(N)) indien deze beschikbaar zijn.

$$q_{p,\text{net,d}} = q_{V,\text{gr,d}} + 6.15 \times w(\text{H})_d - 0.8 \times [w(\text{O})_d + w(\text{N})_d] - 218.3 \times w(\text{H})_d$$

$$= q_{V,\text{gr,d}} - 212.2 \times w(\text{H})_d - 0.8 \times (w(\text{O})_d + w(\text{N})_d)$$

$$= q_{V,\text{gr,d}} - 212.2 \times w(\text{H})_d - 0.8 \times [100 - w(\text{as})_d - w(\text{C})_d - w(\text{H})_d - w(\text{S})_d]$$

Opmerking 1: $[w(\text{O})_d + w(\text{N})_d]$ wordt afgeleid door het percentage as, koolstof, waterstof en zwavel af te trekken van 100.

Bij de omrekening van OVW_{droog} ($q_{p,\text{net,d}}$) naar OVW_{nat} ($q_{p,\text{net,m}}$) wordt rekening gehouden met de verdampingswarmte (of condensatiewarmte) van het water (M = watergehalte).

$$q_{p,\text{net,m}} = \{q_{V,\text{gr,d}} - 212.2 \times w(\text{H})_d - 0.8 \times [100 - w(\text{as})_d - w(\text{C})_d - w(\text{H})_d - w(\text{S})_d]\} \times (1 - 0.01M) - 24.43 M$$

$$= q_{p,\text{net,d}} \times (1 - 0.01M) - 24.43 \times M$$

$q_{p,net,m}$ is de stookwaarde, bij constante druk, van het monster met een vochtgehalte M in J per gram.

$q_{V,gr,d}$ is de verbrandingswarmte bij constant volume, van het vochtvrij staal in J per gram.

$w(H)_d$ is het gehalte waterstof van het droog staal (ook de waterstof afkomstig van het water van de hydratatie van de minerale materie als van de waterstof afkomstig van het staal) in procent.

$w(O)_d$ is het zuurstofgehalte van het vochtvrij staal in procent.

$w(N)_d$ is het stikstofgehalte van het vochtvrij staal in procent.

$w(as)_d$ is het asgehalte van het vochtvrij staal in procent.

$w(C)_d$ is het koolstofgehalte van het vochtvrij staal in procent.

$w(H)_d$ is het waterstofgehalte van het vochtvrij staal in procent.

$w(S)_d$ is het zwavelgehalte van het vochtvrij staal in procent.

M is het vochtgehalte waarvoor de berekening nodig is, in procent (op de droge basis, $M = 0$; op luchtdroge basis, $M = M_{ad}$; op het bemonsterde of verbrande basis, $M = M_{ar}$ (totaal vochtgehalte zoals oorspronkelijk staal)).

(De enthalpie van de verdamping van het water (bij constante druk) bij 25°C is 44,01 kJ/mol. Dit correspondeert met 218,3 J/g voor een waterstofgehalte van 1% in de herbruikbare vaste verbrandingsstof of met 24,43 J/g voor een vochtgehalte van 1%.)

De onderste verbrandingswarmte van het natte materiaal is dus altijd kleiner dan de onderste verbrandingswarmte van het droge of het droge asvrije materiaal.

$$Q_{O,dav} = OVW_{dav} \cdot M_{dav}$$

$$Q_{O,droog} = OVW_{droog} \cdot M_{droog}$$

$$Q_{O,nat} = OVW_{nat} \cdot M_{nat}$$

$$Q_{O,dav} = Q_{O,droog} > Q_{O,nat}$$

De OVW_{nat} of $q_{p,net,m}$ wordt ook de stookwaarde bij constante druk van het monster met vochtgehalte M genoemd.

In de praktijk wordt de bepaling van de verbrandingswarmte van vast afval in een bomcalorimeter uitgevoerd bij een constant volume waarbij al het water van de verbrandingsproducten wordt gecondenseerd (bij een referentietemperatuur van 25°C en gebruik makend van een bomcalorimeter gekalibreerd door verbranding van gecertificeerd benzoëzuur).

De verbranding van vast afval in industriële installaties gebeurt echter bij constante (atmosferische) druk, en is het water ofwel niet gecondenseerd (verwijderd als damp met de rookgassen) ofwel gecondenseerd. In beide gevallen is de te gebruiken operationele verbrandingswarmte de *stookwaarde bij constante druk*.

Daarom is in de bovenstaande formules de BVW altijd uitgedrukt bij constant volume en de OVW altijd bij constante druk.

In het laatste voorstel van ontwerp van Vlarea-wijziging is de definitie voor ‘calorische inhoud’ opgenomen zodat er een wetenschappelijke invulling is voor de verbrandingsverboden cfr art 5.4.2. De calorische inhoud wordt gedefinieerd als de stookwaarde bij constante druk of de onderste verbrandingswaarde nat.

2.3 Analysemethoden

In het kader van de groenestroomcertificaten zijn voornamelijk de methoden ontwikkeld binnen CEN TC 343 (solid recovered fuels) relevant. In deze technische commissie werden reeds een aantal normen gepubliceerd en zijn een aantal nog in voorbereiding. Voor de bepaling van de stookwaarde zijn volgende methoden relevant :

- CEN/TS 15407:2006 Solid recovered fuels - Method for the determination of carbon (C), hydrogen (H) and nitrogen (N) content
- CEN/TS 15408:2006 Solid recovered fuels - Methods for the determination of sulphur (S), chlorine (Cl), fluorine (F) and bromine (Br) content
- CEN/TS 15413:2006 Solid recovered fuels - Methods for the preparation of the test sample from the laboratory sample
- CEN/TS 15400:2006 Solid recovered fuels - Methods for the determination of calorific value
- CEN/TS 15403:2006 Solid recovered fuels - Methods for the determination of ash content
- CEN/TS 15443:2006 Solid recovered fuels - Methods for laboratory sample preparation
- CEN/TS 15414-1:2006 Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 1: Determination of total moisture by a reference method
- CEN/TS 15414-2:2006 Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 2: Determination of total moisture by a simplified method
- CEN/TS 15414-3:2006 Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample
- CEN/TS 15440:2006 Solid recovered fuels - Method for the determination of biomass content

In dit kader werd een koepelnorm (CMA/2/II/A.5) uitgeschreven met verwijzing naar de van toepassing zijnde EN normen die werden ontwikkeld binnen CEN TC 343 solid recovered fuels. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de parameters en de bijhorende referentiemeetmethoden noodzakelijk voor de bepaling van de stookwaarde bij constante druk op afvalstoffen.

<i>Parameter</i>	<i>CMA methode</i>	<i>Europese normering en Internationale normering</i>
stookwaarde Cte P		CEN/TS 15400
asgehalte		CEN/TS 15403
vochtgehalte		CEN/TS 15414-1 CEN/TS 15414-2 CEN/TS 15414-3
C, H -gehalte		CEN/TS 15407
S -gehalte	CMA 2/II/B.2	CEN/TS 15408

De normmethode (Technische Specificatie) voor de bepaling van de calorische waarde van vaste herwonnen brandstoffen ontwikkeld binnen CEN/TC343 (Solid recovered fuels) is gebaseerd op de normmethoden ISO 1928:1995 en CEN/TS 14918. De normmethode werd aangepast naar de matrix vaste herwonnen brandstoffen met enkele toevoegingen en wijzigingen specifiek gerelateerd aan de eigenschappen van vaste herwonnen brandstoffen. Deze hebben voornamelijk betrekking op de monstervoorbehandeling en suggesties voor het bekomen van een efficiënte bomverbranding.

Overzicht van de relevante normmethoden:

- CEN/TC335 (Solid biofuels) - CEN/TS 14918:2005 Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value
- CEN/TC343 (Solid recovered fuels) - CEN/TS 15400:2006 Solid recovered fuels - Methods for the determination of calorific value
- ISO/TC27 (Solid minerals fuels) – ISO 1928:1995 Solid minerals fuels – Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value.

Daarnaast is de volgende normmethoden beschikbaar voor de matrix slib:

- CEN/TC308 (Sludges) - EN 15170:2008 Characterization of sludges - Determination of calorific value. Deze Europese standard beschrijft een methode voor de bepaling van de bovenste verbrandingswaarde van slib bij constant volume bij een referentietemperatuur van 25°C met een bomcalorimeter door verbranding met benzoëzuur. De berekening van de onderste verbrandingswaarde bij constant volume is beschreven in deze normmethode, terwijl voor de berekening van de onderste verbrandingswaarde bij constante druk wordt verwezen naar ISO 1928 of CEN/TS 14918.

3 BEOORDELING STOOKWAARDE

3.1 Samenstelling vaste herwonnen brandstoffen

Het gebruik van vaste herwonnen brandstoffen ('solid recovered fuels (SRF)') voor de recuperatie van energie uit afval is een groeiende markt. Vaste herwonnen brandstoffen zijn afkomstig van niet-gevaarlijk afval en zijn samengesteld uit een grote diversiteit aan materialen. Deze worden oa. bekomen uit het shredderen van huishoudelijke afvalstoffen. Bijgevolg bestaan vaste herwonnen brandstoffen hoofdzakelijk uit organische componenten en polymeren van huishoudelijk afval zoals plastic en biodegradeerbaar afval. Vaste herwonnen brandstoffen onderscheiden zich van 'Refuse Derived Fuels' (RDF) omdat deze laatste om te worden gekwalificeerd als vaste herwonnen brandstoffen moeten voldoen aan een aantal specifieke milieu- en procesrelevante criteria, zoals minimum vereisten betreffende de samenstelling van een aantal kritische elementen (Hg, Tl, Cd) en de net calorische waarde.² Vaste herwonnen brandstoffen onderscheiden zich van het onbehandelde niet-gevaarlijk afval omdat vaste herwonnen brandstoffen om rendabel te zijn aan een aantal eisen moeten voldoen wat betreft homogeniteit, energie efficiëntie en milieuparameters. In vergelijking met onbehandeld niet-gevaarlijk afval, hebben vaste herwonnen brandstoffen een lager watergehalte, een hogere calorische waarde en een meer homogene vorm. Bijgevolg zal het verbrandingsproces bij vaste herwonnen brandstoffen efficiënter zijn in vergelijking met onbehandeld niet-gevaarlijk afval.

In het kader van het Actieplan Groene Stroom werd in 2006 - 2007 door OVAM een actualisatie uitgevoerd van de inventarisatie van biomassa-afvalstromen. De resultaten hiervan zijn beschreven in het rapport *Inventarisatie Biomassa 2006-2007*.³ In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de biomassa-afvalstromen die in de inventarisatiestudie werden behandeld.

Tabel 1: Overzicht van de biomassa-afvalstromen

Huishoudelijke afvalstoffen
Groenafval
GFT-afval (gescheiden ingezameld)
Gebruikte frituurvetten en -oliën (GVFO)
Organisch-biologische fractie van het restafval
Bedrijfsafvalstoffen
Groenafval
Bermmaaisel
Zeefoverloop compostering
Houtafval (onbehandeld hout, niet-verontreinigd behandeld hout)
Dierlijk afval (categorie 1 & 2, categorie 3)
GFVO (horeca, voedingsmiddelenindustrie)
Slib (waterzuiveringsslib uit voedingsindustrie, RWZI-slib)
Organisch-biologische fractie van het restafval (bedrijfsafval)
Andere organisch-biologische afvalstromen
Plantenschroot
Koffievliezen en koffiedik
Olijfpitten en olijpulp

Om de samenstelling van het huishoudelijk afval in kaart te brengen, werden sorteer campagnes van huishoudelijk afval uitgevoerd in Vlaanderen. Van de afzonderlijke fracties werd vervolgens de chemische samenstelling bepaald. Voor de sorteeranalyse 2005 - 2006 werd 40.000 kilogram huisvuil, verdeeld over drie seizoenen (herfst, winter en lente), uitgesorteerd over 4 regio's (Foto 1). Voor de bepaling van de calorische waarde en de chemische samenstelling werden hierbij volgende fracties als relevant gezien:

1. Composteerbaar organisch keukenafval
2. Niet-composteerbaar organisch keukenafval
3. Tuinafval
- 4-7. Papier en karton
12. Kunststofflessen en -flacons
13. kunststoffolies
14. rest plastic verpakkingen
15. rest plastic niet verpakkingen
16. textiel
17. KGA
18. Hygiënische fractie
19. Drankkartons
20. Gemengde en rest verpakking
- 23-24. Hout
- 25 AEEA (electrische apparaten)
- 26 Overige fractie
- 27 Vuilniszakken

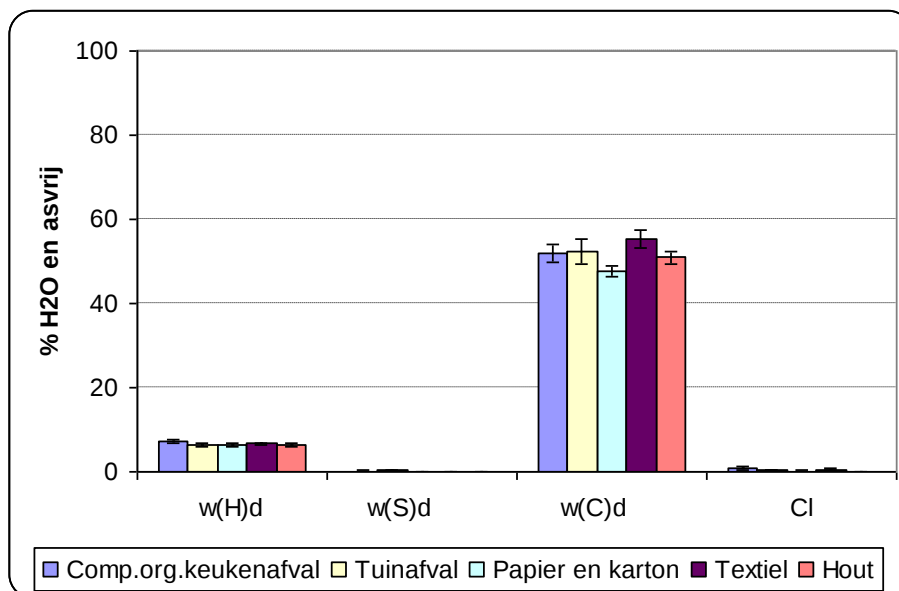


Foto 1: Sorteeranalyse in Vlaanderen in 2005-2006

Theoretisch kan afval worden opgesplitst in 4 materiaalgroepen:

- Biogene fractie (organisch-biologische of hernieuwbare fractie)
- Fossiele fractie (organisch niet-biologische fractie)
- Inerte fractie (anorganische fractie of asgehalte)
- Water

Enkel de eerste fractie, de biogene fractie, komt in aanmerking voor het aandeel hernieuwbaar in afval.⁴ Voor de sorteeraanlyse in Vlaanderen is de chemische samenstelling van de biogene fractie weergegeven in Figuur 1 en van de fossiele fractie in Figuur 2.

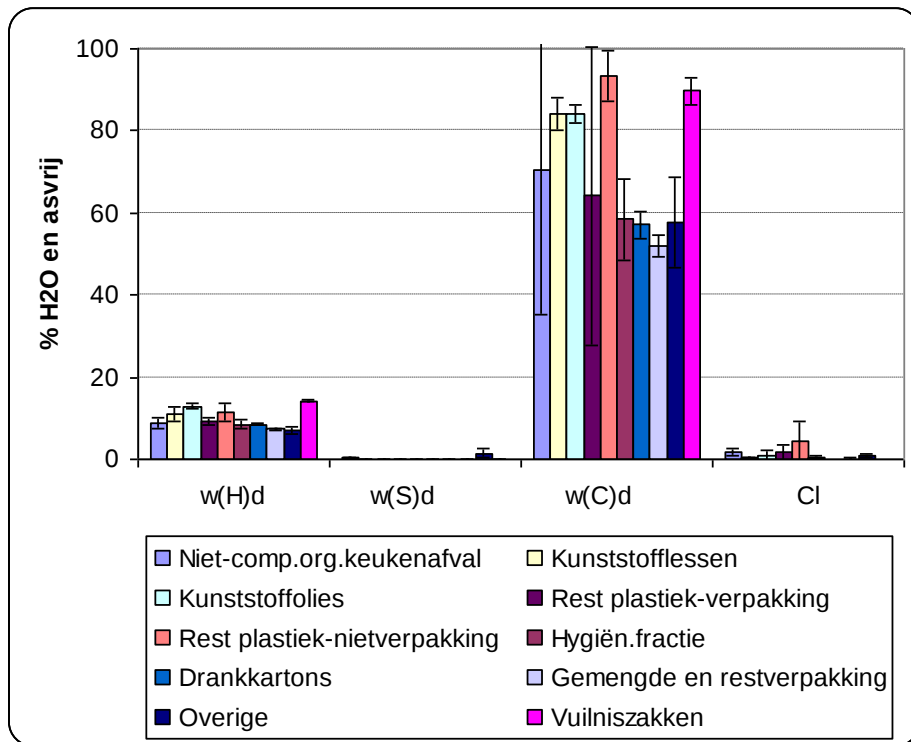


Figuur 1: Chemische samenstelling van biogene fractie (Bron: sorteeraanlyse 2006 in Vlaanderen)

De bekomen data (Tabel 2) tonen aan dat de samenstelling van de biogene massa zich onderscheidt van de fossiele massa. Bij de biogene massa werd een gemiddeld C-gehalte van 51.6 % ds-asvrij bekomen en een gemiddeld H-gehalte van 6.6 % ds-asvrij, terwijl bij de fossiele massa dit respectievelijk 71% en 10% bedraagt.

Tabel 2: Chemische samenstelling van biogeen en fossiel materiaal

	Eenheid	Biogene massa		Fossiele massa	
		Gemidd.	Stdev	Gemidd.	Stdev
C	% ds-asvrij	51.6	2.8	71	15.3
H	% ds-asvrij	6.6	0.36	10	2.4
S	% ds-asvrij	0.13	0.09	0.22	0.41



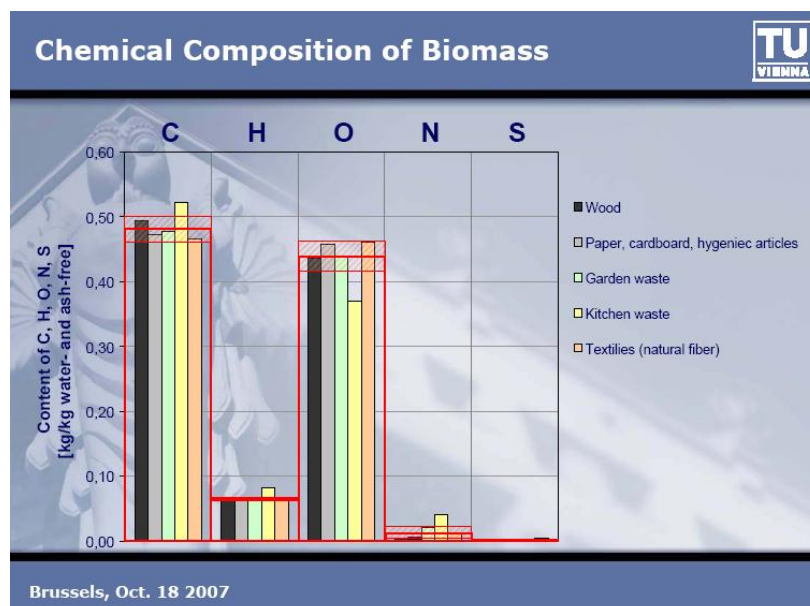
Figuur 2: Chemische samenstelling van fossiele fractie (Bron: sorteeraanlyse 2006 Vlaanderen)

Vergelijkbare data werden bekomen tijdens een sorteeractie uitgevoerd in Oostenrijk. Data van de chemische samenstelling van het water- en asvrij biogeen en fossiel materiaal zijn weergegeven in Tabel 3.⁵

Tabel 3: Chemische samenstelling van biogeen en fossiel materiaal

	Eenheid	Biogene massa		Fossiele massa	
		Gemidd.	Stdev	Gemidd.	Stdev
C	% ds-asvrij	46.8	0.69	76.9	2.0
H	% ds-asvrij	6.6	0.11	10.9	0.7
O	% ds-asvrij	44.6	0.83	8.8	2.2
N	% ds-asvrij	1.2	0.16	1.3	0.54
S	% ds-asvrij	0.33	0.07	0.3	0.11

De chemische samenstelling van de biogene massa, samengesteld uit de fracties hout, papier en karton, tuinafval, keukenafval en textiel, is voor elk van deze fracties weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Chemische samenstelling van biomassa (Bron: TU Vienna)

3.2 Belang van de parameter koolstof en waterstof (H)

Voor de berekening van de parameter stookwaarde ($q_{p,net,m}$) dient de bovenste verbrandingswaarde ($q_{V,gr,d}$) gecorrigeerd te worden voor een aantal factoren waaronder de fractie waterstof (H), koolstof (C), zwavel (S), het as- en het vochtgehalte.

$$q_{p,net,m} = \{q_{V,gr,d} - 212 w(H)_d - 0.8[100 - w(as)_d - w(C)_d - w(H)_d - w(S)_d]\} \times (1 - 0.01M) - 24.43 M$$

Gezien voor deze verschillende correctiefactoren diverse analyses (H, C, S en asrest bepaling) dienen uitgevoerd te worden en bijgevolg de analysekost hierdoor verhoogt, is het aangewezen om de relevantie van deze parameters in kaart te brengen. Specifiek voor de parameter waterstof (H) stelt zich het probleem dat alle erkende laboratoria deze parameter dienen uit te besteden gezien de huidige erkende laboratoria niet zijn uitgerust met het vereiste instrumentarium.

Het belangrijkste verschil tussen de bovenste verbrandingswaarde ($q_{V,gr,d}$) en de stookwaarde ($q_{p,net,m}$) heeft betrekking op de vorming van water tengevolge van de oxidatie tot water van de waterstof die in het droge monster aanwezig is. Deze latente verdampingswarmte wordt bijgevolg bij de berekening van de stookwaarde extra in mindering gebracht (1^{ste} correctieterm). De zuurstof en stikstof in het vochtvrij staal toegevoegd aan de gasfase van het systeem moet in principe mee in rekening gebracht worden. Het gehalte aan O en N kan afgeleid worden door het percentage as, koolstof, waterstof en zwavel af te trekken van 100 (2^{de} correctieterm).

De formule welke wordt toegepast voor de berekening van de stookwaarde kan opgesplitst worden in de volgende 4 delen:

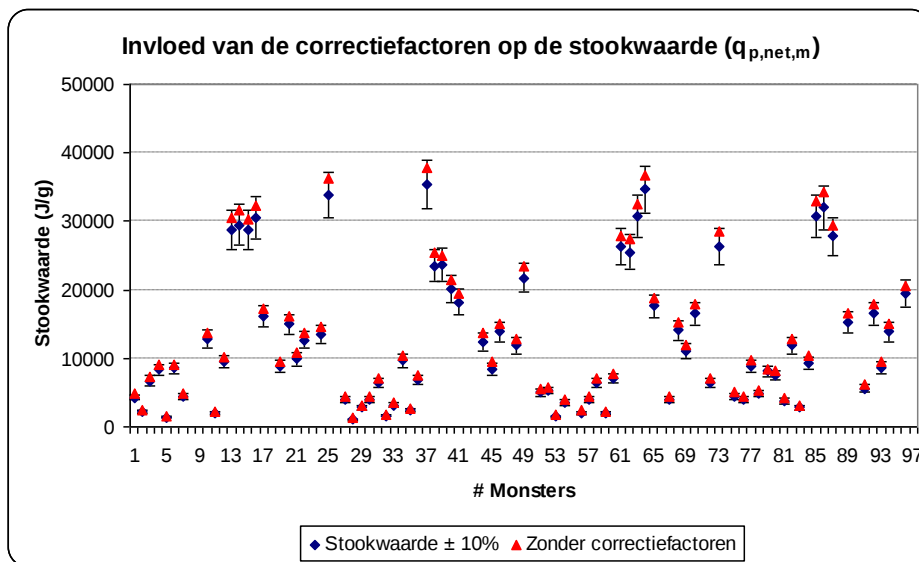
- $q_{V,gr,d}$ of bovenste verbrandingswaarde (droog): de analytische meetwaarde bepaald op het droge monster.
- $212 w(H)_d$: 1ste correctieterm

- $0.8[100-w(as)_d-w(C)_d-w(H)_d-w(S)_d]$: 2de correctieterm
- M of vochtgehalte: de bijdrage van het vochtgehalte welke een belangrijke factor is in de beoordeling van het aandeel groenestroom van een afvalstof en dus steeds dient bepaald te worden.

Om de verschillende correlaties en het belang van de parameter waterstof en koolstof in kaart te brengen werd de dataset van de huisvuilsorteeranalyse van 2005-2006 aangewend voor bijkomende berekeningen. Deze dataset omvat gegevens ($q_{p,net,m}$, $w(H)_d$, $w(C)_d$, $w(S)_d$, $w(as)_d$, M) van de verschillende huisvuilfracties (fractie 1 t.e.m. 27) uitgesorteerd over 4 regio's (GFT landelijk, Groen landelijk, GFT stedelijk, Groen stedelijk) en verdeeld over 3 seizoenen. Gebruikmakend van deze gegevens werden verschillende berekeningen/correlaties uitgevoerd om een beeld te krijgen van de relevantie van de diverse factoren.

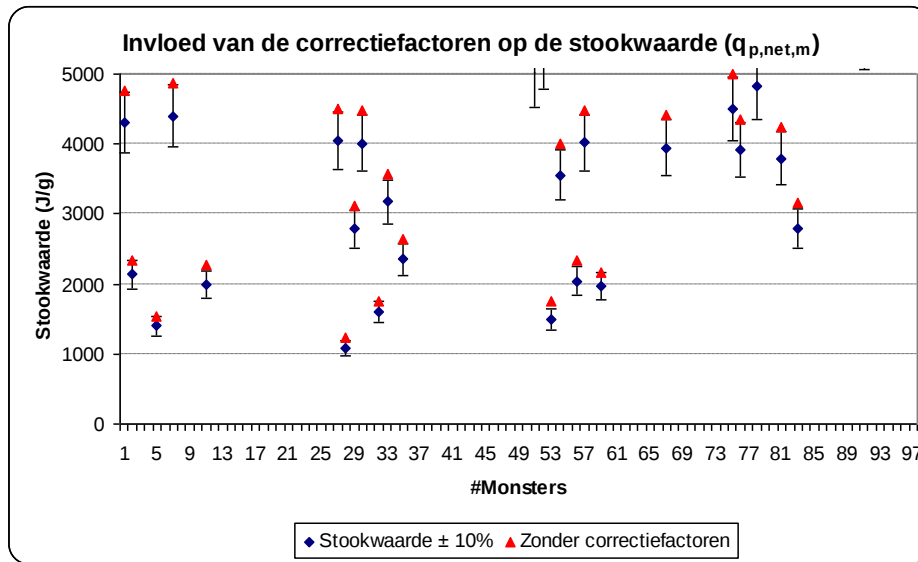
Evaluatie van de bijdrage van de 1^{ste} correctieterm

Voor de berekening van de stookwaarde ($q_{p,net,m}$) wordt bij de bovenste verbrandingswaarde ($q_{v,gr,d}$) het H-gehalte in mindering gebracht (1^{ste} correctieterm). Het niet in rekening brengen van deze term resulteert in een overschatting van de stookwaarde. Toegepast op de dataset van de huisvuilsorteeranalyse resulteert dit bij niet toepassing van de correctietermen in een gemiddelde overschatting van de stookwaarde met 9 % met een minimum van 5 % en een maximum overschatting van 17 %. In Figuur 4 is de stookwaarde weergegeven berekend uit de bovenste verbrandingswaarde met inbegrip van alle correctiefactoren (incl. watergehalte) en daarnaast de stookwaarde berekend uit de bovenste verbrandingswaarde en enkel rekening houdend met het watergehalte (zonder correctiefactoren). In vergelijking met de maximale prestatie-eis van de meetonzekerheid (i.e. 30 %), is deze bijdrage substantieel.



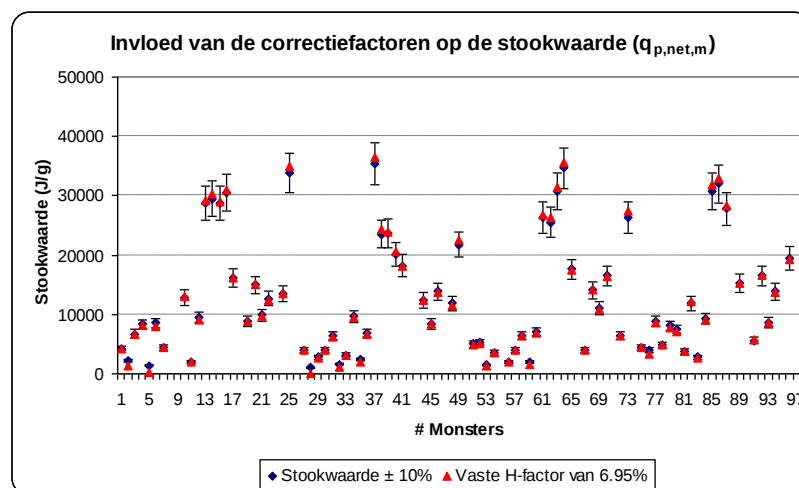
Figuur 4: Invloed van de correctiefactoren op de stookwaarde

In Figuur 5 zijn specifiek de meetresultaten in het lage concentratiegebied uitvergroot.

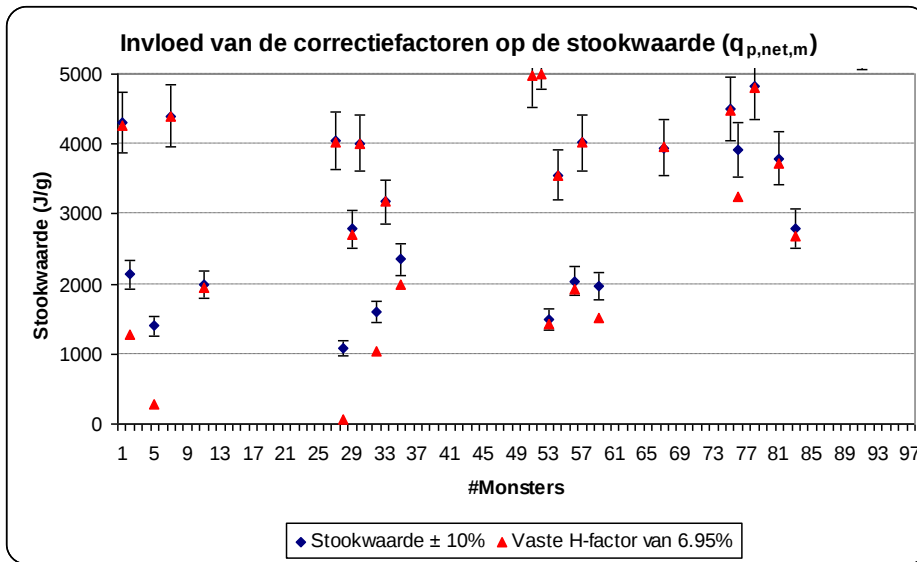


Figuur 5: Invloed van de correctiefactoren op de stookwaarde (lage concentratie)

Als alternatief kan mogelijks gewerkt worden met een vaste correctiefactor voor het waterstofgehalte. Uit de bekomen H-gehalten (± 90 meetwaarden van de sorteeraanlyse) werd de gemiddelde waarde berekend i.e. $6.95\% \pm 2.9\%$. Bij berekening van de stookwaarde gebruikmakend van deze vaste factor van 6.95% werd een gemiddelde onderschatting van de stookwaarde van -4% bekomen (Figuur 6), met uitschieters tot -94% bij stookwaarden minder dan 2000 J/g ds (Figuur 7).



Figuur 6: Stookwaarde berekend met vaste H-factor (6.95%) tov correcte stookwaarde



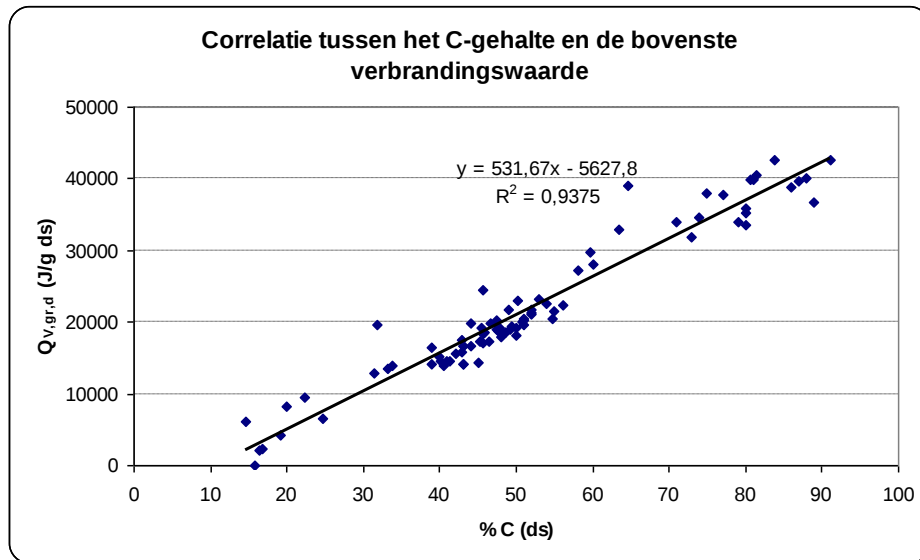
Figuur 7: Stookwaarde berekend met vaste H-factor (6.95%) tov correcte stookwaarde (lage concentratiegebied)

De bijdrage van het waterstofgehalte bij de berekening van de stookwaarde werd enkel geëvalueerd op de dataset van de sorteeraanlyse. Zoals getoond in Tabel 1 zijn de biomassa-afvalstromen zeer divers en in praktijk niet beperkt tot de afvaltypes van de sorteeraanlysen.

Evaluatie van de bijdrage van de 2^{de} correctieterm

Bij evaluatie van de bijdrage van de 2^{de} correctieterm $\{0.8 \times [100 - w(\text{as})_d - w(\text{C})_d - w(\text{H})_d - w(\text{S})_d]\}$ kan men vaststellen dat deze steeds lager is dan 80 J/g en bijgevolg beperkt is t.o.v. de bovenste verbrandingswaarde ($q_{V,gr,d}$) die in dit kader veelal groter is dan 5000 J/g. In vergelijking met de maximale prestatie-eis van de meetonzekerheid (30%) is deze bijdrage verwaarloosbaar.

Bijkomend kan uit het gehalte aan koolstof een inschatting verkregen worden van de bovenste verbrandingswarmte. De C-gehalten bepaald op de verschillende fracties van de sorteeraanlyse (± 90 meetwaarden) werden gecorreleerd met de bovenste verbrandingswaarde (Figuur 8). Hieruit kan afgeleid worden dat een inschatting kan verkregen worden van de bovenste verbrandingswaarde van een hoeveelheid huisvuil vertrekkende vanuit het gehalte C.



Figuur 8: Correlatie tussen het C-gehalte en de bovenste verbrandingswaarde

Besluit belang correctiefactoren

In vergelijking met de maximale prestatie-eis van 30% voor de parameter stookwaarde stellen wij vast dat bij de berekening van de stookwaarde uit de bovenste verbrandingswaarde (droog):

- de grootste bijdrage door het vochtgehalte M bepaald wordt;
- de bijdrage van het H-gehalte substantieel is, gemiddeld 9% met een minimum van 5% en een maximum van 17%. Bij toepassing van een vaste factor (bv. 6.95%) kan een gemiddelde onderschatting van de stookwaarde van -4 % bekomen, met uitschieters tot -94 % bij stookwaarden minder dan 2000 J/g ds. Deze vaste factor werd afgeleid uit de data van de sorteeraanlyse. In praktijk zijn de biomassa-afvalstromen zeer divers en niet beperkt tot de afvaltypes van de sorteeraanlysen.
- de bijdrage van de 2de correctieterm $0.8[100-w(as)_d-w(C)_d-w(H)_d-w(S)_d]$ maximaal 2% bedraagt t.o.v. de bovenste verbrandingswaarde (droog).

4 PROEFRONDE VOOR DE BEPALING VAN DE STOOKWAARDE

4.1 Doel proefronde

Tijdens deze proefronde werd het accent gelegd op zowel de monstervoorbehandeling als de analyse. Vijf afvalmonsters werden verdeeld waarbij van 3 monsters telkens een niet voorbehandeld (wel gehomogeniseerd) als een door VITO voorbehandeld monster werd meegegeven. De laboratoria dienden de 5 niet voorbehandelde monsters zelf in bewerking te nemen, terwijl de andere monsters als dusdanig mochten geanalyseerd worden. Op deze manier werd een inzicht verkregen van de invloed van de monstervoorbehandeling op het analyseresultaat.

De laboratoria dienden de analyses uit te voeren conform CMA/2/II/A.5 (versie april 2008) en zoals deze zullen uitgevoerd worden in het kader van de erkenningen (C/H bepaling al dan niet met uitbesteding). Alle individuele getallen werden gerapporteerd zodat de evaluatie op de verschillende parameters van de stookwaarde kan uitgevoerd worden. Op deze manier werd ook een beeld verkregen van de performantie van de labo's waaraan uitbesteed werd.

Aan de volgende laboratoria werden ringtestmonsters verdeeld voor deze proefronde:

- Servaco
- Labo Van Vooren
- Eurofins Oostkamp (Envirotox)
- Indaver
- SGS Nederland
- VITO

Van 1 laboratorium werden geen resultaten ontvangen.

4.2 Beschrijving en voorbehandeling monsters

Volgende afvalmonsters werden op 6 november verdeeld aan de laboratoria:

- Monster 1: Zeefoverloop compostering (niet voorbehandeld) - 1 recipiënt 3 l
- Monster 2: Shredder (niet voorbehandeld) - 1 recipiënt 500 ml
- Monster 3: RDF (niet voorbehandeld) - 1 recipiënt 2 l
- Monster 4: Dierlijk vet (niet voorbehandeld) - 1 recipiënt 500 ml
- Monster 5: Zuiveringsslib (niet voorbehandeld) - 1 recipiënt 1 l
- Monster 6: Zeefoverloop compostering (voorbehandeld, < 0.5 mm) - 1 recipiënt 250 ml
- Monster 7: RDF (voorbehandeld, < 0.5 mm) - 1 recipiënt 500 ml
- Monster 8: Zuiveringsslib (voorbehandeld, < 0.5mm) - 1 recipiënt 250 ml

4.2.1 Zeefoverloop compostering (Igean)

Wegens de grote heterogeniteit van het origineel monster werd vooraf handmatig het inert materiaal (vnl stenen en wat glas) en plastic verwijderd (zie Foto 3).

- het inert materiaal zou de universeel maalmolen kunnen beschadigen

- het plastic is zo heterogeen verdeeld dat het te grote spreiding op de labowaarden zou opleveren.

Ongeveer 9 kg origineel monster werd verwerkt waarvan de inerte fractie (vnl stenen) $\pm$ 400 g bedroeg en de restfractie (vnl plastic + aanklevend compost) ongeveer 280 g (ca 3 L). Deze 2 fracties werden voor de verdere monsterverfijning verwijderd.



Foto 2: Zeefoverloop: origineel monster (links) en na drogen 105°C (rechts)



Foto 3: Restfractie allerlei (links) en restfractie stenen (rechts)



Foto 4: Restfractie plastic

Het staal werd nadien handmatig omgezet en door middel van handgrepen verdeeld over 7 verschillende recipiënten van 3 L. Elk laboratorium ontving een niet voorbehandeld monster van 3 L (i.e. Monster 1).

Eén partij werd gedroogd bij 105 °C en gemalen met de universeel maalmolen tot < 2 cm. Het aanwezige vreemde materiaal werd opnieuw manueel verwijderd. Daarna verder vermalen tot < 2 mm en uiteindelijk tot < 0,5 mm (zie Foto 5). Dit verfijnd materiaal (ca 500 g) werd met de roterende spleetverdeler verdeeld over 8 verschillende recipiënten (63 – 64 g elk, i.e. Monster 6).



Foto 5: Zeefoverloop fractie < 2 cm (a), < 2 mm (b) en < 0.5 mm (c)

4.2.2 Shredderafval BST (fluff)

Het staal (4 L) werd volledig geriffeld en verdeeld over 8 verschillende recipiënten van 500 ml (115- 119 g elk, i.e Monster 2).



Foto 6: Gehomogeniseerd shredder materiaal

4.2.3 RDF (Indaver)

Van het RDF staal werd 15 L manueel omgezet (3x) en met handgrepen verdeeld over 6 potten van 2 L (475 – 485 g elk, i.e. Monster 3) en ook 1 emmer van 4 L (= 1060 g).



Foto 7: Origineel RDF monster

Deze laatste hoeveelheid werd volledig cryogeen vermalen met de universeel maalmolen tot < 4 mm, daarna tot < 2 mm, < 1 mm en $< 0,5$ mm. De hoeveelheid materiaal was te veel om rechtstreeks van 2 naar 0,5 mm te verkleinen. Ca 3 L staal $< 0,5$ mm werd handmatig omgezet en met handgrepen (5 per pot) werden 6 potten van 500 ml gevuld (ca 110 g elk, i.e. Monster 7).



Foto 8: RDF fractie < 4 mm (links) en < 0.5 mm (rechts)

4.2.4 Dierlijk afval (gemengd cat III-vet, Sonac Gent)

Van het dierlijk vet (vaste fractie) werd 5 L gesmolten bij 70 °C. Na het monster goed te hebben opgeschud, werden 6 potten van 500 ml voor $\frac{3}{4}$ gevuld (ca 350 g elk, i.e. Monster 4).



Foto 9: Dierlijk vet

Het watergehalte van het dierlijk vet dient te worden bepaald m.b.v. Karl Fisher titratie. Binnen het VITO laboratorium werd deze bepaling uitgevoerd. Het watergehalte bedroeg 3.7%. Het watergehalte werd eveneens bepaald door laboratorium 1 en bedroeg 3.1%.

4.2.5 Zuiveringsslib (aeroob slib GFT, Igean)

Van het zuiveringsslib werden 6 potten van 1 L gevuld (i.e. Monster 5) en 1 pot van 6 L. Deze laatste werd volledig gedroogd bij 105 °C, vervolgens gemalen met de schijvenmolen en met de roterende spleetverdeler verdeeld over 8 recipiënten (ca 60 g elk, i.e. Monster 8).



Foto 10: Zuiveringsslib: origineel monster (links) en verfijnd monster (rechts)

4.3 Resultaten proefronde

4.3.1 Voorbehandeling monsters 1 t.e.m. 5

De niet voorbehandelde monster (Monster 1 t.e.m. monster 5) werden door de laboratoria als volgt in bewerking genomen.

Monster 1	(zeefoverloop compostering)
LAB 1	<i>Niet geanalyseerd</i>
LAB 2	Drogen 40°C, verkleinen met snijmolen
LAB 3	Voordrogen 40°C, shredder 4 mm, ultracentrifugaalmolen 1 mm
LAB 4	Drogen 105°C, snijmolen < 2 cm, < 2mm, < 0.5 mm
LAB 5	Verkleinen tot < 2 mm met ultracentrifugaalmolen
Monster 2	(shredder)
LAB 1	Opmengen en pellet persen
LAB 2	Verkleinen met snijmolen
LAB 3	-
LAB 4	Drogen 105°C
LAB 5	Verkleinen tot < 2 mm met ultracentrifugaalmolen
Monster 3	(RDF)
LAB 1	Vershredderen, opmengen en pellet persen
LAB 2	Verkleinen met snijmolen
LAB 3	Shredder 4 mm, ultracentrifugaalmolen 1 mm
LAB 4	Cryogeen vermalen met snijmolen < 4 mm, < 2 mm, < 1mm, < 0.5 mm
LAB 5	Verkleinen tot < 2 mm met ultracentrifugaalmolen
Monster 4	(dierlijk vet)
LAB 1	Verwarmen en opmengen
LAB 2	Verwarmen 40°C
LAB 3	Opwarmen 40°C
LAB 4	Opwarmen 70°C
LAB 5	Verwarmen en homogeniseren
Monster 5	(zuiveringsslib)
LAB 1	Drogen en opmengen

LAB 2	Drogen 40°C, verkleinen met schijvenmolen en kogelmolen
LAB 3	Voordrogen 40°C, planetaire kogelmolen (< 125 µm)
LAB 4	Drogen 105°C, verkleinen met schijvenmaalmolen
LAB 5	Verkleinen tot < 2 mm met ultracentrifugaalmolen

In de Europese normmethode voor de bepaling van de stookwaarde van vaste herwonnen brandstoffen CEN/TS 15400:2006 is volgende voorbehandelingsprocedure beschreven:

- De vaste herwonnen brandstof gebruikt voor de bepaling van de calorische waarde zal in het algemeen het laboratoriummonster zijn (verkleind zodat het door een zeef gaat met een maaswijdte van 1,0 mm) welke aangemaakt werd volgens de procedures beschreven in CEN/TS 15443.
- De bereiding van het testmonster voor de bepaling van de calorische waarde van het aandeel biomassa/niet-biomassa zal worden uitgevoerd volgens CEN/TS 15400.
- Ten gevolge van de lage dichtheid van vaste herwonnen brandstoffen worden deze geanalyseerd in tabletvorm. Pers een tablet met een massa van $(1 \pm 0,1)$ g met een geschikte kracht om een compact teststuk te bekomen. Alternatief, kan de analyse ook in poedervorm worden uitgevoerd, in een capsule.
 Opmerking 1: Bij monsters met een hoog gehalte aan plastic of rubber zal de massa van het staal verminderd worden tot 0,4 à 0,8g
 Opmerking 2: Bij monsters met een hoog asgehalte is het aangewezen om een brandversneller te gebruiken.
- Het monster wordt goed gemengd en in een aanvaardbaar vochtigheidsniveau, gelijkwaardig met de laboratoriumatmosfeer. Het vochtgehalte moet worden vastgesteld, gelijktijdig met de weging van de monsters voor de bepaling van de calorische waarde of het monster moet worden bewaard in een klein, efficiënt gesloten container tot vochtanalyses worden uitgevoerd, zodat passende correcties voor vocht in het analysemonster kunnen uitgevoerd worden.
- Bepaal het vochtgehalte van het analysestaal volgens CEN/TS 15414-3.

In de normmethode voor vaste herwonnen brandstoffen wordt aangegeven dat in het algemeen bij de monstervoorbehandeling het monster wordt verfijnd tot < 1 mm. Deze procedure wordt door de verschillende laboratoria veelal toegepast bij de monstertypes zeefoverloop compostering, shredder en RDF, enkel laboratorium 5 verkleint tot 2 mm. Bij het slibmonster werd door de meeste laboratoria het monster verder verfijnd met de schijvenmaalmolen of kogelmolen. Bij het dierlijk vet werd het monster opgewarmd bij een temperatuur van 40°C tot 70°C en gehomogeniseerd voor het nemen van een deelmonster. Uit de resultaten (zie § 4.3.2) komt naar voren dat de verschillende toegepaste monstervoorbehandelingsprocedures bij deze analysemonsters geschikt zijn voor het bekomen van representatieve resultaten.

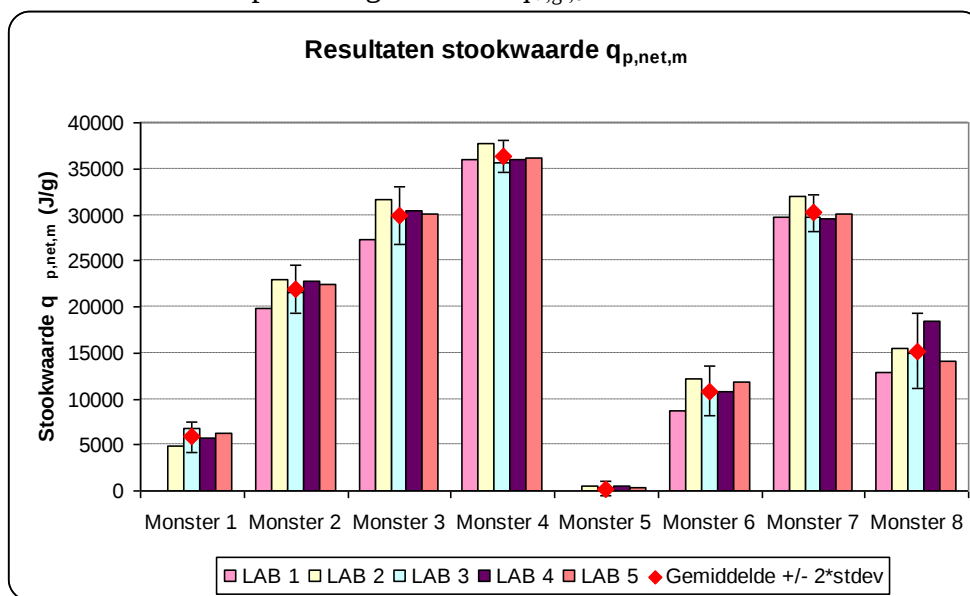
4.3.2 Analyseresultaten proefronde

4.3.2.1 Stookwaarde $q_{p,net,m}$

De bekomen ringtestresultaten van de stookwaarde $q_{p,net,m}$ zijn weergegeven in Figuur 9 en Tabel 4. Uit de bekomen gegevens kan afgeleid worden dat de verschillende monsters door alle laboratoria met een aanvaardbare betrouwbaarheid kunnen gemeten worden. De % RSD bedraagt, met uitzondering van monster 5, steeds minder dan 15%.

Bij monster 5 is de stookwaarde zeer laag en niet gesitueerd in het relevante meetgebied. Bij toepassing van de verschillende correctiefactoren kan zelfs een negatieve waarde bekomen worden bij de uiteindelijk berekende stookwaarde. De oorzaak van deze lage stookwaarde is toe te schrijven aan het hoge vochtgehalte van het oorspronkelijke monster nl.84%. Omwille van het hoge vochtgehalte, zal de fout op de berekening van de stookwaarde significant zijn. Om een inschatting te krijgen van de bijdrage van het vochtgehalte op de stookwaarde, strekt het tot aanbeveling om volgende parameters te rapporteren bij de bepaling van de stookwaarde:

- stookwaarde $q_{p,net,m}$
- vochtgehalte M
- calorische waarde op het droge monster $q_{V,gr,d}$



Figuur 9: Ringtestresultaten stookwaarde $q_{p,net,m}$

Tabel 4: Ringtestresultaten stookwaarde $q_{p,net,m}$

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 J/g	LAB 2 J/g	LAB 3 J/g	LAB 4 J/g	LAB 5 J/g	gemidd. J/g	stdev J/g	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	4812	6700	5745	6227	5871	806,4	13,7
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	19849	23000	21494	22708	22434	21897	1276,8	5,8
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	27350	31574	29973	30506	30045	29890	1557,1	5,2
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	36058	37770	35569	36070	36219	36337	837,6	2,3
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	-437	536	360	443	277	236	388,3	164,7
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	8637	12170	10803	10831	11889	10866	1389,4	12,8
Monster 7	RDF Voorbehandeld	29675	31970	29756	29597	30066	30213	998,3	3,3
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	12888	15460	14941	18364	14137	15158	2037,9	13,4

Opmerkingen:

- Bij laboratorium 1 werden voor de monsters 2, 4, 6, 7 en 8 de resultaten berekend met het waterstofgehalte van VITO;
- Bij laboratorium 2 werd voor monster 5 het resultaat berekend met het vochtgehalte van VITO;
- Bij alle laboratoria werd de stookwaarde van monster 4 (dierlijk vet) berekend zonder rekening te houden met het vochtgehalte.

Om de bijdrage (zowel wat betreft het gehalte als de meetspreiding) van de verschillende factoren bij de berekening van de stookwaarde in kaart te brengen, zullen de verschillende geanalyseerde parameters geëvalueerd worden.

4.3.2.2 Vochtgehalte M

Het vochtgehalte M kan een belangrijke rol spelen bij de berekening van de uiteindelijke stookwaarde op het oorspronkelijke monster. De vochtgehalten van de ringtestmonsters zijn weergegeven in Tabel 5.

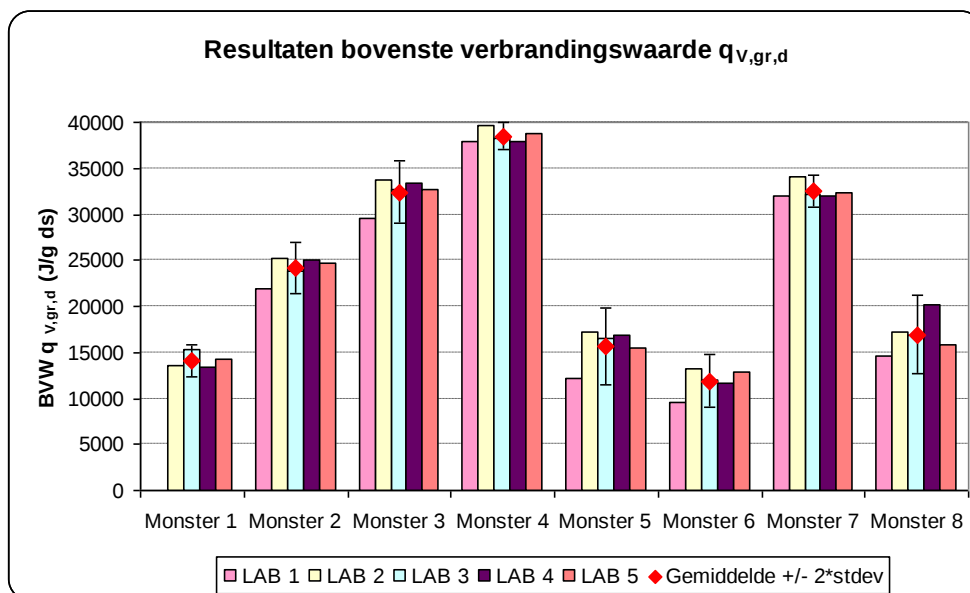
Bij de matrixtypes schredder en RDF is de invloed van het vochtgehalte op de uiteindelijke stookwaarde beperkt, terwijl bij de zeefoverloop compostering en het zuiveringsslib deze een cruciale bijdrage levert. De gemiddelde stookwaarde van het niet voorbehandelde monster 1 ‘zeefoverloop compostering’ (nat monster) bedraagt 5871 J/g, terwijl op het voorbehandelde monster 6 (water werd grotendeels verwijderd) deze 10866 J/g bedraagt. De aanwezigheid van het water in het monster resulteert in een significante daling van de stookwaarde. Een vergelijkbaar patroon wordt genoteerd bij het zuiveringsslib: het niet voorbehandelde monster 5 heeft een gemiddelde stookwaarde van slechts 236 J/g, terwijl het voorbehandelde monster 8 een gemiddelde stookwaarde heeft van 15158 J/g. Het vochtgehalte van 84% van dit monster is de bepalende factor in de uiteindelijke stookwaarde van het oorspronkelijke monster.

Tabel 5: Vochtgehalte van de ringtestmonsters

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 %	LAB 2 %	LAB 3 %	LAB 4 %	LAB 5 %	gemidd. %	stdev %	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	44,1	44,9	45,2	43,8	44,5	0,7	1,5
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	1,9	2,8	2,8	2,9	2,8	2,6	0,4	15,8
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	1,1	1,0	1,9	2,6	1,8	1,7	0,6	38,6
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	3,1	-	-	3,7	-	3,4	0,4	13,2
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	83,9	84,1	84,1	84,1	83,7	84,0	0,2	0,2
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	1,1	1,5	1,6	0,54	1,2	1,2	0,4	35,0
Monster 7	RDF Voorbehandeld	0,56	0,90	0,80	1,1	0,70	0,81	0,2	24,8
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	3,0	3,3	3,8	3,2	2,5	3,2	0,5	15,5

4.3.2.3 Bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$

De analytische bepaling van de calorische waarde omvat de bepaling van de bovenste verbrandingswaarde bij een constant volume bij een referentietemperatuur van 25°C en wordt veelal uitgedrukt t.o.v. droge fractie ($q_{V,gr,d}$). De bekomen ringtestresultaten voor de bovenste verbrandingswaarde zijn weergegeven in Figuur 10 en Tabel 6. De verschillende monstertypes worden door de verschillende laboratoria reproduceerbaar gemeten met % RSDs lager dan 15%.



Figuur 10: Ringtestresultaten bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$

Tabel 6: Ringtestresultaten bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 J/g ds	LAB 2 J/g ds	LAB 3 J/g ds	LAB 4 J/g ds	LAB 5 J/g ds	gemidd. J/g ds	stdev J/g ds	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	13600	15301	13342	14252	14124	873	6,2
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	21845	25200	23824	25022	24721	24122	1379	5,7
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	29505	33700	32752	33461	32723	32428	1690	5,2
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	37935	39700	38192	37964	38783	38515	745	1,9
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	12172	17300	16602	16826	15471	15674	2070	13,2
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	9539	13200	11983	11680	12923	11865	1446	12,2
Monster 7	RDF Voorbehandeld	31929	34100	32100	32022	32395	32509	906	2,8
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	14547	17200	16916	20243	15799	16941	2122	12,5

De meetresultaten bekomen op de overeenkomstige niet-voorbehandelde en voorbehandelde monsters resulteren, rekening houdend met de meetspreiding, in niet significant verschillende resultaten:

Zeefoverloopcompostering:

- Niet voorbehandeld: 14124 J/g ds $\pm$ 6.2 %
- Voorbehandeld: 11865 J/g ds $\pm$ 12 %

RDF:

- Niet voorbehandeld: 32428 J/g ds $\pm$ 5.2 %
- Voorbehandeld: 32509 J/g ds $\pm$ 2.8 %

Zuiveringsslib:

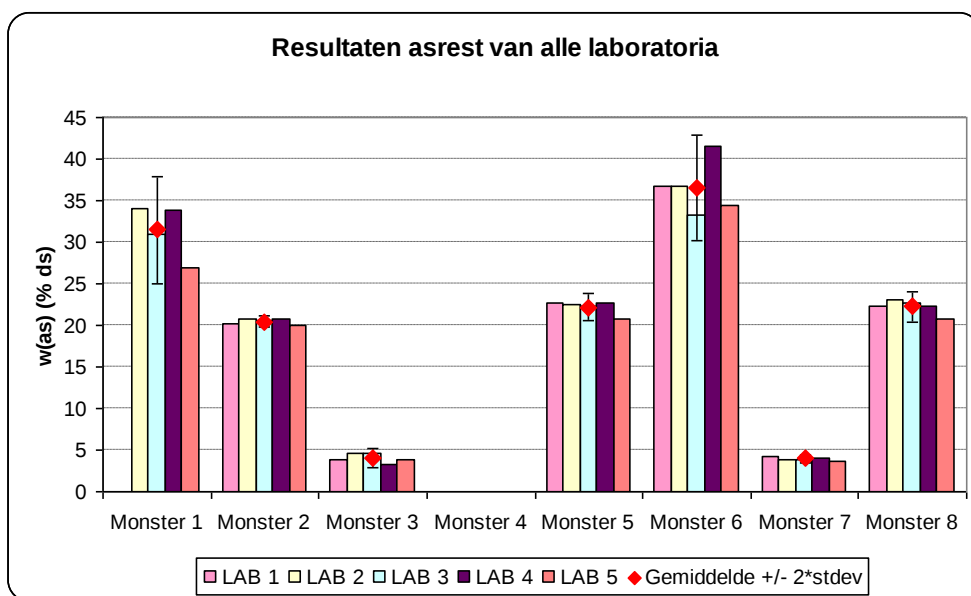
- Niet voorbehandeld: 15674 J/g ds $\pm$ 13 %
- Voorbehandeld: 16941 J/g ds $\pm$ 13 %

Bij het monstertype ‘zeefoverloop compostering’ wordt bij het voorbehandelde monster een iets lagere meetwaarde met een grotere spreiding vastgesteld in vergelijking met het niet-

voorbehandelde monster. Deze afwijking is hoofdzakelijk toe te schrijven aan de lagere meetwaarde van laboratorium 1. Bij verwijdering van deze meetwaarde bedraagt het gemiddelde $12446 \text{ J/g ds} \pm 5.9\%$. Niettegenstaande de grote heterogeniteit van dit matrixtype kan men stellen dat de bekomen resultaten vergelijkbaar en reproduceerbaar zijn.

4.3.2.4 Bepaling van de asrest

De ringtestresultaten van de asrestbepaling zijn weergegeven in Figuur 11 en Tabel 7. Voor de verschillende monsters wordt een aanvaardbare meetspreiding bekomen tussen de resultaten van de verschillende laboratoria ($\% \text{ RSD} < 15\%$). De hoogste meetspreidingen worden vastgesteld bij het niet voorbehandelde RDF monster (lage concentratie) en het monstertype 'zeefoverloop compostering', wat grotendeels kan toegeschreven worden aan de heterogeniteit van het laboratoriummonster.



Figuur 11: Ringtestresultaten van de asrestbepaling

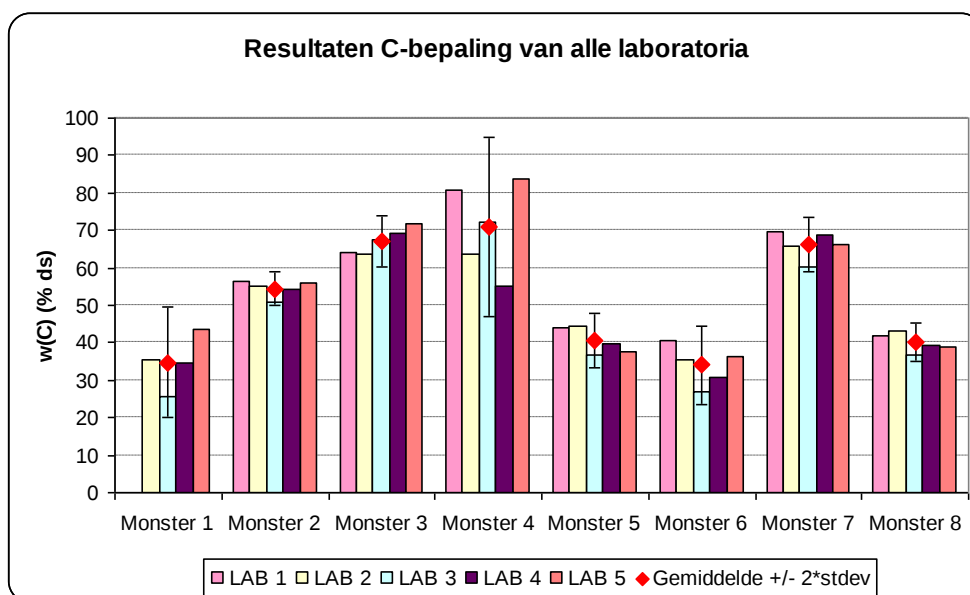
Tabel 7: Ringtestresultaten van de asrestbepaling

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 % ds	LAB 2 % ds	LAB 3 % ds	LAB 4 % ds	LAB 5 % ds	gemidd. % ds	stdev % ds	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	34,0	31,0	33,8	27,0	31,4	3,3	10
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	20,1	20,8	20,6	20,7	20,0	20,4	0,4	1,8
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	3,9	4,6	4,6	3,2	3,8	4,0	0,6	15
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld								
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	22,7	22,5	22,4	22,7	20,7	22,2	0,9	3,8
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	36,7	36,7	33,3	41,5	34,4	36,5	3,1	8,6
Monster 7	RDF Voorbehandeld	4,2	3,9	3,9	4,0	3,7	3,9	0,2	5,0
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	22,4	23,0	22,7	22,4	20,7	22,2	0,9	4,0

De gemiddelde resultaten van de niet voorbehandelde en de overeenkomstige voorbehandelde monsters (resp. zeefoverloop compostering, RDF en zuiveringsslib) liggen in dezelfde lijn. Er worden geen opmerkelijke verschillen vastgesteld.

4.3.2.5 Bepaling van het C-gehalte

De ringtestresultaten van het C-gehalte zijn weergegeven in Figuur 12 en Tabel 8. Het gemiddelde C-gehalte is steeds gelegen boven 34 %C op de droge stof fractie. De interlaboratorium meetspreiding ligt voor de matrixtypes shredder, RDF en zuiveringsslib steeds lager dan 10%. Bij het heterogene monster 'zeefoverloop compostering' en het monster 4 - dierlijk vet - ligt de meetspreiding rond 20%.



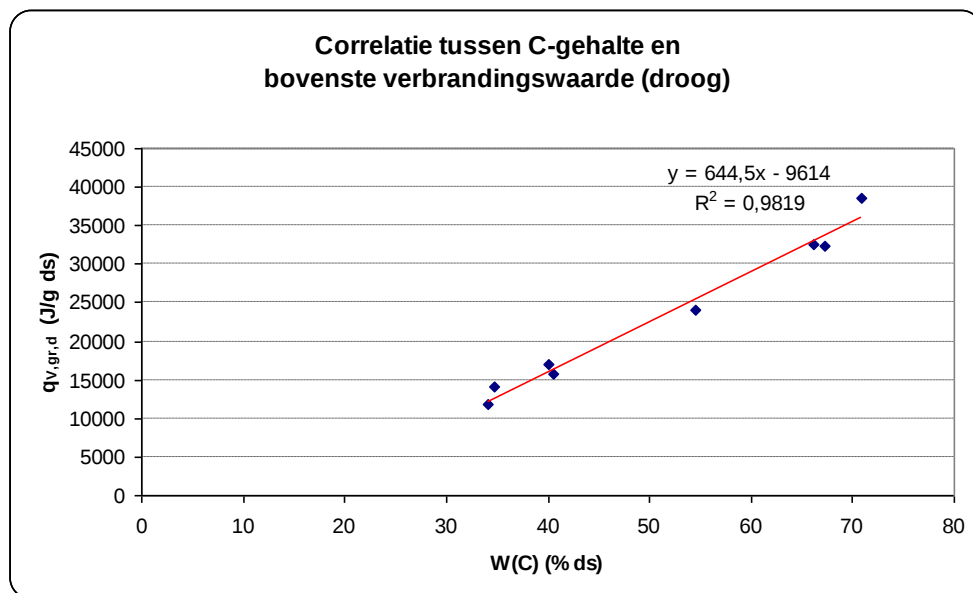
Figuur 12: Ringtestresultaten van het C-gehalte

Tabel 8: Ringtestresultaten van het C-gehalte

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 % ds	LAB 2 % ds	LAB 3 % ds	LAB 4 % ds	LAB 5 % ds	gemidd. % ds	stdev % ds	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	35,4	25,5	34,7	43,4	34,8	7,3	21
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	56,3	55,1	50,8	54,4	55,8	54,5	2,2	4,0
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	64,2	63,7	67,5	69,2	71,8	67,3	3,4	5,1
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	80,6	63,5	72,1	55,0	83,6	71,0	11,9	17
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	44,2	44,3	36,9	39,8	37,4	40,5	3,6	8,8
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	40,7	35,5	27,1	30,7	36,2	34,0	5,2	15
Monster 7	RDF Voorbehandeld	69,5	65,9	60,2	68,8	66,4	66,2	3,7	5,6
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	42,1	43,1	36,8	39,4	38,7	40,0	2,6	6,4

De gemiddelde resultaten van de niet voorbehandelde en de overeenkomstige voorbehandelde monsters (resp. zeefoverloop compostering, RDF en zuiveringsslib) zijn in goede overeenstemming. Er worden geen opmerkelijke verschillen vastgesteld.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 3.2 kan het C-gehalte gecorreleerd worden met de bovenste verbrandingswaarde (droog). Gebruikmakend van de beperkte dataset van deze proefronde werd per monster het gemiddelde C-gehalte uitgezet t.o.v. het gemiddelde gehalte van de bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$ (Figuur 13). Uit deze figuur kan afgeleid worden dat de resultaten van deze proefronde een vergelijkbare correlatie tonen.



Figuur 13: Correlatie tussen het gemiddelde C-gehalte en de gemiddelde $q_{V,gr,d}$

4.3.2.6 Bepaling van het H-gehalte

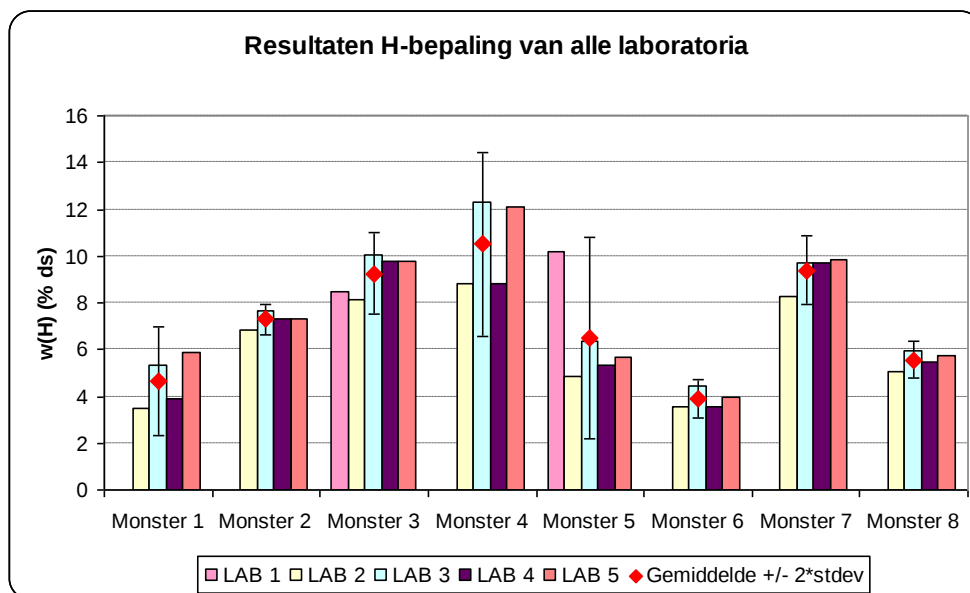
De bepaling van het H-gehalte werd door verschillende laboratoria uitbesteed. Volgende laboratoria hebben deze analyses uitgevoerd:

- Intertek
- SGS Nederland
- Alex Stewart (2 x)
- VITO

De bekomen resultaten zijn weergegeven in Figuur 14 en Tabel 9.

Voor de monstertypes shredder (monster 2) en RDF (monster 3 en 7) zijn voor de H-bepaling de interlaboratorium meetspreidingen kleiner dan 10%. Bij het monstertype zeefoverloop compostering ligt de interlaboratorium meetspreiding van het niet voorbehandelde monster op 25%, terwijl bij de analyse van het voorbehandelde monster deze 11% bedraagt. Het lagere H-gehalte alsook de heterogeniteit van dit monstertype spelen hierbij een belangrijke rol.

Voor het monstertype zuiveringsslib wordt eveneens een verschil in interlaboratorium meetspreiding vastgesteld tussen het voorbehandelde en niet voorbehandelde monster, resp. 7% en 33%. Echter bij het niet voorbehandelde monster is er 1 uitschieter aanwezig (resultaat laboratorium 1), bij verwijdering van deze uitschieter daalt de meetspreiding tot 11%.



Figuur 14: Ringtestresultaten van het H-gehalte

Tabel 9: Ringtestresultaten van het H-gehalte

Identificatie	Beschrijving	LAB 1 % ds	LAB 2 % ds	LAB 3 % ds	LAB 4 % ds	LAB 5 % ds	gemidd. % ds	stdev % ds	% RSD
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	-	3,5	5,3	3,9	5,9	4,6	1,2	24,9
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	-	6,9	7,7	7,3	7,3	7,3	0,3	4,4
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	8,5	8,1	10,1	9,8	9,8	9,2	0,9	9,5
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	-	8,8	12,3	8,8	12,1	10,5	2,0	18,6
Monster 5	Zuiveringsslib Niet voorbehandeld	10,2	4,9	6,3	5,4	5,7	6,5	2,1	33,1
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	-	3,5	4,4	3,6	4,0	3,9	0,4	10,7
Monster 7	RDF Voorbehandeld	-	8,3	9,7	9,7	9,8	9,4	0,7	7,8
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	-	5,1	6,0	5,5	5,7	5,6	0,4	7,0

Opmerking: Bij verwijdering van analyseresultaat voor monster 5 van Lab 1 resulteert de gemiddelde waarde in 5.6 % ds met een %RSD van 11%.

Het gemiddelde van alle H-bepalingen op de verschillende monsters bedraagt 7.2% met een minimum van 3.5% en een maximum van 12.3%.

In paragraaf 3.1 is de chemische samenstelling beschreven van de biogene en fossiele massa. De fractie biogeen en de fractie fossiel onderscheiden zich in het C- en het H-gehalte, uitgedrukt op droge stof en asvrij materiaal. Bij toetsing van het C- en het H-gehalte van de ringtestmonsters aan de vooropgestelde waarden van deze elementen (zie Tabel 10) wordt vastgesteld dat de chemische samenstelling van de zeefoverloop compostering en het zuiveringsslib zowel voor C als voor H (± 52 % ds-asvrij, resp. 6.8 % ds-asvrij) in overeenstemming is met deze van de biogene massa. Voor shredder en RDF daarentegen, hoofdzakelijk bestaande uit plastic of organisch niet-biologisch afval, zijn de C- en H-gehalten (± 70 % ds-asvrij resp. ± 9.5 % ds-asvrij) in overeenstemming met deze van de fossiele fractie.

Enkel voor dierlijk afval zijn de resultaten in tegenstelling met het te verwachten patroon. De bekomen resultaten voor C liggen bij 71 % en voor H bij 10.5 %. Op basis van deze gegevens zou het dierlijk vet ingedeeld worden bij de fossiele massa, terwijl deze in praktijk bij de biogene massa behoren. Literatuurgegevens bevestigen deze chemische samenstelling van dierlijk vet (i.e. C = 76 %ds, H = 12.7 % ds) en de mogelijk verkeerde indeling als fossiel brandstof.⁶

Op basis van de resultaten van de C-en H-gehalten (uitgedrukt in % ds-asvrij) en de nodige expert judgement kan reeds een indicatie verkregen worden of de matrices in aanmerking kunnen komen voor hernieuwbare brandstof (i.e. biogene massa).

Tabel 10: C- en H-gehalte op % ds-asvrij van de ringtestmonsters

Beschrijving		C-gehalte (% ds-asvrij)	H-gehalte (% ds-asvrij)
Biogene massa	Bron: Sorteeraanlyse 2006	51.6 ± 2.8	6.6 ± 0.36
Fossiele massa	Bron: Sorteeraanlyse 2006	71 ± 15.3	10 ± 2.4
Monster 1	Zeefoverloop compostering	51	6.8
Monster 2	Shredder	69	9.2
Monster 3	RDF	70	9.6
Monster 4	Dierlijk vet	71*	10.5*
Monster 5	Zuiveringsslib	52	8.3**
Monster 6	Zeefoverloop compostering	54	6.1
Monster 7	RDF	69	9.8
Monster 8	Zuiveringsslib	52	7.1

* uitgedrukt op natte stof

** H-gehalte is 7.1 % ds-asvrij indien bij de individuele resultaten uitschieter wordt verwijderd

4.3.2.7 Invloed van de correctiefactoren op het analyseresultaat

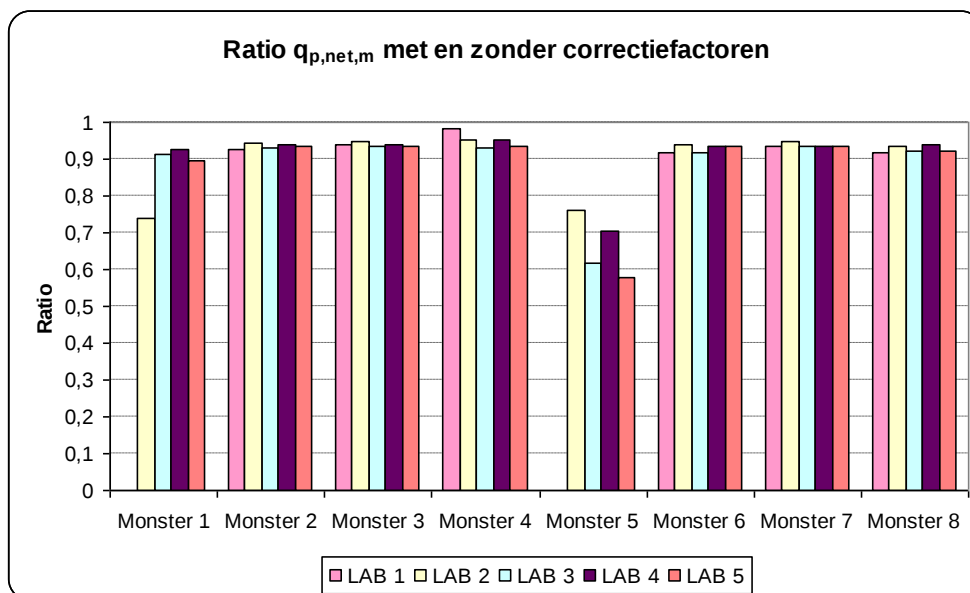
Stookwaarde berekend zonder correctiefactoren

Om de invloed van de correctiefactoren op de berekening van de stookwaarde uit de bovenste verbrandingswaarde te bepalen op deze monstertypes, werden een aantal herberekeningen uitgevoerd. De stookwaarde zonder correctiefactoren werd voor de verschillende monsters berekend volgens onderstaande formule:

$$q_{p,net,m} \text{ (zonder correctie)} = q_{V,gr,d} \times (1 - 0.01M) - 24.43 \times M$$

Vervolgens werd de verhouding berekend van de stookwaarde $q_{p,net,m}$ t.o.v. de vereenvoudigde stookwaarde $q_{p,net,m}$ (zonder correctie). Deze verhouding is voor de verschillende monsters weergegeven in Figuur 15. Indien de stookwaarde wordt berekend vanuit de bovenste verbrandingswaarde $q_{V,gr,d}$ en enkel rekening wordt gehouden met het vochtgehalte M, wordt een gemiddelde overschatting van 7% bekomen. Hierbij werden de resultaten van monster 5 buiten beschouwing gelaten omdat de stookwaarde niet in het relevante meetgebied is gesitueerd.

De afwijking van de vereenvoudigde stookwaarde $q_{p,net,m}$ (zonder correctie) ten opzichte van de stookwaarde $q_{p,net,m}$ werd berekend en de resultaten zijn weergegeven in Tabel 11.



Figuur 15: Ratio van de stookwaarde met en zonder correctiefactoren

Tabel 11: Invloed van de correctiefactoren op het gemiddelde analysesresultaat van de proefronde

Identificatie	Beschrijving	$q_{p,net,M}$ J/g	$q_{p,net,M}$ (zonder correctiefactoren) J/g	% afwijking $q_{p,net,M}$ (zonder corr.fact.) tov $q_{p,net,M}$
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	5871	6751	15 %
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	21897	23417	6,9 %
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	29890	31840	6,5 %
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	36337	38267	5,3 %
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	10866	11694	7,6 %
Monster 7	RDF Voorbehandeld	30213	32226	6,7 %
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	15158	16326	7,7 %

Stookwaarde berekend met een vast H-gehalte (7.2% ds)

Daarnaast werd de stookwaarde eveneens berekend gebruikmakend van een vaste H-factor van 7.2 % ds. Dit gehalte is de gemiddelde waarde van de proefronde resultaten (zie paragraaf 4.3.2.6). De bekomen waarde van de stookwaarde en de afwijking t.o.v. de stookwaarde $q_{p,net,M}$ zijn weergegeven in Tabel 12.

Uit deze berekeningen valt af te leiden dat bij de monsters van de proefronde het al dan niet werken met een vaste factor voor het H-gehalte een maximale afwijking introduceert van - 6.4%.

Tabel 12: Resultaten stookwaarde berekend met en vaste H-factor (7.2 % ds)

Identificatie	Beschrijving	$q_{p,net,M}$ J/g	$q_{p,net,M}$ (met vaste H-factor 7,2% ds) J/g	% afwijking $q_{p,net,M}$ (vaste H-factor - 7,2% ds) tov $q_{p,net,M}$
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	5871	5891	0,3
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	21897	21915	0,1
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	29890	30320	1,4
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	36337	36969	1,7
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	10866	10166	-6,4
Monster 7	RDF Voorbehandeld	30213	30691	1,6
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	15158	14823	-2,2

Stookwaarde berekend met een vast H-gehalte (7.2% ds) en zonder de 2^{de} correctiefactor

Op basis van de bekomen resultaten kan geopteerd worden om de stookwaarde te berekenen:

- met een vaste H-factor van 7.2% ds
- zonder 2^{de} correctieterm $0.8[100-w(as)_d-w(C)_d-w(H)_d-w(S)_d]$

Deze berekening werd toegepast op de analyseresultaten van deze proefronde en weergegeven in Tabel 13. Toetsing van de bekomen resultaten aan de stookwaarde $q_{p,net,M}$ toont aan dat de % afwijking t.o.v. $q_{p,net,M}$ maximaal -6.3% bedraagt.

Tabel 13: Ringtestresultaten stookwaarde met vaste H-factor en zonder 2^{de} correctieterm

Identificatie	Beschrijving	$q_{p,net,M}$ J/g	$q_{p,net,M}$ (met vaste H-factor 7,2% ds en zonder 2de corr.term) J/g	% afwijking $q_{p,net,M}$ (vaste H-factor en zonder 2 ^{de} corr.term) tov $q_{p,net,M}$
Monster 1	Zeefoverloop compostering Niet voorbehandeld	5871	5903	0,5
Monster 2	Schredder Niet voorbehandeld	21897	21929	0,1
Monster 3	RDF Niet voorbehandeld	29890	30337	1,5
Monster 4	Dierlijk vet Niet voorbehandeld	36337	36748	1,1
Monster 6	Zeefoverloop compostering Voorbehandeld	10866	10184	-6,3
Monster 7	RDF Voorbehandeld	30213	30709	1,6
Monster 8	Zuiveringsslib Voorbehandeld	15158	14846	-2,1

4.4 Besluit proefronde

Op basis van de resultaten van deze proefronde kunnen volgende bevindingen worden vastgesteld:

- De monstervoorbehandeling toegepast door de verschillende laboratoria voldoet om de analyses met een aanvaardbare betrouwbaarheid uit te voeren.
 - De diverse bepalingen (calorische waarde, C-gehalte, H-gehalte, asrest,...) die dienen uitgevoerd te worden voor de berekening van de stookwaarde ($q_{p,net,m}$) worden door de verschillende laboratoria met een aanvaardbare betrouwbaarheid uitgevoerd (%RSD van 2 tot 14%). Er zijn geen specifieke knelpunten vastgesteld.
- Omdat bij een hoog vochtgehalte M de fout op de berekening van de stookwaarde significant kan zijn, is het gewenst om een inschatting te krijgen van de bijdrage van het vochtgehalte op de stookwaarde. Het strekt tot aanbeveling om volgende parameters te rapporteren bij de bepaling van de stookwaarde:
 - stookwaarde $q_{p,net,m}$
 - vochtgehalte M
 - calorische waarde op het droge monster $q_{V,gr,d}$
- In vergelijking met de maximale prestatie-eis van de meetonzekerheid van $\pm 30\%$ en de bekomen % RSD (maximaal $2 \times \text{stdev} = 2 \times 14\% = 28\%$) bij deze proefronde voor de parameter stookwaarde stellen wij vast dat bij de berekening van de stookwaarde uit de bovenste verbrandingswaarde (droog):
 - de grootste bijdrage door het vochtgehalte M bepaald wordt;
 - de bijdrage van het H-gehalte substantieel is (getoetst op de dataset van de huisvuil sorteeraanalyse), gemiddeld 9% met een minimum van 5% en een maximum van 17%. Bij toepassing van een vaste factor (bv. 6.95%) kan een gemiddelde onderschatting van de stookwaarde van -4 % bekomen, met uitschieters tot -94 % bij stookwaarden minder dan 2000 J/g ds. Deze vaste factor werd afgeleid uit de data van de sorteeraanalyse. In praktijk zijn de biomassa-afvalstromen zeer divers en niet beperkt tot de afvaltypes van de sorteeranalyses.
 - de bijdrage van de 2de correctieterm $0.8[100-w(as)_d-w(C)_d-w(H)_d-w(S)_d]$ maximaal 80 J/g bedraagt t.o.v. de bovenste verbrandingswaarde (droog) en in verhouding tot de relevante groenestroom energie-efficiëntie is deze verwaarloosbaar.
 - de afwijking van de stookwaarde berekend met een vast H-gehalte van 7.2% ds en zonder de 2^{de} correctiefactor t.o.v. de stookwaarde (volwaardige formule) voor de ringstestmonsters maximaal -6.3 % bedraagt.

5 REFERENTIES

¹ Het sectoraal Uitvoeringsplan Hoogcalorische Afvalstoffen en het Uitvoeringsplan Milieuverantwoord beheer van huishoudelijke afvalstoffen (www.ovam.be).

² B.M. Gawlik, E. Sobiecka, St. Vaccaro and G. Ciceri, *Quality management organisation, validation of standards, developments and inquiries for solid-recovered fuels – An overview on the QUOVADIS-Project*, Energy Policy, 35, 2007, 6293-6298.

³ H. De Baets, *Inventarisatie Biomassa 2006-2007*, OVAM publicatie D/2008/5024/18, 14 april 2008.

⁴ I. Vanderreydt en K. Tirez, *Methodes voor de bepaling van het aandeel hernieuwbaar in afval*, VITO rapport 2008/IMS/R/468.

⁵ J. Fellner, O. Cencic and H. Rechberger, *A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants*, Environ. Sci. Technol., 2007, 41, 2579-2586.

⁶ www.ecn.nl/phyllis/