

SV-517

Productie van lichtgewicht grind
volgens het Trefoil-proces

drs. P. van der Gaag (Holland Innovation Team)
ir. H.H.A.G Wevers (Boskalis Dolman)

december 2003

Gouda, SKB

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Productie van lichtgewicht grind volgens het Trefoil-proces", december 2003, SKB, Gouda."

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Copyrights

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of SKB.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©"Production of lightweight gravel according to the Trefoil process", December 2003, SKB, Gouda, The Netherlands."

Liability

SKB and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and SKB hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of SKB and/or the contributors.

Titel rapport
Productie van lichtgewicht grind volgens het Trefoil-proces

SKB rapportnummer
SV-517

Project rapportnummer
SV-517

Auteur(s)
drs. P. van der Gaag
ir. H.H.A..G. Wevers

Aantal bladzijden
Rapport: 77
Bijlagen: 109

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)
Boskalis Dolman (ir. H.H.A.G. Wevers, tel. 010-2882815)
DRSH Zuiveringsslib NV
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Holland Innovation Team)
(drs. P. van der Gaag, tel. 010-2417248)

RTAL Tilbury
SITA (tot 01-04-2003)
Tauw BV
University of Leeds
University of East London

Uitgever
SKB, Gouda

Samenvatting

Het SKB Trefoil-project behelst een studie naar thermische immobilisatie van baggerslib en grondreinigings-residu, vlieg-as en zuiveringsslib volgens het gepatenteerde Trefoil-proces. Het doel is geweest om de economische- en milieutechnische haalbaarheid aan te tonen van productie van hoogwaardig lichtgewicht grind in Nederland volgens het Trefoil-proces met inachtneming van de Nederlandse criteria.

Het Trefoil-consortium heeft getracht in een aantal fasen middels opschaling steeds grotere hoeveelheden lichtgewicht grind te produceren. Hiervoor zijn de bandbreedten van de percentages van de gebruikte grondstoffen steeds verder vernauwd. Tenslotte zijn drie mixen geselecteerd, waarmee in een pilot installatie in Oost Londen grote hoeveelheden LWA zijn geproduceerd. Parallel aan de pilot productie is onderzoek verricht naar de markt voor lichtgewicht grind. Tevens is uitgebreid onderzoek gedaan naar de kwaliteit van het geproduceerde grind, waarbij tevens toetsing aan huidige normen in het Bouwstoffenbesluit en emissie-normen heeft plaatsgevonden.

De hoofdconclusie van het rapport luidt dat het Trefoil lichtgewicht grind in principe voldoet aan de eisen die het consortium, de overheid en de markt in Nederland aan het product stellen en dat het product zodanig geprijsd kan worden dat het ook daadwerkelijk gekocht zal worden. Er blijft echter nog een aantal openstaande vragen, met name op het gebied van de specifieke gebruikerseisen en het marktpotentieel in de genoemde segmenten, de te verwachten wijzigingen in het Bouwstoffenbesluit en de prijsconsequenties die de verplicht toe te passen rookgasreiniging met zich meebrengt. Dit zal in een eventueel vervolgproject aan de orde moeten worden gesteld.

De aanbeveling luidt dan ook om te onderzoeken of in alle gevallen aan het Bouwstoffenbesluit kan worden voldaan, of er reeds in een beginstadium gekozen kan en moet worden voor het hogere segment en hoe hoog de kosten zullen zijn voor een verplichte rookgasreiniging. Ook zal bekeken moeten worden of er voldoende aanbod-en afnamegaranties bestaan voor langere tijd.

Trefwoorden

Gecontroleerde termen
-

Vrije trefwoorden
-

Titel project
Productie van lichtgewicht grind volgens het Trefoil-proces

Projectleiding
Holland Innovation Team
(drs. P. van der Gaag, 010-2417248)
Boskalis Dolman
(ir. H.H.A.G. Wevers, 010-2882815)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:
SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title
Production of lightweight gravel according to the Trefoil process

SKB report number
SV-517

Project report number
SV-517

Author(s)
drs. P. van der Gaag
ir. H.H.A..G. Wevers

Number of pages
Report: 77
Appendices: 109

Executive organisation(s) (Consortium)
Boskalis Dolman (ir. H.H.A.G. Wevers, tel. 010-2882815)
DRSH Zuiveringsslib NV
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Holland Innovation Team
(drs. P. van der Gaag, tel. 010-2417248)

RTAL Tilbury
SITA (tot 01-04-2003)
Tauw BV
University of Leeds
University of East London

Publisher
SKB, Gouda

Abstract

The SKB Trefoil-project involved a study into thermal immobilisation of dredge spoil and soil purification residue, fly ash and purification dredge spoil carried out with the patented Trefoil-process. The aim was to demonstrate the economic and environmental-technical feasibility of the production of high quality lightweight gravel, with due regard to the Dutch criteria.

The Trefoil-consortium attempted to use upscaling to produce increasingly large quantities of lightweight gravel in a number of phases. This involved a gradual narrowing of the bandwidths of the percentages of the raw materials used. Finally, three mixes were selected and used to produce large quantities of LWA in a pilot installation in East London. Research was conducted into the market for lightweight gravel in parallel to the pilot production. Extensive research was also conducted into the quality of the gravel produced, involving testing in against the current standards in the Building Materials Decree and emissions standards.

The main conclusion of the report is that, in principle, the Trefoil lightweight gravel meets the demands made of the product by the consortium, government and market in the Netherlands and that the product can be priced in such a way that it can also actually be sold.

However, there are still several unanswered questions, particularly in the field of specific user demands and the market potential in the specified segments, the amendments expected in the Building Materials Decree and the pricing consequences associated with compulsory flue gas purification. This will have to be examined in a possible follow-up project.

The recommendation is therefore to study whether it is possible to meet the requirements of the Building Materials Decree in all cases, whether it is possible to choose the higher segment at an early stage and how high the costs will be for compulsory flue gas purification. It will also have to be studied whether there are sufficient long-term supply-and demandguarantees.

Keywords

Controlled terms

-

Uncontrolled terms

-

Project title
Production of lightweight gravel according to the Trefoil-process

Projectmanagement
Holland Innovation Team
(drs. P. van der Gaag, 010-2417248)
Boskalis Dolman
(ir. H.H.A.G. Wevers, 010-2882815)

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands

Netherlands Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer (SKB)

INHOUD

		SAMENVATTING.....	VIII
		SUMMARY.....	XI
		BEGRIPPENLIJST.....	XIV
		VERANTWOORDING EN OPBOUW VAN HET RAPPORT	XIX
Hoofdstuk	1	INLEIDING, DOELSTELLING VAN HET TREFOIL SKB-PROJECT.....	1
	1.1	Achtergrond	1
	1.2	Lichtgewicht grind	1
	1.3	Trefoil lichtgewicht grind (LWA)	2
	1.4	Oprichting van het Trefoil-consortium	2
	1.5	Doelstelling SKB-onderzoek	3
	1.6	Organisatiestructuur	4
Hoofdstuk	2	VERIFICATIE, START TREFOIL, SELECTIE MATERIAALSTROMEN, COLLECTIE MATERIAALSTROMEN EN BEMONSTERING	6
	2.1	Inleiding, verificatie via second opinion.....	6
	2.2	Selecteren van de Nederlandse secundaire stoffen.....	7
	2.3	Bemonstering.....	9
	2.4	Het antwoord op de vele gestelde vragen: veel kleinschalige productieruns.....	9
Hoofdstuk	3	KLEINSCHALIGE "LABORATORIUM" PROEVEN IN PAPENDRECHT	11
	3.1	Inleiding en doel laboratoriumproeven	11
	3.2	Overbrenging en opbouw laboratoriuminstallatie naar Nederland	12
	3.3	Productie 19 mixen	12
	3.4	Onderzoeksvragen laboratoriumtesten Papendrecht.....	13
	3.5	Resultaten, conclusies en aanbevelingen voor vervolg	13
	3.5.1	Resultaten	13
	3.5.2	Conclusies	13
	3.5.3	Aanbevelingen	13
Hoofdstuk	4	"BENCH-SCALE"PROEVEN IN LEEDS	15
	4.1	Inleiding en doel bench-scale proeven	15
	4.2	Productie van 5 mixen	15
	4.3	Resultaten bench-scale testen Leeds.....	16
	4.4	Conclusies en aanbevelingen voor vervolg.....	18
	4.4.1	Conclusies	18
	4.4.2	Aanbevelingen	18
Hoofdstuk	5	VOORBEREIDING "PILOT-PROEF" IN EAST LONDON.....	19
	5.1	Inleiding en doel 'pilot-proef' East London.....	19
	5.2	Voorbehandeling inputstromen.....	19
	5.3	Opstellen massabalans	21
	5.4	EU-exportvergunning en transport naar Engeland.....	21
	5.5	Monsternameprotocol	24
	5.6	Emissiemetingen plan	25

	5.7	Start van de pilot plant-proeven.....	26
Hoofdstuk	6	UITVOERING "PILOT PLANT" TESTEN EAST LONDON	27
	6.1	De installatie in East London	27
	6.2	Grootschalige LWA productie in Pilot Plant-installatie in East London	32
	6.3	Conclusies en aanbevelingen.....	36
	6.3.1	Conclusies	36
	6.3.2	Aanbevelingen	36
Hoofdstuk	7	INVENTARISATIE MARKTEISEN, MARKTSTUDIE	38
	7.1	Inleiding.....	38
	7.2	Inventarisatie markteisen, CUR-Workshop.....	39
	7.2.1	Inleiding.....	39
	7.2.2	Discussie CUR-Workshop.....	40
	7.2.3	Conclusies en aanbevelingen van de CUR-Workshop.....	42
	7.3	Marktstudie	43
	7.3.1	Inleiding.....	43
	7.3.2	Inventarisatie beschikbaarheid te gebruiken grondstoffen.....	43
	7.3.3	Indeling van de markt van toeslagmaterialen in verschillende segmenten	46
	7.3.4	Onderscheidende producteigenschappen, concurrerende materialen	46
	7.3.5	De afzetmarkt in Nederland, prijsaspecten	48
	7.3.6	Internationale markt voor lichtgewicht toeslagmateriaal	49
	7.3.7	Marktbenadering, afzetmogelijkheden voor het Trefoil-product in Nederland.....	51
	7.3.8	Evaluatie Trefoil markt.....	51
	7.3.9	Conclusies en aanbevelingen marktstudie.....	52
Hoofdstuk	8	BEPALING VAN DE KWALITEIT VAN HET GEPRODUCEERDE GRIND. 53	
	8.1	Inleiding.....	53
	8.2	Algemene producteisen	53
	8.2.1	Formele eisen en randvoorwaarden.....	53
	8.2.2	Informeel eisen	54
	8.3	Uitloogproeven (Bouwstoffenbesluit)	55
	8.3.1	Uitloogproeven van de LWA korrels uit Oost Londen	55
	8.3.2	Kwaliteit korrels conform Bouwstoffenbesluit.....	56
	8.3.3	Evaluatie	57
	8.3.4	Conclusie Bouwstoffenbesluit.....	58
	8.4	Emissies.....	59
	8.5	Kwaliteitsbepaling van Trefoil lichtgewicht toeslagmateriaal voor beton	62
	8.5.1	Werkwijze	62
	8.5.2	Mechanische eigenschappen Trefoil LWA, een evaluatie	67
	8.6	Conclusies m.b.t. kwaliteitsbepaling van het grind	68
	8.6.1	Bouwstoffenbesluit.....	68
	8.6.2	Emissies sintering.....	68
	8.6.3	Mechanische eigenschappen	68
	8.6.4	Aanbevelingen	69

Hoofdstuk	9	HAALBAARHEID IN DE NEDERLANDSE SITUATIE	70
	9.1	Inleiding.....	70
	9.2	Beschrijving van het LWA-productieproces	70
	9.2.1	De voorbehandeling van de grondstoffen	70
	9.2.2	Het vormen en sinteren van LWA	71
	9.2.3	Het reinigen van de gevormde rookgassen	72
	9.3	Procesvarianten.....	73
	9.4	Financiële haalbaarheid in de Nederlandse situatie.....	73
	9.5	Kennishiaten	75
	9.6	Conclusies en aanbevelingen.....	76
Hoofdstuk	10	CONCLUSIES, ONZEKERHEDEN EN OMISSIES, AANBEVELINGEN	77
	10.1	Inleiding.....	77
	10.2	Conclusies: procedureel/projectmatig gebied	77
	10.2.1	Samenwerking.....	77
	10.2.2	Voordelen fasering en opschaling	77
	10.3	Conclusies: technische haalbaarheid van het Trefoil-principe voor Nederland	77
	10.3.1	Technische haalbaarheid.....	77
	10.3.2	Materiaal	77
	10.3.3	Beperking van het aantal materiaalstromen.....	78
	10.3.4	Twee ideale mixen.....	78
	10.3.5	Verbeteringen mogelijk.....	78
	10.4	Conclusies: milieutechnische haalbaarheid van het Trefoil principe voor Nederland	78
	10.4.1	Uitloging.....	78
	10.4.2	Emissies.....	78
	10.5	Conclusies: (technische) kwaliteitseisen van Trefoil voor de Nederlandse markt	78
	10.5.1	Categorie LWA	78
	10.5.2	Toepassing in beton.....	78
	10.6	Conclusies: marktpotentie van Trefoil in Nederland.....	79
	10.6.1	Grondstoffenaanbod	79
	10.6.2	Markt	79
	10.7	Conclusies: financieel economische haalbaarheid van het Trefoil-concept in Nederland.....	79
	10.7.1	Investerings	79
	10.8	Kennishiaten	79
	10.9	Aanbevelingen	80
Bijlage	A	SCARABEE/AKWA RAPPORT - BEOORDELING TREFOIL PROCES	
Bijlage	B	ANALYSERESULTATEN	
Bijlage	C	VERSLAG WORKSHOP CUR	
Bijlage	D	RESULTATEN INTRON - ONDERZOEK	

SAMENVATTING

Productie van lichtgewicht grind volgens het Trefoil-proces

Het SKB SV-517 project behelst een studie naar thermische immobilisatie van baggerslib en grondreinigingsresidu, vliegias en zuiveringsslib volgens het gepatenteerde Trefoil-proces.

Het doel van dit, kortweg te noemen, SKB Trefoil-project is geweest om de economische en milieutechnische haalbaarheid aan te tonen van de productie van hoogwaardig lichtgewicht grind met inachtneming van de Nederlandse criteria. Het project is eind 2001 gestart.

Trefoil betekent in het Engels klavertje drie. Dit wijst op de vorm van de speciale ovens, waarin de mixen worden gesinterd tot lichtgewicht grind. Het SKB Trefoil-consortium is de naam van een samenwerkingsverband, waarin deelnemen: Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Boskalis Dolman, Tauw BV, Sita, DRS¹, Holland Innovation Team en van Engelse zijde: RTAL, alsmede de universiteiten van Oost Londen en van Leeds.

Het Trefoil SKB-project is uitgevoerd in een aantal fasen. In fase 0 is een onafhankelijke evaluatie van het Trefoil-proces uitgevoerd door een extern bureau en de bouwdienst van Rijkswaterstaat. Na een bezoek aan de operationele Trefoil-fabriek in Tilbury ten oosten van Londen en na deskundige uitleg van Engelse zijde zijn de bevindingen neergelegd in een rapport (het Scarabee rapport).

De conclusies luiden dat het Trefoil-principe voordelen biedt in vergelijking met alle vorige pogingen in Nederland om middels het sinteren van reststoffen een kwalitatief goed en verkoopbaar lichtgewicht grind te produceren. Vooral de mogelijkheid om te sturen op het temperatuurtraject en het feit dat verkitting van de korrels wordt voorkomen in de Trefoil-ovens werden als bijzonder positief bevonden. Ook het feit dat Trefoil-ovens efficiënter en dus goedkoper in energiegebruik zijn, wordt in het Scarabeerapport als positief gekwalificeerd.

Aanbevolen wordt om het SKB Trefoil-project uit te voeren met in Nederland voorhanden zijnde reststoffen en het proces en het lichtgewicht grindproduct te testen volgens de Nederlandse criteria.

Fase 1 van het SKB-project heeft bestaan uit het selecteren van de in Nederland te gebruiken secundaire stoffen. Gekozen is voor stoffen die min of meer dezelfde eigenschappen tonen als de in Engeland gebruikte stoffen, omdat hiermee veel ervaring is opgedaan. In Engeland wordt gebruikt gemaakt van vliegias uit de kolencentrale, van zuiveringsslib en van klei afkomstig uit bouwwerkzaamheden in de omgeving van Londen. De eerste twee worden gebruikt als energiedragers in het Trefoil-proces, de klei als een goed bindmateriaal.

Een hoge calorische waarde van de te gebruiken stoffen is belangrijk om het Trefoil-proces energie-efficiënter en dus goedkoper te maken. Een goed bindmiddel (klei of baggerspecie) is belangrijk, omdat het maken van "stevige" uniforme korrels ("green pellets" = ongesinterde korrels) een belangrijke voorwaarde is voor het produceren van een goede kwaliteit lichtgewicht grind.

In het SKB Trefoil-project is gekozen voor vliegias van een kolencentrale uit Rijnmond en voor zuiveringsslib van DRS¹ als substituuut voor de Engelse materialen, terwijl baggerspecie uit de

¹ De hoogheemraadschappen van Delfland, Rijnland, Schieland en het zuiveringsschap Hollandse eilanden en waarden.

Rotterdamse haven en grondreinigingsresidu van Boskalis vanwege hun hoge kleigehalte als bindmateriaal hebben dienstgedaan.

Bemonstering van baggerslib, vliegas, grondreinigingsresidu en zuiveringslib is zorgvuldig aangepakt, omdat het Trefoil-consortium verzekerd wilde zijn van continuïteit in de kwaliteit en samenstelling van het materiaal in de volgende fasen. Ontwateren en drogen van het bemonsterde materiaal geschiedde eveneens met uiterste nauwkeurigheid.

In fase 2 is een kleine Trefoil-installatie overgebracht vanuit Leeds naar Papendrecht, alwaar van 16 uitgekozen mixen kleine hoeveelheden LWA zijn geproduceerd. Op grond van de eerste resultaten in Papendrecht is gekozen voor 5 mixen voor de volgende fase, waarvoor de grondstoffen naar de universiteit van Leeds zijn gebracht. Met deze 5 mixen is in fase 2b LWA (lichtgewicht grind) in hoeveelheden van ongeveer 10 kilo geproduceerd.

Gekozen is voor het traject van opschaling, omdat op deze wijze de gegevens van de vorige fase kunnen worden gebruikt om de bandbreedten van de percentages van alle gebruikte stoffen te verkleinen.

Om zo veel mogelijke eisen en wensen vanuit de markt te kunnen horen en te kunnen meenemen in het SKB Trefoil-project is met de CUR en de SKB een workshop georganiseerd. In deze workshop is gebleken dat de bouw- en constructiewereld kansen ziet voor het Trefoil lichtgewicht grindproduct, mits goed wordt overlegd met de markt en gecommuniceerd wordt over milieuaspecten in verband met de acceptatie in de samenleving. Ook werd gesproken over twee kansrijke segmenten, een hoogwaardig segment voor hoogwaardige toepassingen (hoogbouw, lichtgewicht beton) en een laagwaardig segment voor laagwaardige toepassingen als bijvoorbeeld ophoogmateriaal of vulmateriaal.

Aan het eind van fase 2 is, gebruikmakend van de gegevens van de productiefasen (lab scale en bench scale testen), gekozen voor drie mixen waarvan volgens het projectplan grotere hoeveelheden lichtgewicht grind zouden worden geproduceerd. De 3 mixen zijn op grond van de eerdere ervaringen, maar ook op grond van discussies met de probleemeigenaren van de reststoffen en mogelijke afnemers van het LWA (de bouw/en constructiewereld) geselecteerd.

In deze productiefase (fase 3) is gebruik gemaakt van de in Oost Londen gebouwde pilot-installatie, waarmee het Trefoil-proces van de operationele Trefoil-fabriek in Tilbury exact kan worden nagebootst. Hiervoor is in april een hoeveelheid Nederlandse materialen overgebracht naar Londen. Gebleken is dat overbrenging van een dergelijke hoeveelheid stoffen tot grote vertragingen kan leiden gezien de benodigde procedures die moeten worden doorlopen. Al met al heeft dit tot een oponthoud van het SKB Trefoil-project geleid van ruim 1 jaar.

Het Trefoil-consortium heeft in de periode mei tot juli 2003 in de pilot-installatie van elk van de inmiddels drie uitgekozen mixen 400 kilo LWA grind geproduceerd. Gedurende de productie in Oost Londen zijn van alle mixen de emissies gemeten en op hun samenstelling beoordeeld.

In juli 2003 zijn de geproduceerde hoeveelheden lichtgewicht grind naar Nederland overgebracht. Hierna is fase 4 gestart; deze fase is gesplitst in fase 4a (een marktstudie) en fase 4b (testen op het in Londen geproduceerde LWA). In de marktstudie zijn verschillende zaken zoals marktsegment, vraag, afzet, concurrentieanalyse en leveringsgarantie aan de orde gekomen. De conclusie luidt dat er voldoende marktperspectieven voor Trefoil lichtgewicht bestaan.

Hierna is een groot aantal testen uitgevoerd om te bezien of het geproduceerde lichtgewicht grind voldoet aan de Nederlandse criteria met betrekking tot het Bouwstoffenbesluit.

De geproduceerde lichtgewicht korrels werden onder meer blootgesteld aan diverse uitloogproeven. Verder zijn civieltechnische testen uitgevoerd door Intron om de kwaliteit en sterkte van het

grind te bepalen. Parameters als waterabsorptie, sterkte (Young modulus) en de variatie hiervan zijn bepaald. Ook is er van de Trefoil-korrels beton gemaakt dat eveneens is getest. De conclusies van het Intron rapport luiden dat er van Trefoil lichtgewicht korrels beton kan worden gemaakt van tenminste kwaliteit B25 en dat de eigenschappen hiervan vergelijkbaar zijn met Argex lichtgewicht korrels.

Tot slot is aan het eind van het project een economische evaluatie van een mogelijke Trefoil-fabriek gedaan. In principe wordt het Trefoil-procédé economisch haalbaar geacht onder bepaalde voorwaarden. In vergelijking met de Engelse situatie zal meer geld moeten worden uitgegeven aan de rookgasreiniging.

In het hier voorliggende rapport wordt tenslotte een groot aantal conclusies en aanbevelingen gepresenteerd. De hoofdconclusie luidt dat het Trefoil lichtgewicht grind in principe voldoet aan de eisen die het consortium, de overheid en de markt in Nederland aan het product stellen en dat het product zodanig geprijsd kan worden dat het ook daadwerkelijk gekocht zal worden.

Er blijft echter nog een aantal openstaande vragen, met name op het gebied van de specifieke gebruikerseisen en het marktpotentieel in de genoemde segmenten, de te verwachten wijzigingen in het Bouwstoffenbesluit en de prijsconsequenties die de verplicht toe te passen rookgasreiniging met zich meebrengt. Dit zal in een eventueel vervolgproject aan de orde moeten worden gesteld.

De aanbeveling luidt dan ook om te onderzoeken of in alle gevallen aan het Bouwstoffenbesluit kan worden voldaan, of er reeds in een beginstadium gekozen kan en moet worden voor het hogere segment en hoe hoog de kosten zullen zijn voor een verplichte rookgasreiniging. Ook zal bekeken moeten worden of er voldoende aanbod-en afnamegaranties bestaan voor langere tijd.

SUMMARY

Production of lightweight gravel according to the Trefoil-process

The SKB SV-517 project involved a study into thermal immobilisation of dredge spoil and soil purification residue, fly ash and purification dredge spoil carried out with the patented Trefoil-process.

The aim of this (abbreviated to) SKB Trefoil-project was to demonstrate the economic and environmental-technical feasibility of the production of high quality lightweight gravel, with due regard to the Dutch criteria. The project started at the end of 2001.

The SKB Trefoil-consortium is the name of a joint venture that includes: Rotterdam Municipal Harbour Company, Boskalis Dolman, Tauw BV, Sita, DRSH², Holland Innovation Team, and from Britain: RTAL and the universities of East London and Leeds.

The Trefoil SKB-project was carried out in a number of phases. Phase 0 involved an independent evaluation of the Trefoil-process conducted by an external agency and the building service (Bouwdienst) of the Department of Public Works. The findings were laid down in a report (the Scarabee report) after a visit to the operational Trefoil-factory in Tilbury, East London, and subsequent to explanation by British experts.

These findings were that the Trefoil-principle offers benefits in comparison with all previous attempts in the Netherlands to use sintering of residual materials to produce good quality, sellable lightweight aggregate (LWA). In particular, the possibility to control the temperature gradient and the fact that bonding of the granules is prevented were regarded as extremely positive features. In addition, the fact that Trefoil-ovens are more efficient and therefore cheaper in terms of energy consumption was regarded as very positive in the Scarabee report.

It was recommend conducting the SKB Trefoil-project with residual materials that are available in the Netherlands and testing the process and the lightweight gravel according to Dutch criteria.

Phase 1 of the SKB-project consisted of the selection of the secondary substances to be used in the Netherlands. We selected materials that have more or less the same properties as demonstrated by those in Britain due to the fact that a great deal of experience has already been gained with these materials. The materials used in Britain are fly ash from coal-fired power stations, sewage sludge and clay from construction sites in the vicinity of London. The first two are used as energy carriers in the Trefoil process, the clay functions as an effective binding material. A high caloric value of the substances to be used is important in order to make the Trefoil-process more energy-efficient and therefore cheaper. An effective binding substance (clay or dredges spoil) is important because the production of 'robust' uniform granules ("green pellets" = unsintered gravels) is an important precondition for the production of good quality lightweight gravel.

In the SKB Trefoil-project, use was made of fly ash from a coal-fired power station in Rijnmond and sewage sludge from DRSH substituted the British materials, while dredge spoil from the harbour of Rotterdam and soil cleaning residue from Boskalis were used as binding material due to their high clay content.

² The polder boards of Delfland, Rijnland, Schieland and the purification board of Hollandse eilanden en waarden.

Sampling dredge spoil, fly ash, ground cleaning residue and sewage sludge was handled with great care, because the Trefoil-consortium wished to ensure continuity in the quality and composition of the material in the subsequent phases. Draining and drying of the sampled material was also conducted with extreme care and accuracy.

In phase 2, a small Trefoil-installation was shipped from Leeds to Papendrecht, where small quantities of LWA were produced from 16 pre-selected mixes. The first results in Papendrecht were the basis for the selection of 5 mixes for the following phase, for which the raw materials were shipped to Leeds University. Phase 2b involved the production of quantities of approximately 10 kilograms of LWA with these 5 mixes.

Upscaling was chosen, because this allows the data from the previous phase to be used to reduce the bandwidths of the percentages of all the materials used.

CUR and the SKB organised a workshop that would enable us to ascertain and accommodate the wishes of the market as much as possible in the SKB Trefoil-project. This workshop revealed that the building and construction industry sees opportunities for the utilisation of the Trefoil lightweight gravelproduct, on condition that thorough consultation is conducted with the market and there is communication regarding environmental aspects in relation to social acceptance. Discussions were also held on two opportunity-rich segments, a high quality segment for high quality applications (high-rise construction, lightweight concrete), and a low quality segment for low quality applications, such as embankment or fill-material.

At the end of phase 2, the data from the production phase (lab scale and bench scale tests) was used to select three mixes from which larger quantities of LWA were to be produced in accordance with the project plan. The 3 mixes were selected on the basis of previous experience and also on discussions with the parties experiencing the problems with the residual substances and possible buyers of the LWA (the building/construction sector).

In this production phase (phase 3), use was made of the pilot-installation built in East London, with which the Trefoil-process in the Trefoil-factory in Tilbury can be copied exactly. A quantity of Dutch material was shipped to London for this purpose in April. It became apparent that the transportation of this type of quantity could cause significant delays in view of the required procedures. This all led to a delay in the execution of SKB Trefoil-project of more than one year.

In the period from May to July 2003, 400 kilograms of LWA gravel was produced from each of the three selected mixes in the pilot-installation. The levels and compositions of emissions were measured throughout the production in East London.

In July 2003, the quantities of LWA were shipped to the Netherlands. This was followed by initiation of phase 4: this phase was split into phase 4a (a market study) and phase 4b (testing against the LWA produced in London). The market study examined various aspects, such as market segment, demand, sales, competition analysis and delivery guarantees. This led to the conclusion that there are sufficient marketing opportunities for Trefoil lightweight.

A great deal of tests is then conducted in order to ascertain whether the lightweight gravel produced meets the Dutch criteria relating to the Building Materials Decree.

The LWA produced were subjected to various leaching tests. Civil engineering tests were also conducted by Intron in order to ascertain the quality and strength of the gravel. Parameters such as water absorption, strength (Young module) and their variations were determined. Trefoil-granules were also used to produce concrete that was subjected to various tests. The conclusions of the Intron report are that Trefoil LWA was used to produce concrete of at least B25 quality and that its properties are comparable with Argex LWA.

Finally, an economic evaluation of a possible Trefoil-factory was conducted at the end of the project. In principle, the Trefoil-procedure is regarded as feasible under certain conditions. In comparison with the British situation, more money will have to be spent on flue gas purification.

This report presents a large number of conclusions and recommendations. The main conclusion is that, in principle, the Trefoil lightweight gravel meets the demands made of the product by the consortium, government and market in the Netherlands and that the product can be priced in such a way that it can also actually be sold.

However, there are still several unanswered questions, particularly in the field of specific user demands and the market potential in the specified segments, the amendments expected in the Dutch Building Materials Decree and the pricing consequences associated with compulsory flue gas purification. This will have to be examined in a possible follow-up project.

The recommendation is therefore to study whether it is possible to meet the requirements of the Building Materials Decree in all cases, whether it is possible to choose the higher segment at an early stage and how high the costs will be for compulsory flue gas purification. It will also have to be studied whether there are sufficient long-term supply-and demandguarantees.

BEGRIPPENLIJST

Accubakken	Kunststof, vloeistofdichte opslagbakken met een inhoud van circa 600 liter.
AP04	Accreditatieprogramma Bouwstoffenbesluit. Dit programma bevat alle eisen, die het Bouwstoffenbesluit stelt en bovendien aanvullende eisen met betrekking tot de deskundigheid en de onafhankelijkheid van de onderzoeksinstelling.
ASR	<u>Alkali Silica Reactie</u> . Door de poriën in beton kunnen natrium en kalium oplossen. Onder invloed van de hoge pH van het beton treden er reacties op met silica. Hierbij wordt een geleiachtig materiaal gevormd dat expandeert en het beton kan laten barsten. Dit proces kan decennia duren.
B25	Grindbeton uit sterkteklasse B25, dat wil zeggen met druksterke van minimaal 25 N/mm ² .
Baggerspecie	Mengsel van minerale bestanddelen, organische stof en water dat vrijkomt bij baggeren van (delen van) de waterbodem.
Batch	Afzonderlijke partij.
Batchgewijs	Eerst de ene afzonderlijke partij afwerken, vervolgens de volgende.
Bench-scale	Proeven op 'werkbank'-niveau (tussen laboratorium en pilotplant schaal in), uitgevoerd met een roterende oven met Trefoil-vorm in Leeds, waarbij circa 20-30 kg LWA per mix is geproduceerd.
Bindtijd	Tijd waarin het beton verhardt.
Bloating	Ontstaan van een poreuze matrix door gasemissies.
BMC	Certificerende instantie in Gouda voor producten en processen (beton, mortels en alle daarvoor gebruikte grondstoffen).
BMR	Reinigingsinstallatie voor verontreinigde grond en baggerspecie van Boskalis Dolman bv in Schiedam: <u>Boskalis Dolman Mineral Recycling</u> .
Bouwstoffenbesluit (BsB)	Bouwstoffenbesluit bodem- en oppervlaktewaterenbescherming. Algemene Maatregel van Bestuur (AmvB), gebaseerd op de Wet bodembescherming (Wbb), de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (Wvo) en de Woningwet. Doelstelling van het Bouwstoffenbesluit is om een helder kader voor (her)gebruik van bouwstoffen te scheppen, waarbij een balans gezocht is tussen maximaal hergebruik en een goede bescherming van water en bodem.
Carbonatatie	Tijdens de verharding van het beton ontstaat er calciumhydroxide. Deze stof zorgt voor het alkalische milieu in het beton en beschermt zo de wapening. Bij carbonatatie reageert het koolstofdioxide uit de atmosfeer met calciumhydroxide in het beton. Door deze reactie daalt de pH-waarde uiteindelijk tot onder de 8 à 9, waardoor corrosie van de wapening mogelijk wordt.
Categorie 1 bouwstof	Bouwstoffen met gehalten < samenstellingseisen uit tabel 2 BsB en < immissie eisen uit tabel 2 BsB. Deze bouwstoffen kunnen ongeïsoleerd, doch terugneembaar worden toegepast in een werk.
Categorie 2 bouwstof	Bouwstoffen met gehalten < samenstellingseisen uit tabel 2 BsB en met isolatie < immissie eisen uit tabel 2 BsB. Deze bouwstoffen moeten geïsoleerd en terugneembaar worden toegepast in een werk, inclusief beheers- en controlevoorzieningen.

Chloride indringing	Wanneer beton nog voldoende alkalisch is kan er corrosie van de wapening optreden. Deze corrosie wordt veroorzaakt doordat chloridenionen in het beton dringen. Het beton wordt blootgesteld aan chloriden door bijvoorbeeld dooizouten of zeelucht. Indien de chloridenconcentratie bij de wapening de kritische chloridenconcentratie overschrijdt gaat de passivering van de wapening verloren en start de corrosie. De ijzerchloride die ontstaat tijdens de corrosie is goed oplosbaar in water. Hierdoor is de corrosie die geïnitieerd wordt door chloridenionen te herkennen aan de bruine vlekken aan het betonoppervlak. Na het begin van corrosie zullen eerst scheuren in het beton ontstaan, waarna tenslotte de dekking van het beton wordt gedrukt.
Clinkering	Samensmelten van korrels gedurende de sinterfase in de Trefoil-oven tot een homogene massa (klont), wel of niet vastgekit aan de ovenwand.
CUR	<u>C</u> ivieltechnisch Centrum <u>U</u> itvoering <u>R</u> esearch en <u>R</u> egelgeving (voor de Grond- Weg- en Waterbouwsector) in Gouda.
DeNOx installatie	Rookgasreinigingsinstallatie voor het verwijderen van stikstofverbindingen.
Dichtheid (density)	De dichtheid van een materiaal geeft aan hoeveel massa van dat materiaal aanwezig is in een bepaald volume. Traditioneel duidt men dichtheid aan met de Griekse letter ρ (spreek uit ro). Dichtheid wordt in het SI systeem uitgedrukt in kg/m^3 , maar de oudere eenheid g/cm^3 wordt meer gebruikt. Men tabelleert de dichtheid van een stof meestal bij een bepaalde temperatuur en druk, omdat bij verandering daarvan de dichtheid ook verandert.
Diffusieproef	Wordt gebruikt voor onderzoek naar uitloging van vormgegeven bouwstoffen (zoals beton).
DRSH	DRSH Zuiveringsslib NV verbrandt het zuiveringsslib dat resteert na het reinigen van rioolwater van huishoudens en bedrijven namens haar aandeelhouders: de hoogheemraadschappen van <u>D</u> elfland, <u>R</u> ijnland, <u>S</u> chieland en het zuiveringsschap <u>H</u> ollandsche eilanden en waarden.
EA	<u>E</u> nvironment <u>A</u> gency oftewel het Engelse Ministerie van VROM.
Elevatorbak	Transportbak voor (natte) baggerspecie. De inhoud en vorm hiervan kan (sterk) variëren, maar zit doorgaans tussen 600 en 1000 m^3 .
Eluaat	Een oplossing die wordt verkregen na uitloging van een monster toelagmateriaal met water.
Emissie(waarde)	De hoeveelheid (schadelijke) stoffen die uit een bouw materiaal uitloopt.
E-modulus	De E-modulus bepaalt de mate waarin een materiaal elastisch vervormd (stijfheid). Een materiaal met een hoge E-modulus is dan ook een stijf materiaal.
EOX	Extraheerbare Organische Chloride of Bromide koolwaterstoffen.
EVOA-procedure	Procedure horend bij het grensoverschrijdend transport van afvalstoffen, in Nederland vallend onder de verantwoordelijkheid van het Ministerie van VROM en uitgevoerd door het Internationaal Meldpunt Afvalstoffen (IMA) te Woerden.
Exoten	De uitloging van antimoon, fluoride, bromide, molybdeen, vanadium en seleen overschrijdt regelmatig de normen en zijn aandachtspunt buiten het standaardpakket binnen het Bouwstoffenbesluit.
FA	Vliegias van huisvuil verbrandingsinstallaties (AVI's), engelse term: <u>F</u> ly- <u>A</u> sh.
Finishing kiln	Zie: Trefoil-oven.
Fired pellets	LWA-korrels ná het sinteren in de "Trefoil"-oven.

Firing	De sinterfase, zoals doorlopen wordt in de "Trefoil"-oven.
Firing regime	Het temperatuurstraject (opwarmen, sinteren en afkoelen), dat de green pellets ondergaan in de "Trefoil"-oven.
Fluide bed reactor	Wervelbedoven voor het drogen van zuiveringsslib, waarbij van onderen warme lucht toegevoerd wordt die in tegenstroom met de te drogen massa geleid wordt.
Füllerkromme	Een vaste benadering, waarin wordt bepaald op welke wijze een mengsel uit verschillende delen kan worden opgebouwd.
Gate fee	Poorttarief. Zie ook negatieve waarde.
GHR	<u>G</u> emeentelijk <u>H</u> avenbedrijf <u>R</u> otterdam.
Green pellets	LWA-korrels ná het pelletiseren en drogen, juist voordat ze de "Trefoil"-oven ingaan voor het sinteren.
Grondreinigings-residu	Fijne ontwaterde fractie, waarin over het algemeen de verontreinigingen zijn geconcentreerd, die resteren na reiniging van verontreinigde grond en baggerspecie.
Hellende disc pelletizer	Pelletiseerschotel voor het produceren van ronde korrels. Hiertoe worden de benodigde droge invoermaterialen, samen met wat (sproei)water, ingevoerd op een ronddraaiende schotel, waarna de afzonderlijke korrels gevormd worden. Grootte en vorm zijn beïnvloedbaar door instellen van hellingshoek en rotatiesnelheid van de schotel en het toevoegen van de hoeveelheid water.
HIT	<u>H</u> olland <u>I</u> nnovation <u>T</u> eam.
Hopper	Bunker voor (tussentijdse) opslag.
Hot spot (in green pellets)	Opeenhoping van organisch materiaal, dat bij de hoge temperaturen in de "Trefoil"-oven plotseling tot ontbranding en bijbehorende uitzetting kan leiden.
Humusgehalte	Percentage organische stof aanwezig.
IMA	<u>I</u> nternationaal <u>M</u> eldpunt <u>A</u> fvalstoffen te Woerden.
Immissie(waarde)	De hoeveelheid (schadelijke) stoffen die de bodem of de waterbodem indringt, uitgedrukt in hoeveelheden per tijdseenheid en per m ² .
Impuls B2	Van Baggerspecie tot Bouwstof, project opgezet door Ministerie van Verkeer en Waterstaat om na te gaan hoe de motie Herrebrugh (TK; 23-11-1999) kan worden uitgevoerd.
In situ	Letterlijk: op zijn plek. In situ m ³ , het volume van de (te verwijderen) waterbodem, zoals die op een bepaalde plek aanwezig is.
Interventiewaarde	Geeft aan dat de grens is bereikt, hogere concentraties van elementen in de bodem kunnen onaanvaardbaar risico opleveren.
ISSA	Vliegas van het verbranden van zuiveringsslib, engelse term: <u>I</u> ncinerated <u>S</u> ewage <u>S</u> ludge <u>A</u> sh.
Kolomproeven	Worden gebruikt voor onderzoek naar uitloging van korrelvormige materialen. Het materiaal wordt in een cilindervormige kolom besprenkelt met een percolatievloeistof die gerecirculeerd wordt.
L/S	<u>L</u> iquid/ <u>S</u> olid. Geeft de verhouding aan tussen de hoeveelheid doorgestroomde percolatievloeistof in liters en de in de kolom aanwezige vaste stof in kg.
Lab scale	Proeven op laboratorium schaal met statische oven, uitgevoerd in een container in Papendrecht met laboratoriumapparatuur uit zowel Leeds als Oost Londen, waarbij circa 1 kg LWA per mix is geproduceerd.
Lutumgehalte LWA	Percentage vaste bodemmineralen met een diameter kleiner dan 2 µm. In Engels: <u>L</u> ight <u>W</u> eight <u>A</u> ggregate, in Nederlands: Licht Gewicht Grind, oftewel kunstmatig geproduceerd grind, waarvan het soortelijk gewicht

	(aanmerkelijk) lichter is dan van (natuurlijk) grind.
Lytag	Voormalig in Nederland geproduceerd lichtgewicht grind uit vliegas.
Menggranulaat	Menggranulaat bestaat uit minimaal 50% beton en maximaal 50% metselwerkpuin.
Negatieve waarde	Voor sommige afvalstoffen, die men als grondstoffen kan gebruiken in het LWA-productieproces, ontvangt men een bedrag bij acceptatie in plaats van te moeten betalen voor grondstoffen. In dergelijke gevallen spreekt men van een negatieve waarde van de afvalstof.
NEN 3543	Door het Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) uitgegeven normblad voor grove lichte toeslagstoffen voor licht beton.
Niet-vormgegeven bouwstof	Is niet vormgegeven en heeft een korrelvormige (granulaire) structuur.
PAK	<u>P</u> oly-cyclische <u>A</u> romatische <u>K</u> oolwaterstoffen.
Pellettiseerbaarheid	De mate waarin de betreffende mix van diverse soorten grondstoffen te verwerken is tot vormvaste korrels.
Pellitiser	Het onderdeel van de Trefoil-installatie waarin er vanuit de mix van baggerspecie en/of diverse slibben lichtgewicht korrels worden gevormd.
PFA	Vliegas van poederkool gestookte centrale, zoals die van EoN op de Maasvlakte (Engelse term: <u>P</u> owdercoal <u>F</u> ly- <u>A</u> sh).
Pilot plant (scale)	Grootschalige proef uitgevoerd in de pilot installatie in Oost Londen, waarbij circa 400-500 kg LWA per mix is geproduceerd. De pilot installatie in Oost Londen is een waargetrouwe kleinere kopie van de LWA-productiefabriek in Tilbury (inclusief Trefoil-vorm van de oven), waarbij de LWA-korrel hetzelfde procédé doorloopt. (De gasstroom is echter wezenlijk anders dan in Tilbury).
Rijpen	Het proces van natuurlijk ontwateren en inklinken dat optreedt wanneer baggerspecie zonder bewerking enige tijd aan de lucht wordt blootgesteld.
ROI	Engels: <u>R</u> eturn <u>o</u> n <u>I</u> nterests, maat voor rendement van een investering.
Rookgasreiniging	Een nageschakelde zuiveringsstap om het vrijkomende rookgas vanuit de installatie te zuiveren voordat deze in de leefomgeving wordt uitgestoten.
RTAL	Engelse partner in het SKB-onderzoeksconsortium en eigenaar van de LWA-productiefabriek conform het Trefoil-procédé in Tilbury, Engeland.
Schudmaat	De mate waarin het geheel van beton moet worden gemengd om zo bij toepassing een goede samenstelling te verkrijgen.
Scott Mixer (Dry Powder Mixer)	Mixer specifiek bedoeld voor het droog (dus zonder toevoegen van water) mixen van droge materialen.
SCR - DeNOx	Door middel van <u>S</u> electieve <u>C</u> atalytische <u>R</u> eductie reduceren van stikstofdioxide tot onschadelijk stikstofgas. In de praktijk uitgevoerd door het injecteren van ammonia en het gebruik van een vaste catalysator in de rookgasstroom.
Sinteren	Het onder hoge temperatuur bewerken van stoffen, waarbij een stevige structuur (sinters) ontstaat.
SKB	<u>S</u> tichting <u>K</u> ennisontwikkeling en <u>K</u> ennistransfer <u>B</u> odem te Gouda.
SOD	<u>S</u> tructuurschema <u>o</u> ppervlakte- <u>d</u> elfstoffen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat).
Splijsterkte	De maximale druk die kan worden uitgeoefend op een pellet tot het moment dat deze splijt.
SS	Zuiveringsslib, engelse term Sewage Sludge.

Stack	Schoorsteen.
Thermal collapse/ thermal breakdown	Zodanige plotselinge verbranding van (met name) organisch materiaal dat het leidt tot uiteenvallen van de green pellet in de "Trefoil"-oven.
Thermische expansie	Zie: Thermal breakdown.
Thermische immobilisatie	Zodanige verhitting (circa 950 – 1400 °C) van baggerspecie en andere materialen, dat verontreinigde organische verbindingen worden verbrand en metalen worden vastgelegd in een kristalrooster. Producten: kunstgrond, kunstbasalt en baksteen.
Toepassings- hoogte	De hoogte van de laag waarin een bouw materiaal in een werk mag worden toegepast. Algemeen: hoe hoger de uitloging, hoe lager de toepassingshoogte.
Trefoil	In Engels: klavertje drie. De naam refereert aan de interne vorm van de ovens in de LWA-productiefabriek in Tilbury, Engeland.
Trefoil-oven	Oven waarin de green pellets gesinterd worden. Deze oven heeft intern de vorm van een klavertje drie waardoor de korrels continue in beweging zijn, wat tot uniforme kwaliteit en efficiënte energie-overdracht leidt.
Uitloging	Onttrekken van stoffen aan een (poreuze vaste) stof door dompelen in een vloeistof.
UoEL	<u>U</u> niversity of <u>E</u> ast <u>L</u> ondon, oftewel Universiteit van Oost Londen.
UoL	<u>U</u> niversity of <u>L</u> eeds, oftewel Universiteit van Leeds.
Verdichtingsmaat	De mate waarin beton verdicht kan worden. Door bijvoorbeeld trillen wordt restant lucht uit het beton gedreven.
Vormgegeven bouwstof	Een vormgegeven bouwstof is "duurzaam", vormvast en heeft tenminste 50 cm ³ volume.
Waterabsorptie	De mate waarin er water wordt opgenomen door de lichtgewicht korrels.
Waterbodem	Bodem die behoort tot het oppervlaktewater in de zin van de Wvo, via het oppervlaktewater of de daartoe bestemde ruimte.
Wcf	Water-cementfactor.
Wrijvingshoek (hoge/lage)	De wrijvingshoek is de hoek waarbij gestapeld los materiaal gaat stromen. Deze hoek is voor elk materiaal specifiek.
XRF	Röntgen Fluorescentie, techniek om te analyseren waaruit de macrosamenstelling van het minerale deel van een bepaald monster bestaat, vaak uitgedrukt in metaaloxides (totaal is in principe altijd 100%).
Zekerheidsfactor (ZF)	Door variaties die voortkomen uit heterogeniteit van een partij en uitgevoerde handelingen kunnen analyseresultaten afwijken van het werkelijke gemiddelde. Voor de gebruiker is een correctiefactor ZF bij de toetsing ingebouwd, zodat mag worden verwacht dat een product dat door de gebruiker is goedgekeurd ook werkelijk aan de eisen voldoet. $1,0 < ZF < 1,37$.
Zetmaat	Een indicatie voor de vloeibaarheid van beton.
Zuiveringsslib, communaal	Communaal zuiveringsslib is het slib dat als restproduct vrijkomt bij de zuivering van rioolwater afkomstig van huishoudens, bedrijven en verhard oppervlak, zoals straten.
Zuurstofpermeabi- liteit van beton	De mate waarin het beton zuurstof kan doorlaten.

VERANTWOORDING EN OPBOUW VAN HET RAPPORT

Voor u ligt het eindrapport van de studie van de Stichting Kennisontwikkeling Bodem (SKB) over lichtgewicht grind, geproduceerd uit verschillende secundaire grondstoffen inclusief verontreinigde baggerspecie.

Deze Trefoil-studie SV-517, met als officiële titel:

Thermische immobilisatie van baggerslib met grondreinigingsresidu, vlieg-as, rioolslib en/of zuivering-slib volgens het gepatenteerde Trefoil-proces

is tot stand gekomen in een samenwerkingsverband bestaande uit Boskalis Dolman, DRSH, Gemeentelijk Havenbedrijf, Holland Innovation Team, Tauw en van Engelse zijde RTAL Tilbury en de universiteiten van Leeds en Oost Londen. Als sponsor is opgetreden de provincie Noord-Holland. Holland Innovation Team is opgetreden als coördinator en penvoerder van het project.

Het Trefoil-project (kortweg: productie van lichtgewicht grind uit secundaire stoffen, met name baggerspecie; Trefoil betekent in het Engels letterlijk klaver drie) is een uniek internationaal project geworden, waarin gebleken is dat ondanks alle ondervonden moeilijkheden een resultaat kan worden neergezet dat aan de verwachtingen voldoet.

Het project is officieel van start gegaan op 1 oktober 2001. De oorspronkelijke doorlooptijd werd geschat op ruim 1 jaar. Dat eerst in oktober 2003 een eindrapport kon worden geproduceerd, is te wijten aan het feit dat internationale regelgeving een specifieke en niet altijd te voorziene voorbereiding vereist. Uiteindelijk heeft interpretatie van de regelgeving aan beide zijden tot meer dan een jaar vertraging geleid, waaruit lering getrokken moge worden voor andere internationale onderzoeksprojecten.

Het Trefoil-project is volgens een strakke planning gestart en in verschillende fasen uitgevoerd. In een inleidende periode zijn contacten gelegd met SKB en is een projectvoorstel voor SKB geschreven en goedgekeurd. Vervolgens is in fase 0, na een bezoek aan Engeland door een onafhankelijke groep van deskundigen, verslag uitgebracht (hoofdstuk 1).

Na fase 0 is begonnen met de selectie van 'Nederlandse' secundaire stoffen welke geschikt zouden kunnen zijn voor de productie van Trefoil lichtgewicht grind. In een monstercampagne zijn de diverse stoffen bemonsterd, geanalyseerd en naar een geselecteerde locatie gebracht (hoofdstuk 2).

In een trial in Papendrecht is vervolgens een aantal mixen uitgetest, teneinde de kwaliteit van de individuele materiaalstromen te kunnen inschatten. Hiervoor is een installatie vanuit Leeds overgebracht en zijn 19 mixen getest (hoofdstuk 3).

In hoofdstuk 4 wordt fase 2 beschreven: het produceren van lichtgewicht grind vanuit 5 mixen van materiaalstromen. Dit is gedaan in Leeds. Met de resultaten zijn vervolgens in een discussie binnen het Trefoil-consortium 3 mixen samengesteld, welke in de pilot-installatie zouden kunnen worden gebruikt om enige honderden kilo's lichtgewicht grind te produceren.

In het vervolg bleek snel dat overbrenging van de benodigde materialen op grote problemen zou stuiten, vanwege het verschil in interpretatie van de Engelse en Nederlandse overheid over de vereiste transportvergunning. Enerzijds heeft dit grote vertraging gekost, anderzijds heeft het er-

toe geleid dat de materialen al in Nederland zijn ontwaterd en gedroogd. Het materiaal is uiteindelijk naar Londen vervoerd. De voorbereiding van de grootschalige proef in Oost Londen wordt beschreven in hoofdstuk 5.

In juli 2003 is de grootschalige proef uitgevoerd aan de universiteit van Oost Londen. Van de drie geselecteerde mixen zijn aanzienlijke hoeveelheden lichtgewicht grind geproduceerd. De installatie, het protocol voor de monsternamen en de begeleiding van de proeven, worden beschreven in hoofdstuk 6.

Voor de acceptatie van een lichtgewicht grind-product is het van belang de markt te horen. Dit is gedaan in samenwerking met het hiervoor geëigende gremium: het CUR (Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving) in Gouda. Er is een workshop georganiseerd; de resultaten hiervan zijn meegenomen in een marktstudie uitgevoerd door Tauw. De resultaten van de marktstudie en interacties met de markt zijn verwoord in hoofdstuk 7.

Het in Engeland geproduceerde grind is naar Nederland vervoerd waar uitloogproeven, stookproeven en sterkteproeven zijn uitgevoerd. Uitloogproeven moeten uitsluitend geven over toepassing volgens criteria uit het Bouwstoffenbesluit. Stookproeven in combinatie met metingen ten tijde van de pilotproeven in Londen zijn van belang voor de rookgasreiniging van een toekomstige installatie in Nederland. Onderzoek verricht door Intron geeft inzicht in de sterkte en eventueel gebruik van Trefoil in lichtgewicht betonsoorten of andere toepassingen. Een en ander wordt vermeld in hoofdstuk 8.

In hoofdstuk 9 staat de uiteindelijke (financiële) haalbaarheid van de Trefoil-installatie, zoals deze in Nederland gebouwd zou kunnen worden, centraal. De opzet, de rookgasreiniging en een eerste financiële verkenning passeren de revue.

In hoofdstuk 10 zullen tenslotte de conclusies van deze SKB-studie worden getrokken, alsmede de witte vlekken die er nog zijn met betrekking tot de toepasbaarheid van het Trefoil-concept in de Nederlandse situatie. Aanbevelingen voor de toekomst completeren dit laatste hoofdstuk.

Als hulp bij het lezen moge nog worden vermeld dat ieder hoofdstuk wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de fase dan wel het aandachtspunt dat in dat hoofdstuk is beschreven.

HOOFDSTUK 1

INLEIDING, DOELSTELLING VAN HET TREFOIL SKB-PROJECT

1.1 Achtergrond

In Nederland wordt sedert lange tijd naar oplossingen gezocht om de hoeveelheden te storten verontreinigde baggerspecie te verminderen. In Nederland worden op jaarbasis tientallen miljoenen tonnen baggerspecie opgebaggerd. Enige miljoenen kuub zijn hiervan vervuild, zodat deze moeten worden opgeslagen in speciale depots. Een van deze depots is het depot op de eerste Maasvlakte, de Slufter. Bagger die hier wordt geborgen bestaat uit specie die niet op zee verspreid mag worden en waarvan de kwaliteit varieert van klasse 2 tot en met 4. In Nederland zoeken we reeds lange tijd naar oplossingen om de aanleg van dure depots te verminderen; met name het ruimtebeslag hiervan is in ons land een belangrijke factor, waarmee zeker in de toekomst rekening moet worden gehouden.

In het impuls B2-programma worden diverse methoden beschreven, waarmee in principe de hoeveelheden te bergen specie zouden kunnen worden verminderd. Echter voor een groot deel van de ernstig verontreinigde Nederlandse specie, die bestaat uit zeer fijn materiaal met een 'cocktail' (mix van organische en anorganische) aan verontreinigingen, bestaan grofweg maar 2 opties: storten of thermisch immobiliseren. In het eindrapport van dit programma wordt de optie "thermische immobilisatie" als een methode beschreven, die technisch aan de eisen voldoet, en in principe haalbaar is, maar voorsnog te duur is vanwege de hoge energiekosten van immobilisatie³. In het impuls B2 worden een aantal thermische immobilisatie concepten besproken die lichtgewicht grind produceren.

1.2 Lichtgewicht grind

Natuurlijk grind heeft een soortelijk gewicht tussen 1.8 en 2.3 ton/m³, afhankelijk van o.a. het kwartsgehalte; er wordt in Nederland een enorme hoeveelheid grind gebruikt in de bouw en infrastructuur. Op jaarbasis wordt ongeveer 30 miljoen ton grind in Nederland gebruikt, vooral in betontoepassingen⁴. Ook in de bouwindustrie wordt wereldwijd geïnvesteerd in innovaties en verbeteringen, zowel in beton als in de afzonderlijke ingrediënten zoals zand(vervangers), grind, vulstoffen en cement(vervangers). Omdat steeds duurzamer wordt gebouwd, en zelfs grind op bepaalde plaatsen schaars dreigt te worden, is de gedachte ontstaan om te zien naar grindvervangers. Het zou een doorbraak kunnen zijn, wanneer er grind wordt geproduceerd dat goedkoop, sterk en licht zou zijn. Lichtgewicht grind maakt beton immers lichter en maakt hierdoor het beton geschikt voor specifieke toepassingen, zoals hoogbouw (met lichter beton kan hoger gebouwd worden) en overkappingen (met lichter beton kan een grotere overkapping gerealiseerd worden, denk aan stadions, bruggen en viaducten).

In de ons omringende landen, maar vooral in de V.S. en Japan wordt reeds lange tijd lichtgewicht grind geproduceerd. Voorbeelden van lichtgewicht grind, geproduceerd van natuurlijk materiaal (klei), zijn Liapor en Argex. In de tachtiger jaren is men in de V.S. begonnen ook soorten lichtgewicht grind te produceren van afvalstoffen als bijvoorbeeld vliegias. In Nederland geproduceerd lichtgewicht grind van vliegias is bekend onder de naam Lytag.

³ Verwerking van baggerspecie, Basisdocument voor besluitvorming (Impuls B2), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Rijkswaterstaat, AKWA rapport 00.006, september 2000

⁴ 2^e Structuurschema Oppervlakedelfstoffen, Landelijk beleid voor bouwgrondstoffenvoorziening, Deel 1, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

In de negentiger jaren is in Nederland begonnen met het promoten van de productie van (lichtgewicht) grind uit baggerspecie: Ecogrind. Het was de bedoeling om vervuild baggerslib thermisch te immobiliseren tot een verkoopbaar product: (lichtgewicht) grind. Tot de bouw van een grootschalige fabriek is het vooralsnog niet gekomen.

1.3 Trefoil lichtgewicht grind (LWA)

Op het eerste gezicht lijkt het Trefoil-principe één van de vele lichtgewicht productiemethoden. De experts op het gebied van lichtgewicht stellen bij een eerste kennismaking met Trefoil de hamvraag: "Waarin onderscheidt het Trefoil-proces zich van andere LWA ("Light Weight Aggregate") productieprocessen?". Er is een aantal fundamentele verschillen tussen het Trefoil-concept en haar 'concurrenten'. In de eerste plaats is dit het ovenconcept, bestaande uit een binnen- en een buitenoven, waardoor geen of nauwelijks warmteverlies ontstaat, dit in tegenstelling tot conventionele cementovens die ook worden gebruikt voor lichtgewicht grindproductie (zgn. rotary kilns). Verder heeft de binnenkant van de Trefoil-oven de vorm van een klavertje drie (zie figuur 1 en 2). Deze constellatie zorgt ervoor dat de korrels in de ronddraaiende oven niet aan elkaar worden gesinterd. Dit is een probleem dat vele lichtgewicht grindproducenten kennen, maar erg moeilijk is te verhelpen. Ook worden de afzonderlijke korrels door het Trefoil-concept aan dezelfde hoeveelheid warmte blootgesteld. Tot slot is de sturing van de Trefoil-ovens erg nauwkeurig te regelen, dat wil zeggen: sturing kan optreden binnen een bereik van enkele graden Celsius. Dit proces leidt dus uiteindelijk tot de volgende belangrijkste voordelen ten opzichte van conventionele productieprocessen:

- Constante, hoge kwaliteit van het LWA;
- Betere energie-efficiëntie.

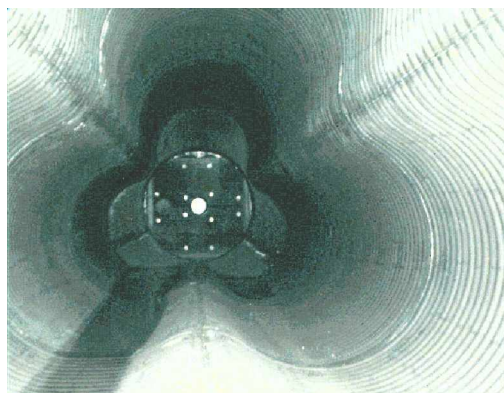


Fig. 1. Binnenkant Trefoil-oven.



Fig. 2. Binnenkant oven met rollend grind tijdens productieproces.

1.4 Oprichting van het Trefoil-consortium

Vanuit contacten van HIT was bekend dat er in Tilbury, Essex, Engeland een operationele productiefabriek staat. In deze fabriek wordt van een mengsel (mix) van vliegglas van de nabijgelegen kolencentrale, zuiveringszand van de nabijgelegen waterzuivering en zogenaamde Londenklei afkomstig van uitgravingen en (tunnel)boringen, lichtgewicht grind gemaakt. De fabriek in Tilbury nabij Londen is in april 2001 geopend en de bedoeling is dat er op jaarbasis 200.000 ton lichtgewicht grind zal worden geproduceerd (250.000 kubieke meter lichtgewicht grind met een soortelijk gewicht van gemiddeld 0,8). De hypothese van Holland Innovation Team (HIT) was dat de klei vervangen zou kunnen worden door (ontwaterde) baggerspecie om zodoende een gelijkwaardig hoogwaardig LWA te produceren. Vanuit deze hypothese is HIT begonnen diverse par-

tijen te interesseren in het onderzoeken van de haalbaarheid hiervan. De geïnteresseerde partijen zouden verenigd worden in een onderzoeksconsortium.

De eerste contacten tussen de uiteindelijke consortiumleden dateren van 1999. In 1999 is er tussen RTAL, de producent van het Trefoil lichtgewicht grind en Holland Innovation Team een intensieve kennisuitwisseling ontstaan met betrekking tot LWA-productie in Europa en met name het Trefoil-concept. In 2000 is van een aantal kwaliteiten van Rotterdamse baggerspecie een aantal proefruns 'productie van lichtgewicht grind' uitgevoerd door de universiteit van Leeds. Hiervoor zijn twee soorten baggerspecie gebruikt, aangevuld met een aantal Engelse materiaalstromen. De geproduceerde Trefoil-korrels gaven aanleiding tot positieve verwachtingen met betrekking tot het Trefoil-proces. Een aantal presentaties en bezoeken over en weer leidt tot een discussie over een gezamenlijk project. Hiervoor is een consortium opgericht. Het consortium dat het Trefoil-onderzoek gezamenlijk wilde opzetten en uitvoeren bestaat uit:

- Boskalis Dolman;
- Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam;
- Holland Innovation Team;
- SITA;
- Tauw;
- Van Engelse zijde: RTAL;
- DRSH (in een later stadium toegetreden).

Tevens is de provincie Noord-Holland in een later stadium toegetreden als sponsor.



1.5 Doelstelling SKB-onderzoek

De eerste contacten met de Stichting Kennisontwikkeling Bodem dateren van begin 2001; in een aantal gesprekken met vertegenwoordigers van SKB is het Trefoil-concept uitgelegd en uitgebreid geanalyseerd. In eerste instantie bestond er bij het SKB enige scepsis jegens het concept van thermische immobilisatie van vervuild baggerslib. Niet vanwege het feit dat het principe technisch niet uitvoerbaar zou zijn, maar omdat deze oplossing voor het baggerspecieprobleem financieel onhaalbaar zou zijn. Een aantal eerdere mislukkingen op het gebied van lichtgewicht grind-productie is hier onder andere debet aan. Na een grondige analyse heeft SKB toch besloten een voorstel voor financiële ondersteuning in behandeling te nemen.

Officieel is het groene licht van het SKB gegeven op 1 oktober 2001. Wel werd hieraan de voorwaarde verbonden dat er in de beginfase een go/no go-beslissing zou worden ingebouwd. Afgesproken is dat in het beginstadium twee onafhankelijke experts zouden bepalen of Trefoil werkelijk meerwaarde heeft ten overstaande van eerdere initiatieven op het gebied van lichtgewicht grind-productie.

Uitgebreid is met het SKB gesproken over de doelstellingen van het Trefoil-onderzoek.

De uiteindelijke (project-)titel van Trefoil-studie SV-517 is geworden:

Thermische immobilisatie van baggerslib met grondreinigingsresidu, vliegias, rioolslib en/of zuiverings-slib volgens het gepatenteerde Trefoil-proces.

De doelstelling van het project is:

Het onderzoeken van de haalbaarheid van het Trefoil-proces voor de Nederlandse situatie, bezien vanuit een milieutechnische, civieltechnische en economische invalshoek.

Samengevat zal, in vier fasen, een aantal stappen worden uitgevoerd. In deze achtereenvolgende fasen zal na selectie van geschikte stoffen en het testen van verschillende mixen van die stoffen, op steeds grotere schaal de juiste mix worden samengesteld en uitgetest door hier Trefoillichtgewicht grind van te maken. Door schaalvergroting toe te passen en de gegevens van de eerdere fase mee te nemen kan een steeds nauwere bandbreedte (percentage) van de individuele stof voor iedere mix worden bepaald. Verder worden in de loop van het traject door middel van analyses en evaluaties de kwaliteiten van de mengsels verbeterd. Uiteindelijk zal dit resulteren in een grote proef in de testinstallatie van de universiteit van Oost Londen met drie geselecteerde mixen. Hiermee zullen enige honderden kilo's lichtgewicht grind kunnen worden ~~tegenwoordig~~ ^{tegenwoordig} tijd zullen bij de productie van deze mixen emissies worden beschouwd, zullen er sterktemetingen worden gedaan en zal het uitlooggedrag worden beschouwd. Op deze manier zal een goed inzicht worden verkregen of het Trefoil-concept ook in Nederland technisch uitvoerbaar is, maar belangrijker: of het milieutechnisch te verwezenlijken en economisch rendabel te maken is.

Mede daarom bestaat de Trefoil-studie niet alleen uit technisch onderzoek, maar is er ook aandacht geschonken aan markt en marketing; er zal een uitgebreide marktstudie worden uitgevoerd. De afzonderlijke fasen zijn uitgebreid beschreven in het plan van aanpak, zoals beoordeeld en goedgekeurd door het SKB. Van de verschillende fasen is in een planning chronologisch aangegeven welke onderdelen zullen worden aangepakt. Het beschrijven van de resultaten in dit rapport houdt dezelfde volgorde aan als het Plan van Aanpak.

1.6 Organisatiestructuur

Als organisatiestructuur is gekozen voor een werkgroep met daarboven een stuurgroep. De werkgroep bestaat uit vertegenwoordigers van de consortiumleden met als voorzitter de heer Wevers (Boskalis Dolman). Hierboven heeft een stuurgroep geopereerd, eveneens bestaande uit tenminste een vertegenwoordiger van ieder van de consortiumleden. De voorzitter is geleverd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam in de persoon van de heer Tiedo Vellinga. Als contactpersoon van SKB is de heer Robert van Vechgel opgetreden.

Coördinator en penvoerder voor het consortium in het SKB-project is Holland Innovation Team, dat ook de contacten met de Engelse partners heeft gelegd. Teneinde de coördinatie te verbeteren waren zowel de voorzitter van de werkgroep als de penvoerder aanwezig bij zowel de overleggen van de werk- als stuurgroep. Afgesproken is om Engels zo veel mogelijk als voertaal te hanteren. Aan Engelse zijde zijn als contactpersonen benoemd respectievelijk de heren Terry Green (RTAL Tilbury), Derren Cresswell (universiteit van Leeds) en Darryl Newport (universiteit van Oost Londen).



VERIFICATIE, START TREFOIL, SELECTIE MATERIAALSTROMEN, COLLECTIE MATERIAALSTROMEN EN BEMONSTERING

2.1 Inleiding, verificatie via second opinion

Volgens afspraak met de SKB zijn in de eerste fase van het SKB Trefoil-project een aantal experts ingeschakeld om te verifiëren dat de principes van het Trefoil-concept de moeite waard zijn om voor de Nederlandse situatie nader te onderzoeken. Hiertoe zijn de Bouwdienst en de Dienst Weg en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat en het onafhankelijk consultancy bureau Scarabee verzocht om hun mening te geven over het Trefoil-concept (zie bijlage A). Met de SKB zijn hierover vooraf afspraken gemaakt. Wanneer het advies van Scarabee en Rijkswaterstaat (AKWA) daartoe aanleiding zouden geven, zou het project niet verder worden uitgevoerd (go or no go). Bij een positief advies zou het Trefoil-project worden voortgezet volgens de ingediende fasering en planning (zie figuur 3).

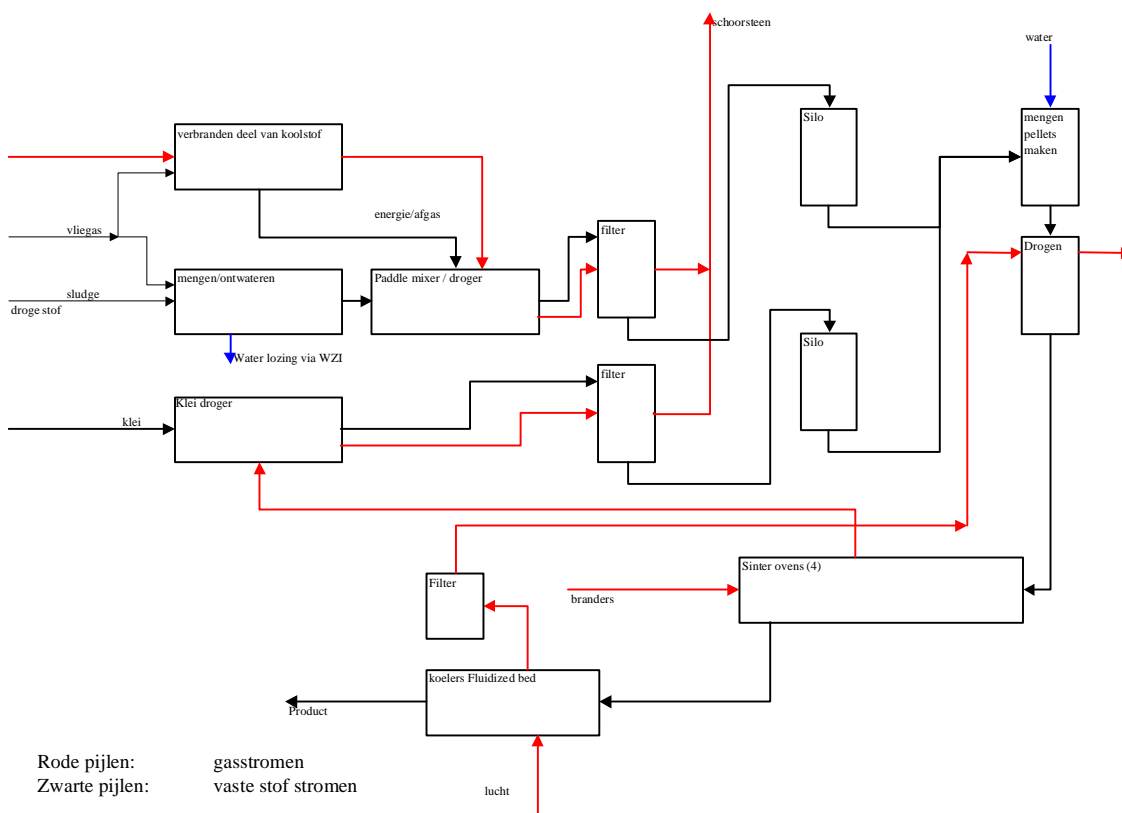


Fig. 3. Voor de duidelijkheid is hierboven het globale Trefoil-schema afgebeeld, gemaakt door Scarabee in samenwerking met AKWA. De stromen worden gedroogd, vervolgens gemixed, hierna volgt het toevoegen van enig water, zodat de pelletizer zogenaamde green pellets kan maken. In de eerste ovens worden de green pellets verwarmd, waarbij al het water wordt verdampt, waarna ze in de speciale Trefoil-oven bij een temperatuur van circa 1100 – 1150 °C worden gesinterd. Het hele proces is

continu, waarbij de overmaat aan warmte zoveel mogelijk in andere stappen van het proces wordt gebruikt.

In oktober 2001 is de operationele Tilbury-plant in Engeland door een delegatie bezocht (zie figuur 4).

Op alle vragen van de kant van de delegatie is zo goed mogelijk (ook van Engelse zijde) antwoord gegeven. Het bezoek en de antwoorden op de vragen staan vermeld in de korte rapportage welke door Scarabee is opgesteld. De algemene indruk van Scarabee ten aanzien van het Trefoil-concept was uitermate positief; in vergelijking met de uitgangspunten en resultaten van eerdere lichtgewicht grind-initiatieven werd gesteld dat de energiebalans van het Trefoil-concept veel gunstiger is dan andere lichtgewicht grind productieconcepten. Voorts werd het feit dat er een fabriek in het SKB-project participeert die al daadwerkelijk lichtgewicht produceert als zeer positief ervaren. In Nederland zijn vele initiatieven m.b.t. tot productie van lichtgewicht grind niet verder gekomen dan de tekentafel. Ook de precieze sturing, het continue proces en de uniformiteit van de korrels en het ontbreken van verkitting van de korrels wekte bewondering. Er werden kanttekeningen geplaatst bij de rookgasreiniging die zeker voor de Nederlandse situatie onvoldoende zou zijn en het feit dat de invoer van veel nattere baggerspecie dan de in Engeland gebruikte materiaalstromen de nodige energetische (en dus ook financiële) consequenties zou hebben.



Fig. 4. De Tilbury-plant in Engeland.

Resumerend waren de conclusies van het Scarabee-rapport zodanig positief van aard dat in overleg met het SKB het groene licht is gegeven voor het SKB Trefoil-project. Het consortium heeft daarop besloten om met volle kracht het SKB Trefoil-project te beginnen.

2.2 Selecteren van de Nederlandse secundaire stoffen

Een van de belangrijkste voorwaarden van het Trefoil-principe is een goede mix van de afzonderlijke stoffen samen te stellen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de juiste stoffen worden gekozen. Immers uiteindelijk moeten de verschillende stoffen worden gemengd tot een coherente mix waarvan pellets moeten kunnen worden gemaakt. Het is duidelijk dat niet alle secundaire stoffen zonder meer geschikt zijn om een goede korrel (green pellet) te produceren en vervolgens in een goede kwaliteit lichtgewicht grind resulteren. In het voorstel aan het SKB staat vermeld dat er een aantal secundaire stoffen (materiaalstromen) zal worden gebruikt, te weten:

- verontreinigde baggerspecie;

- rioolslib;zuiveringslib;
- bodemreinigingsresidu;
- vliegas.

Van de enorme ervaring van de Engelse partners is dankbaar gebruik gemaakt om een eerste selectie te maken van de materiaalstromen die in principe geschikt zijn voor het Trefoil-concept. Zo werd al in een vroeg stadium duidelijk dat er niet te veel zout in de individuele stromen mag zitten en dat wanneer er teveel zand in het mengsel (mix) zou komen, dit problemen zou opleveren bij het sinteren. Ook sturen op het totaal gehalte aan organische stof is belangrijk voor goede lichtgewicht eigenschappen van het LWA. Een grote variatie in een individuele stroom (zandgehalte, maar ook korrelgrootteverdeling en grote verschillen in organisch gehalte) zou de kwaliteit van het lichtgewicht grind verminderen. Sterke verontreiniging van een individuele deelstroom ten slotte zou zeker tot problemen kunnen leiden met emissies dan wel mogelijke uitlozing in relatie tot het Nederlandse bouwstoffenbesluit.

De leden van het consortium hebben, na een grondige inventarisatie van alle beschikbare gegevens en met medeneming van de hierboven vermelde uitgangspunten, afgesproken vooral die stoffen te selecteren waarvan er voldoende beschikbaar was. Eveneens werd verlangd dat de kwaliteit voldoende constant zou zijn. Algemeen werd besloten een aantal baggerslibben te nemen. Deze zouden kunnen worden geleverd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam; vervolgens zou bodemreinigingsresidu kunnen worden geleverd door Boskalis Dolman, vliegas zou zowel geleverd kunnen worden door Sita als DRSH, terwijl zuiveringslib door DRSH zou kunnen worden geleverd. Aangezien geen van de consortiumleden over rioolslib beschikte is in een vroeg stadium besloten geen gebruik te maken van rioolslib; additioneel werd gekeken naar hoogcalorische materiaalstromen. Sita stelde oliehoudende slibben voor, echter na ampel be raad blijkt de hoeveelheid niet toereikend en de kwaliteit niet constant genoeg.

Uiteindelijk is besloten drie kwaliteiten baggerspecie te gebruiken, te weten: ten eerste zoute baggerspecie uit het westelijk havengebied (B1) en meer "zoete" baggerspecie uit het oude oostelijk havengebied (Waalhaven, B2); dit om de effecten van de samenstelling van deze baggerspecie op de kwaliteit van het LWA te kunnen onderzoeken. Ten slotte is een kwaliteit baggerspecie genomen uit een deponie (B3), omdat zeer veel inzicht over de hierin aanwezige verontreinigingen bestond. Al in een vroeg stadium is besloten om hoogcalorische vliegas van kolencentrales mee te nemen, ook omdat in Engeland deze materiaalstroom als energiedrager voor een goede energiebalans zorgt. Daarnaast is gekozen om ook vliegas na verbranding van zuiveringslib en van huishoudelijk afval (AVI's) bij het onderzoek te betrekken. Hoewel deze vliegassen een veel te geringe calorische waarde bezitten en een sterk variabele korrelgrootte alsmede een niet erg constante kwaliteit hebben, zijn deze materiaalstromen getest vanwege hun negatieve waarde. Wanneer we de materialen in Engeland bezien komen de baggerspecie en het bodemreinigingsresidu overeen met de natuurlijke Londense klei, en zijn uitermate geschikt als bindmateriaal. Het Nederlandse zuiveringslib kan worden beschouwd als een goed substituu t voor het Engelse zuiveringslib, terwijl vliegas van de kolencentrale van de Maasvlakte (EON) dienst doet als de energiedrager, zoals in Tilbury de coal fired power plant fly ash.

Na grondige voorbereiding zijn de volgende materiaalstromen geselecteerd. Voor het verdere Trefoil-traject worden de notaties gebruikt zoals onderstaand.

Tabel 1. Geselecteerde materiaalstromen.

B1	Baggerspecie	PFA	Vliegas van poederkoolcentrale
B2	Baggerspecie	FA	Vliegas van huisvuilverbrandingscentrale
B3	Baggerspecie	ISSA	Vliegas van verbrande zuiveringslib

B4	Grondreinigingsresidu	SS	Zuiveringsslib
----	-----------------------	----	----------------

2.3 Bemonstering

Als onderdeel van fase 1 is in januari 2002 gestart met het verzamelen van de deelstromen. Afgesproken was om de baggerspecie naar de Boskalis-locatie in Schiedam, de vliegassen naar de Sita-locatie in Schiedam en het zuiveringsslib naar de DRSH-locatie te Dordrecht te brengen. Dit omdat op deze locaties voldoende opslagruimte beschikbaar is, maar belangrijker nog, vanwege de vergunningen. Het daadwerkelijke opbaggeren van de baggerspecie vanuit twee verschillende Rotterdamse havens is uitgevoerd door een baggervaartuig in opdracht van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (zie figuur 5). Er werd ongeveer één elevatorbak van resp. zoete baggerspecie uit de Waalhaven en van de zoute baggerspecie van het westelijk havengebied opgebaggerd (Botlek). De vliegassen zijn vanuit de desbetreffende locaties in big bags naar Schiedam getransporteerd, terwijl het zuiveringsslib deels ontwaterd is opgeslagen in speciaal daarvoor geschikte zogenaamde accubakken.



Fig. 5. Opbaggeren van baggerslib uit de Rotterdamse haven.

De individuele (input) materiaalstromen zijn bemonsterd en geanalyseerd; voor de analyses wordt verwezen naar de bijlage B1.

Alle inputstromen, met uitzondering van vliegass van de poederkoolcentrale (PFA), kunnen beoordeeld worden als verontreinigd in de zin dat één of meerdere parameters de interventiewaarden overschrijden. De vliegass van huisvuilverbrandingscentrales moet zelfs gekwalificeerd worden als gevaarlijk bedrijfsafval conform de Europese EURAL-regelgeving.

2.4 Het antwoord op de vele gestelde vragen: veel kleinschalige productieruns

In de eerste discussies van het Trefoil-consortium over de te gebruiken materiaalstromen bleek in een vroeg stadium dat er veel verschillende effecten kunnen optreden wanneer Trefoil-korrels uit een mix worden geproduceerd en wanneer die korrels (green pellets) worden gesinterd.

Zo bleek de "pelletiseerbaarheid" van de afzonderlijke mixen cruciaal:

- Welke mix geeft nog een redelijk uniforme korrel, die niet uit elkaar valt?
- Tot welke niveau moeten de verschillende stromen eerst worden gedroogd om een goede korrel (green pellet) te verkrijgen?

- Wat is het effect van iedere geselecteerde materiaalstroom op de kwaliteit van de green pellet?

Naast effecten, welke zich kunnen voordoen bij het maken van een green pellet, kunnen ook gewenste en ongewenste effecten optreden bij het sinteren. Zo vindt bij het sinteren soms thermal collapse plaats wanneer zich op korrelniveau snelle verbrandingsprocessen ontwikkelen daar waar zich veel organisch materiaal bevindt. Dit effect is te vergelijken met het optreden van hot spots.

Een mix die zogenaamde bloating toont (poreuze matrix, door gasemissies) verlaagt het soortelijk gewicht van het vervaardigde product, hetgeen de kwaliteit voor een bepaalde markt gewild maakt. Hoge porositeit heeft echter ook nadelen, met betrekking tot de waterabsorptie en de sterkte. Ook werd ons door de Engelse partners verteld dat bepaalde mixen geen bloating toonden, maar juist een 'hard gebakken' schil. Vanuit LWA-eigenschappen is de optimale LWA-korrel er één die poreus van binnen is en een dicht, verglaasde buitenoppervlak heeft.

Afgesproken werd als uitgangspunt een mix te nemen welke het meest zou lijken op de in Engeland gebruikte mix in de installatie in Tilbury. Dit betekende dat de basismix, net zoals in Engeland, uit drie variabelen zou bestaan. Voorts werd afgesproken dat de percentages van de individuele materiaalstromen van deze mix vervolgens gevarieerd zouden worden.

Vanuit deze basismix zou dan een aantal mixen worden samengesteld met meer dan drie variabelen.

Effecten die kunnen optreden en de kwaliteit verminderen zijn o.a.:

- Te natte mix: geen goede green pellet;
- Te droge mix: geen goede green pellet;
- Te droge stof toegevoegd aan goede mix: ongelijkmatige distributie van die stof in green pellet;
- Te grote variatie korrelgrootte: geen goede green pellet.

Lokale concentratie van energie in mengsel (geen goede menging van materiaal met hoge calorische waarde : thermal collapse

Al snel bleek dat het scala aan mogelijke effecten bij de 8 geselecteerde Nederlandse materiaalstromen zo groot zou kunnen zijn, dat er niet viel te ontkomen aan een fase waarin veel voorkomende vragen beantwoord zouden kunnen worden met behulp van kleine relatief goedkope trial- & error-testen.

Teneinde veel informatie te vergaren met relatief weinig materiaal is besloten om in totaal 19 mixen te testen, samengesteld uit de geselecteerde materiaalstromen. Juist omdat er in het begin van het Trefoil-project nog te veel onbekend was van de eigenschappen van de Nederlandse materiaalstromen, hebben werk- en stuurgroep gekozen voor een groot aantal kleinschalige testen, om zodoende bij opschaling in de volgende fase geen effecten te moeten constateren die relatief eenvoudig waren uit te sluiten.

Bij de keuze van de eerste mixen voor de kleinschalige productieruns is dankbaar gebruik gemaakt van de kennis van de Engelse consortiumpartners.

KLEINSCHALIGE "LABORATORIUM" PROEVEN IN PAPENDRECHT

3.1 Inleiding en doel laboratoriumproeven

Hoewel de commerciële (grootschalige) installatie in Tilbury, die werkt volgens het Trefoil-concept in principe geschikt is voor het testen van 'nieuwe mixen' materiaalstromen, is er het bezwaar dat grote hoeveelheden materiaal nodig zijn om testen uit te voeren. Bovendien is het bij het uitproberen van nieuwe mengsels vooral van belang dat relatief snel gekeken kan worden of de kwaliteit van de korrel en de emissies aanleiding geven om met het testen van dat betreffende mengsel verder te gaan. Daarom werkt RTAL reeds lang samen met de universiteit van Leeds. Daar bestaat veel ervaring met het testen van verschillende mengsels van stoffen waarvan lichtgewicht grind gemaakt kan worden.

In Leeds beschikt men over een klein model van een Trefoil-oven en een kleine pelletiseerinstallatie, waarmee de eerste belangrijke data kunnen worden verzameld met betrekking tot de geschiktheid van ieder mengsel. In Engeland drong het besef door dat er in deze procedure nog een stap ontbreekt, namelijk een pilot-installatie die het continue proces van lichtgewicht productie zou kunnen simuleren. Deze installatie is op het terrein van de universiteit van Oost Londen gebouwd en is volgens planning in april 2002 in dienst genomen.

Het SKB Trefoil-consortium was – zoals staat aangegeven in het oorspronkelijke projectplan – eveneens voornemens om kleinschalige testen uit te laten voeren aan de universiteit van Leeds, gevolgd door testen in de pilot-installatie in Londen. Omdat er nog heel weinig bekend was van de Nederlandse afvalstoffen – zeker bij de experts in Leeds - is in overleg met de partners en het SKB besloten om nog een fase in te lassen: laboratoriumschaal-testen.

Met de ervaring van Leeds zou op deze manier snel kunnen worden bepaald welke Nederlandse materiaalstromen absoluut niet en welke in principe wel gebruikt zouden kunnen worden in een mengsel van materiaalstromen. Ook is het mogelijk met laboratoriumschaal-testen om snel, en met weinig materiaal, verschillende varianten van mengsels uit te testen.

De sequentie van testen, die het consortium derhalve in onderling overleg heeft afgesproken uit te voeren in het SKB Trefoil-project, is in chronologische volgorde:

- fase 2a: 'lab-schaal': testen van de Nederlandse (dus voor Trefoil nieuwe) individuele inputstromen (productie van circa 1 kg per mix);
- fase 2b: 'bench-schaal': zoeken naar optimale mixverhouding(en); (productie van circa 20 kg per mix);
- fase 3: "pilot plant-schaal": produceren van een hoeveelheid stabiele LWA per nieuwe mix, die getest kan worden op milieu- en civiele eigenschappen (productie van circa 500 kg per mix).

Het doel van de eerste testen kan derhalve het beste worden omschreven als een eerste verkenning van de in Nederland beschikbare materiaalstromen, te weten:

Tabel 2. Materiaalstromen in Nederland.

B1	Baggerspecie	PFA	Vliegas van poederkoolcentrale
B2	Baggerspecie	FA	Vliegas van huisvuilverbrandingscentrale
B3	Baggerspecie	ISSA	Vliegas van verbrande zuiveringsslib
B4	Grondreinigingsresidu	SS	Zuiveringsslib

De algemene doelstelling van de ingelaste fase 2a was het testen van deze individuele basis-inputstromen op hun geschiktheid bij het samenstellen van een mengsel waaruit lichtgewicht grind zou kunnen worden geproduceerd conform het Trefoil/Tilbury-proces. Meer concreet zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

Welke basis-inputstromen zijn in principe geschikt, welke combinaties hiervan zijn geschikt om samengevoegd en vervolgens gesinterd te worden?

Wat is het effect van het aan hoge temperaturen blootstellen (en het vervolgens sinteren) van deze basis-inputstromen in relatie tot het productieproces en wat is hiervan de invloed op de kwaliteit van het grind?

3.2 Overbrenging en opbouw laboratoriuminstallatie naar Nederland

Testen op geschiktheid van individuele stromen is een 'standaard eerste stap' bij het komen tot een 'nieuwe mix', waaruit een geschikte LWA zou kunnen voortkomen. Normaal gebeurt dit in het laboratorium van de Universiteit van Leeds. RTAL, de exploitant van de Tilbury/Trefoil-installatie, heeft een samenwerkingsverband met deze Universiteit en enkele medewerkers voeren deze testen min of meer gestandaardiseerd (volgens vast protocol) uit.

Oorspronkelijk zou het consortium de bemonsterde en geanalyseerde basis-inputstromen, eventueel na voorbehandeling zoals drogen, naar Leeds laten overbrengen. Echter, vóór het overbrengen van afvalstoffen naar een ander EU-lidstaat moet een EU-vergunning aangevraagd worden voor dit grensoverschrijdend transport van afval (EVOA-procedure). Gezien de doorlooptijd van deze procedure en de beperkte benodigde apparatuur voor deze testfase is gekozen voor een andere oplossing. De laboratorium testapparatuur is in een kleine vrachtauto overgebracht vanuit Leeds naar Papendrecht. Op het terrein van het geotechnisch laboratorium van Boskalis Dolman is een container ingericht met deze apparatuur, alwaar ingenieursgeoloog Derren Cresswell en een medewerker van de Universiteit van Leeds de testen hebben uitgevoerd. Boskalis Dolman bezit de benodigde vergunningen hiervoor en heeft logistieke ondersteuning verleend. Voordeel van deze werkwijze was, naast het voorkomen van planningsproblemen, dat direct ingespeeld kon worden op vragen en knelpunten die naar voren kwamen bij deze testen.

3.3 Productie 19 mixen

Tijdens deze fase zijn uitsluitend droge inputstromen gebruikt. Hiertoe zijn de inputstromen via een droogstoof tot >99% d.s. gedroogd en vervolgens weer 'losgemaakt'. Het pelletiseren heeft plaatsgevonden via een 'hellende disc pelletiser', die uit East London is overgebracht. Voor het pelletiseren is vervolgens steeds een kleine hoeveelheid water op de roterende massa gespreid, zodat pellets gevormd werden. De gevormde pellets worden handmatig ingevoerd in een "bench top" versie van de Trefoil-oven, waarin ongeveer 1,5 liter pellets per batch getest kunnen worden. Via het 'firing regime' wordt het doorlopen van de werkelijke Trefoil-oven gesimuleerd.

In totaal zijn 19 mixen getest. Basis-mix was een mix welke veel op de Tilbury-mix lijkt, dat wil zeggen 55% specie, 40% assen en 5% zuiveringsslib (alles op basis van droge stof). In elke mix is slechts één specie en één as gebruikt. Aangezien er 4 speciesoorten zijn geselecteerd en 3 'assen' levert dit al 12 combinaties op. In de laatste 7 mixen is met name het speciegehalte, dan wel het zuiveringsslib-gehalte opgevoerd om het effect op de LWA-pellet te onderzoeken. Mixratio's zijn met name gebaseerd op eerder onderzoek en het optimale organisch stofgehalte in de pellet.

3.4 Onderzoeksvragen laboratoriumtesten Papendrecht

De vragen die het Trefoil-consortium in de kleinschalige laboratoriumtest-fase in ieder geval beantwoord wilde zien, laten zich als volgt formuleren:

Kunnen goede pellets gevormd worden (per mix is gekeken naar het pelletiseerproces)?
Hoe gedragen de pellets zich tijdens firing (treedt thermal breakdown op, rookt de pellet (gasemissies, bloating), sintert de pellet goed (met korst))?

Bovendien wordt de kwaliteit van iedere pellet visueel beoordeeld en zullen 'stabiele' pellets worden getest op dichtheid en waterabsorptie.

3.5 Resultaten, conclusies en aanbevelingen voor vervolg

3.5.1 Resultaten

Er zijn in deze fase, uitgaande van 19 mixen, daadwerkelijk Trefoil-korrels geproduceerd.

3.5.2 Conclusies

De belangrijkste conclusies ten aanzien van de te gebruiken basis-inputstromen en hun geschiktheid voor het produceren van een stabiele LWA-korrel, zijn in de onderstaande tabel samengevat. Deze conclusies gelden als randvoorwaarden voor het vervolg van de testen.

Tabel 3. Conclusies bruikbaarheid stromen.

Stroom	Conclusies
Baggerspecie B1, B2 & B3	Geschikt als basis-inputstroom
Slibkoek (grond- en baggerspeciereinigingsresidu) B4	Niet geschikt als enige basis-inputstroom, maar kan wel tot 50% van de B1, B2 of B3 stroom worden bijgevoegd
Zuiveringsslib verbrandingsas ISSA (incinerated sewage sludge ash)	Geschikt als additief, echter tot een maximum van 40% vanwege pelletiseer-eigenschappen
Poederkoolcentrale-as PFA	Geschikt als additief, wenselijk vanwege calorische waarde
Huisvuilcentrale-as FA	In beperkte mate geschikt als additief, tot maximaal 5%, vanwege nadelige invloed op LWA-kwaliteit en gasachtige emissies tijdens 'firing'

3.5.3 Aanbevelingen

Zes geteste mixen zijn gekwalificeerd als 'geschikt voor vervolg' en zes andere als 'mogelijk geschikt voor vervolg'. Hierbij zijn echter nog geen economische motieven, of gewenste LWA-eigenschappen (marktsegment) betrokken. Op basis van de vastgestelde randvoorwaarden per basis-inputstroom, de geschikte mixen uit de laboratoriumtesten en de economische en markt(segment)-wensen zijn in overleg met de Universiteit van Leeds en RTAL de testmixen voor de volgende fase geselecteerd en samengesteld.

Ten aanzien van de individuele basis-inputstromen kunnen nog de volgende aanbevelingen worden genoemd:

- Bij het pelletiseren moet aandacht besteed worden aan zowel 'natte' als 'droge' pelletisatie;
- Bij het 'firing' is het aan te bevelen om speciale aandacht te besteden aan het thermische 'break down'-effect. Hiertoe is het nuttig om verschillende firing regimes toe te passen.

HOOFDSTUK 4

"BENCH-SCALE" PROEVEN IN LEEDS

4.1 Inleiding en doel bench-scale proeven

Als algemene doelstelling van de 2b fase van het SKB Trefoil-project werd een aantal onderzoeksvragen geformuleerd.

- Kan er uit de in deze fase gebruikte mixen een goede stabiele green pellet worden gemaakt?
- Kan er van de in deze fase gebruikte mixen een redelijke hoeveelheid goede Trefoil LWA-korrels worden geproduceerd?

En meer specifiek: welke verhouding van basis-inputstromen is hierbij het meest geschikt. Verder zouden in deze fase 2b de eerste gegevens kunnen worden verzameld met betrekking tot de LWA-eigenschappen zoals sterkte en uitloging, dichtheid en waterabsorptie.

4.2 Productie van 5 mixen

De "Bench-scale testen" zijn uitgevoerd op de Universiteit van Leeds. Oorspronkelijk was het de bedoeling dat de aanvraag van de EU-transportvergunning voor het overbrengen van de grondstoffen naar Engeland en de laboratoriumtesten in Papendrecht parallel in de tijd zouden lopen. Zodoende zouden de monsterhoeveelheden, benodigd voor de bench-scale én pilot-plant, tegelijk overgebracht kunnen worden na uitvoering van de laboratoriumfase. De EU-transportvergunningsprocedure heeft echter (aanmerkelijk) langer geduurd dan voorzien. Gelukkig bleek dat overbrenging van redelijk kleine monsterhoeveelheden (in de orde van grootte van enkele emmers) niet vergunningplichtig is. De monsterhoeveelheden voor de bench-scale testen in Leeds zijn dan ook via de speciale monstertransportservice van Tauw verzonden (die daarvoor vergunningen heeft). Zodoende is geen tijd verloren.

Veel aandacht is besteed aan de samenstelling van de te testen mixen. Hierbij zijn de resultaten uit de laboratoriumfase leidend geweest, maar is tevens gekeken naar variatie in economische (negatieve) waarde en verontreinigingsconcentratie van de verschillende basis-inputstromen. De samenstelling van de uiteindelijk geselecteerde mixen (mixen uit de bench-scale fase zijn genummerd met BS = Bench-Scale) en de argumentatie daarbij is in de onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 4. Samenstelling geselecteerde mixen.

Mix nr.	"Bagger-species" ⁵	"Vliegassen"	Zuiverings-slib	Argumentatie
BS1	55% B1	40% PFA	5% SS	Komt sterk overeen met "Tilbury-mix", bovendien als "geschikt" beoordeeld in laboratoriumfase (mix 3 uit lab-fase)
BS2	65% B2	30% ISSA	5% SS	Idem als 1, maar dan met 'zoutere' specie en andere vlieg-as. ISSA onder maximum %. Bovendien ook als "geschikt" beoordeeld in laboratoriumfase (mix 4 uit lab-fase)
BS3	45% B1 & 20% B4	20% ISSA & 5% FA	10% SS	Optimalisatie naar hoogste opbrengst aan inputstromen. Bekijken van invloed van grondreinigingsresidu (nog niet maximum-%), vliegassen met hoge gate-fee en tevens hoger % zuiverings-slib, aangezien dit als "mogelijk" is beoordeeld in vorige lab-fase
BS4	40% B2 & 20% B4	30% PFA	10% SS	Komt sterk overeen met "Tilbury-mix" (geen variatie in vliegassen), maar met hoger SS-% en baggerspecie deels vervangen door grondreinigingsresidu
BS5	30% B1 & 25% B2	10% ISSA & 20% PFA & 5% FA	10% SS	Bekijken van invloed van verschillende baggerspecies door elkaar (zoet en zout), alle vliegassen door elkaar (verontreinigd en niet) en hoog % zuiverings-slib

B1: Baggerspecie

PFA: Vlieg-as van poederkoolcentrale

B2: Baggerspecie

FA: Vlieg-as van huisvuilverbrandingscentrale

B4: Grondreinigingsresidu

ISSA: Vlieg-as van verbrande zuiverings-slib

SS: Zuiverings-slib

Bij de productie van de 5 mixen is gebruik gemaakt van dezelfde 'hellende disc pelletiser' uit East London als gedurende de laboratoriumfase. Echter, door de grotere hoeveelheden te produceren LWA kon deze pelletiser meer continu worden gebruikt, waardoor het pelletiseerproces meer leek op een 'commerciële situatie' inclusief de daarbij horende fysische processen en waterverbruik.

De gepelletiseerde LWA-korrels ('green pellets') zijn na drogen en afzeven van de fijne delen in de bench-scale Trefoil-oven in Leeds ingevoerd. Vanwege de hoeveelheid beschikbare green pellets was continue invoer niet mogelijk.

4.3 Resultaten bench-scale testen Leeds

De antwoorden op de belangrijkste vragen (kan er een stabiele green pellet worden geproduceerd en vervolgens een redelijke hoeveelheid LWA Trefoil-korrel worden gesinterd?) staan vermeld in de volgende tabel:

⁵ Er is besloten om verder geen gebruik te maken van baggerspecie B3 vanwege de beperkte beschikbaarheid van dit deponie slib.

Tabel 5. Beoordeling mixen.

Mix nr.	Beoordeling pelletiseerbaarheid	Beoordeling LWA-kwaliteit
BS1	Redelijk goed, enigszins onregelmatig	Ondanks clinkering kan de structuur van individuele korrels worden beoordeeld. Deze hebben een 'glanzende' of 'glasachtige' oppervlakte en een poreuze matrix, wat een goede indicatie is voor potentieel als LWA
BS2	Zeer slecht, geen stabiele korrel te vormen	N.v.t., geen stabiele pellets
BS3	Goed	Vergelijkbaar als mix nr. 1, echter meer clinkering ⁶ en minder 'glanzende' oppervlakte
BS4	Slecht; zeer kleine pellets. Variatie in pelletiseersnelheid, -hoek of watergebruik betekende geen verbetering	N.v.t.; pellets vallen in oven uit elkaar
BS5	Goed, af en toe te grote pellets	Goede kwaliteit LWA, lage dichtheid en goede interne porositeit

Vanuit het pelletiseerproces bleek dat met name mix 2 slecht pelletiseerbaar was. Dit wordt geweten aan het hoge gehalte aan vlieggas uit verbrande zuiveringsslib, dat bovendien de enige 'as' was in deze mix. De korrelgrootteverdeling van de individuele droge basis-inputstromen is een belangrijke factor bij het goed of slecht pelletiseren van bepaalde mixen. In de vlieggas van verbrande zuiveringsslib waren nogal wat 'grovere' delen aanwezig in vergelijking met de vlieggas afkomstig van de poederkool- en huisvuilverbrandingsinstallatie.

Bij het sinteringsproces in de roterende Trefoil-oven bleek dat met name LWA-korrels in mix 4 zo weinig interne sterke bezaten, dat zij snel uit elkaar vielen en er geen goede LWA-korrels werden geproduceerd. Echter, alle geproduceerde mixen hadden in enige vorm last van het uit elkaar vallen van de korrels. Dit is deels te wijten aan het feit dat de oven batchgewijs gevoed moest worden, wat leidde tot problemen bij het plotseling verbranden van organische stof (thermische expansie) bij het te volgen temperatuurtraject. Hierdoor was het moeilijk om de temperatuur te controleren, wat tot 'clinkering' (samensmelten van korrels tot homogene massa) heeft geleid. Deze problemen worden bij continue invoer in het grootschalige proces van een ware LWA-fabriek (veel) minder verwacht vanwege een geleidelijker opwarmingstraject en een betere temperatuurcontrole. Hoewel het geven van schattingen van waterabsorptie en dichtheid moeilijker is bij geclinkerd materiaal, is het nog wel goed mogelijk om het effect van de mixverhouding te kunnen beoordelen op deze belangrijke parameters van LWA.

Voor de mixen zijn waterabsorptiepercentage en dichtheden bepaald. Echter, vanwege de clinkering worden deze niet als representatief beschouwd voor 'commercieel te produceren LWA. Beter testresultaten worden verwacht in de pilot-plant met een continue voeding.

Tevens zijn (samenstellings)analyses en uitloogonderzoek (maximale beschikbaarheidsproef via verkorte kolomtesten bij pH 12) uitgevoerd op de fired pellets. Dit onderzoek is uitgevoerd om te kijken of er onverwachte problemen zouden opduiken met betrekking tot het verbranden van de organische verontreinigingen en het vastleggen van de zware metalen. Gezien het onderzoeksstadium en de hoeveelheid geproduceerd LWA en monsterneming moeten deze testen als 'indicatief' beoordeeld worden. Echter, het onderzoek gaf geen aanleiding om de onderzoeksopzet te wijzigen, maar bevestigde wel het vermoeden dat uitloggen van met name de zogenaamde 'exotische metalen' een belangrijk aandachtspunt is.

⁶ Samensmelten van korrels tot een homogene massa.

4.4 Conclusies en aanbevelingen voor vervolg

4.4.1 Conclusies

Geconcludeerd wordt dat bij de bench-scale testen het uit elkaar vallen van 'green pellets' in de oven (en bijbehorende stofvorming) enerzijds en clinkering anderzijds belangrijke problemen geweest zijn. Verwacht wordt dat dit bij de testen in de pilot-plant in East London (en eventuele testen in Tilbury) niet of in veel mindere mate zal optreden. Reden hiervoor is dat in East London en Tilbury tussen het pelletiseren en sinteren een 'polish-stap' is ingebouwd. Via deze 'polish-stap' krijgt de 'green pellet' een soort coating, wat helpt bij het verkrijgen van een minder permeabel oppervlak.

Geconcludeerd wordt dat het produceren van green pellets en uiteindelijk Trefoil LWA-korrels van de mixen 1, 3 en 5 als succesvol kan worden beschouwd. Voor de keuze van de te testen mixen in de pilot-plant van East London hebben daarom met name de mixen 1, 3 en 5 'model' gestaan.

4.4.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen ten aanzien van de mixsamenstellingen

Ten opzichte van de mixsamenstellingen in de bench-scale fase is toch een aantal kleine aanpassingen doorgevoerd op basis van discussies binnen de werkgroep, met de Universiteiten van Leeds en East London en met RTAL. De voorgestelde en uiteindelijk gekozen mixen voor East London en de argumentatie hiervoor zijn onderstaand weergegeven. Bij de argumentatie hebben parameters als poorttarief, verontreinigingsgraad en dus financiën en mogelijke milieutechnische consequenties meegespeeld. Uiteindelijk is gekozen voor een mix die erg lijkt op die in Engeland wordt gebruikt (mix 1), een mix die sterk verontreinigd is (mix 2), dit om ook in een later stadium iets te kunnen zeggen over worst case, en een mix (mix 3), welke zich als intermediair laat kwalificeren.

Tabel 6. Samenstelling gekozen mixen 1,2 en 3.

Mix. nr. #	Samenstelling	Argumentatie
1	60% B1, 30% PFA, 10% SS (gebaseerd op:BS1: 55% B1, 40% PFA, 5% SS)	Gebaseerd op mix 1 uit de bench-scale fase. Echter, iets meer B1 en iets minder PFA vanwege gatefee's. Zuiverings-slib is in alle mixen op 10% gesteld.
2	45% B1, 20% B4, 20% ISSA, 5% FA, 10% SS	Identiek aan mix 3 uit de bench-scale fase.
3	35% B1, 25% B2, 10% ISSA, 20% PFA, 10% SS (gebaseerd BS3:30% B1, 25% B4, 10% ISSA, 20% PFA, 5% FA)	Gebaseerd op mix 5 uit de bench-scale fase. Echter, geen FA (meer) in deze mix. Vanwege hoge verontreinigingsgraad en sterke negatieve emotie is FA slechts in 1 mix toegepast.

#: Nieuwe nummering voor de Pilot-plant-fase.

Aanbevelingen ten aanzien van het sinterproces

Ten aanzien van het sinterproces wordt verder nog aanbevolen speciale aandacht te schenken aan variatie in het temperatuur(-straject) en verblijftijd in de oven bij de grootschalige testen. Tevens is het kritisch volgen van vastleggen van zware metalen via het sinteren (via uitloogonderzoek) een belangrijk aandachtspunt voor vervolg.

HOOFDSTUK 5

VOORBEREIDING "PILOT-PROEF" IN EAST LONDON

5.1 Inleiding en doel 'pilot-proef' East London

Algemene doelstelling van deze fase 3 is het produceren van een stabiele LWA-korrel, constant van kwaliteit. De productie hiervan dient (zoveel mogelijk) in een continu productieproces plaats te vinden (dus niet batchgewijs per processtap). Per mix dienen minimaal 300-400 kg stabiele LWA-korrels van constante kwaliteit geproduceerd te worden. Van de korrels zal beton gemaakt worden, dat getest kan worden op sterkte, waterabsorptie, duurzaamheid, verwerkbaarheid en andere voor beton van belang zijnde eigenschappen. Daarnaast zullen milieuparameters als samenstelling en uitloggedrag getest worden en zal zo veel mogelijk informatie worden verzameld m.b.t. de emissies gedurende het proces.

De mixsamenstellingen en 'karakterisering' zijn onderstaand schematisch weergegeven:

Tabel 7. Karakterisering mixen.

	B1	B2	FC	PFA	ISSA	FA	SS
Mix 1	60 %			30%			10%
	"Tilbury"-like mix						
Mix 2	45%		20%		20%	5%	10%
	"High level of contamination" mix						
Mix 3	35%	25%		20%	10%		10%
	"Intermediate" mix						

Om de fase 3 goed uit te kunnen voeren is door het Trefoil-consortium een aantal activiteiten ontplooid, te weten:

- Voorbehandeling inputstromen (droogstappen), par. 5.2;
- Opstellen van een massabalans, par. 5.3;
- EU-exportvergunningaanvraag en transport naar Engeland, par. 5.4;
- Opstellen van een monstername protocol, par. 5.5;
- Opstellen van een emissie metingen plan, par. 5.6.

5.2 Voorbehandeling inputstromen

Voor het kunnen uitvoeren van testen in East London is het noodzakelijk dat alle inputstromen absoluut droog zijn (> 95% d.s.). De invoer en het pelletiseerproces zijn ingesteld op droge stromen. Bovendien dient met name zuiveringsslib ook droog te zijn in verband met het transport. "Nat" (ontwaterd) zuiveringsslib in een afgesloten ruimte, zoals een krat, gaat 'gisten' en bovendien zeer onaangenaam ruiken.

Voor de assen (PFA, ISSA en FA) was de eis van 'droog zijn' geen probleem, aangezien deze stromen al bijna absoluut droog (100% d.s.) waren, zoals ook uit de analyses van de inputstromen blijkt. Echter, de baggerspecies (circa 25-35% d.s.), het grondreinigingsresidu (circa 40%

d.s.) en het zuiveringsslib (circa 25% d.s.) waren verre van absoluut droog. Deze stromen dienden voorbehandeld te worden.

Bij de opzet van de proef was overigens geen rekening gehouden met deze voorbehandeling, aangezien men ervan uitging dat deze voorbehandeling onderdeel zou zijn van de pilot-plant. Deze verkeerde veronderstelling heeft tot behoorlijke extra kosten geleid. De aanzienlijke tijd, die de gehele voorbehandeling in Nederland heeft geduurd, bleek uiteindelijk geen invloed op de einddatum van het project te hebben, omdat met name de doorlooptijd van de EU-transportvergunning kritisch bleek (zie ook paragraaf 5.4.).

Met name het drogen van het zuiveringsslib bleek een groot probleem. Oorzaak hiervan was de omvang van de te drogen hoeveelheid (ordegrootte 500 kg) in combinatie met het specifieke 'drooggedrag' van zuiveringsslib. De te drogen hoeveelheid was (veel) te groot voor drogen in een droogstoof en (veel) te klein voor een commerciële drooginstallatie voor zuiveringsslib (zoals er bijvoorbeeld in Beverwijk staat). Dit zorgde ervoor dat alleen speciale mobiele (test)drooginstallaties geschikt waren. Bij een aantal leveranciers van droogapparatuur zijn offertes aangevraagd, maar zowel de doorlooptijden als de kosten waren respectievelijk lang en (te) hoog. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het drooggedrag van zuiveringsslib; bij zo'n 60% d.s. gaat het zuiveringsslib over in de zogenaamde 'lijmfase'. Het zuiveringsslib wordt dan zeer plakkerig en taai en kleeft bijvoorbeeld vast aan de wand van een roterende mobiele droger. Gezien deze complicaties is uiteindelijk gekozen voor een praktische oplossing: namelijk het gebruiken van gedroogd zuiveringsslib uit een commerciële drooginstallatie voor de testen in East London (gedroogd in een fluïde bed-reactor bij een temperatuur van zo'n 105 °C). Nadeel hiervan is dat niet precies hetzelfde zuiveringsslib gebruikt wordt als in de laboratorium- en bench-scale testen. De verwachting van met name DRSH was echter dat de samenstelling niet veel zou verschillen. Circa 400 kg van dit gedroogde zuiveringsslib is uiteindelijk ontvangen en aanvullend geanalyseerd. Uit de analyses (zie bijlage B) bleek dat de samenstelling van het gedroogde zuiveringsslib inderdaad in grote lijnen overeen kwam met het ontwaterde zuiveringsslib (slibkoek), hoewel het gehalte aan vluchtige aromaten duidelijk lager lag bij het gedroogde zuiveringsslib.

Ook aan het drogen van de baggerspecies en het grondreinigingsresidu is veel aandacht besteed. Omdat het drogen van baggerspecie minder gecompliceerd is dan zuiveringsslib (baggerspecie heeft bij drogen geen 'lijmfase'), werd in eerste instantie gedacht aan een mobiele droger. Uit offertes bleek dat ook hiervoor de kosten hoog zijn en de doorlooptijd lang is. Bovendien kon geen garantie gegeven worden dat geen fijne delen uit de (roterende) droogapparatuur geblazen zouden worden. Om deze redenen is ook voor het drogen van de baggerspecies en het grondreinigingsresidu voor een praktische oplossing gekozen.

Op het terrein van Boskalis Dolman Mineral Recycling (BMR) te Schiedam is een 'droogtafel' ingericht. De 'vochtige' baggerspecies en het grondreinigingsresidu zijn batchgewijs op een fijn rooster neergelegd, waaronder een blower hete lucht heeft geblazen. Door middel van plastic zeilen om de 'droogtafel' heen werd de hete lucht geforceerd naar boven geleid; door het rooster en langs de specie en zodoende de specie aan de lucht drogend. Bovendien blies een extra blower ook nog eens hete lucht over de 'droogtafel', zodat de specie van 2 kanten gedroogd werd. Baggerspecie in een laag van circa 10 cm was zodoende in ongeveer 1 dag droog met >95% d.s.

De gehele operatie heeft ca. 20 dagen geduurd.

5.3 Opstellen massabalans

Vanuit de mixsamenstellingen en de geanalyseerde inputstromen (zie bijlage B.1) kan van iedere in deze fase gebruikte mix een theoretische samenstelling berekend worden. Deze "theoretische samenstelling" is onderstaand weergegeven:

Tabel 8. Theoretische samenstelling mixen.

	MIX 1	MIX 2	MIX3
Organic content %	15,3	16,4	13,8
Sulphates (= SO3 %)	0,6	1,2	0,8
Metals (mg/kg dm)			
Cadmium (Cd)	4	17	3
Chromium (Cr)	84	105	80
Copper (Cu)	147	397	217
Nickel (Ni)	37	41	37
Lead (Pb)	122	584	132
Zinc (Zn)	533	1833	653
Arsenic (As)	23	27	24
Mercury (Hg)	1,6	1,5	1,4
Mineral oil (mg/kg dm)			
Mineral Oil-total C10-C40	2540	2695	2293
Sum HCH's	n.d.	n.d.	n.d.
Sum Heptacloor & -epoxide	n.d.	n.d.	n.d.
Sum Drins (STI-table)	n.d.	n.d.	n.d.
Sum DDT/DDE/DDD	n.d.	n.d.	n.d.
Sum PCB's (7)	180	151	143
PAK (16 EPA)	10	30	7
	MIX 1	MIX 2	MIX3

5.4 EU-exportvergunning en transport naar Engeland

Voor het overbrengen van afvalstoffen naar het buitenland is een EU-transportvergunning noodzakelijk conform de zogenaamde EVOA-procedure. Hiertoe moet Nederland toestemming geven voor export en Engeland toestemming geven voor import. Nederlands Bevoegd Gezag is het Ministerie van VROM, welke het IMA (Internationaal Meldpunt Afvalstoffen in Woerden) gemachtigd heeft om de procedurele zaken voor te bereiden. Met het IMA heeft in maart 2002 voor het eerst een afstemmingsoverleg plaatsgevonden. Hieruit bleek dat een relatief korte procedure voorzien werd (ordegrootte 6 weken), aangezien het hier een proef betrof die deels door VROM (via SKB) betaald werd, om een relatief kleine hoeveelheid ging (totaal 1 container) en bovendien een belangrijk maatschappelijk milieuprobleem betrof (oplossen van de baggerspecie-problematiek). Gezien de aard van de afvalstoffen was het wel nodig om 3 vergunningen aan te vragen: 1 voor de baggerspecie (inclusief grondreinigingsresidu); 1 voor de assen en 1 voor het zuiveringsslib. Aangeraden werd om de vergunningen eerst in concept in te dienen, zodat mogelijke knelpunten vooraf aangepakt konden worden voordat de formele procedures gestart zouden zijn. Dit is gebeurd op 18 maart 2002.

Het IMA heeft op basis van deze concept-aanvraag een aantal suggesties gedaan voor wijzigingen. Bovendien zijn door het onderzoeksconsortium resterende vereisten, als contracten, machtigingen en borgstellingen, verzameld. Om het proefkarakter aan te tonen is een (speciale engelse versie) van het SKB-projectplan bijgevoegd bij de aanvraag. De officiële aanvraag is op 24 april ingediend.

Bij een EVOA aanvraag is het van groot belang dat aangegeven wordt of het hier gaat om een aanvraag voor grensoverschrijdend transport met als doel "definitieve verwijdering" (lees storten) of "hergebruik". Een maat voor hergebruik is dat minimaal 50% van de over te brengen materialen in of als product worden hergebruikt. In het geval van de Trefoil-proef worden alle materialen volledig hergebruikt, wat ook aangegeven is op de EU-transportformulieren. Bovendien is (schriftelijk) de garantie gegeven dat als materialen "over" zijn na de proef, deze teruggetransporteerd zullen worden naar Nederland en niet in Engeland zullen worden gestort. Nadat de formulieren zijn ingediend gaf het IMA op 30 mei 2002 aan dat VROM de proef anders ziet. In hun ogen moet op het formulier ingevuld worden "definitieve verwijdering", juist omdat het een proef betreft en dus niet op voorhand de garantie gegeven kan worden dat ook werkelijk herbruikbare producten geproduceerd zullen gaan worden. Bovendien gaf VROM aan dat deze weg vaker doorlopen is en dat de buitenlandse instellingen met deze werkwijze akkoord gaan, aangezien het een proef betreft. Op verzoek van VROM zijn de formulieren dan ook aangepast. Naderhand zijn op verzoek van het IMA nog tweemaal wijzigingen dan wel aanvullingen gegeven op de oorspronkelijke aanvraag. Op 8 juli heeft het IMA de aanvraag doorgezonden aan de Engelse beoordelende instantie (Environment Agency). Op 29 juli heeft VROM haar goedkeuring verleend aan uitvoer van alle inputstromen, waarvan een afschrift in de Staatscourant heeft gestaan.

Echter, al op 16 juli kregen we van het Environment Agency (EA) een definitief "nee" op het verzoek tot invoer voor alle stromen. Hun argument hiervoor was dat Engeland geen afval accepteert voor "definitieve verwijdering", waarbij zij zich op het zelfvoorzieningsprincipe beriepen. Het feit dat het hier ging om hergebruiksprouf, en dat op verzoek van VROM om formele redenen "definitieve verwijdering" was aangegeven op het formulier, maakte geen indruk op het EA. Door deze uitspraak kwam het onderzoek in een impasse, want door de opstelling van zowel VROM als EZ was het verkrijgen van een EU-transportvergunning voor de inputstromen naar Engeland onmogelijk.

Om het dilemma onder de aandacht van VROM te krijgen is een 2-sporen beleid gevolgd:

- probleem onder de aandacht brengen bij 'beslissers' op het Ministerie, refererend aan de baggerspecieproblematiek en de door VROM gewenste oplossingsrichting, die met deze proef onderzocht wordt;
- bij VROM indienen van een bezwaarschrift op de besluiten, waarin bezwaar gemaakt wordt tegen het feit dat VROM de proef als 'verwijdering' ziet in plaats van 'nuttig hergebruik' (d.d. 23 augustus 2002).

Intern bij VROM is de oorspronkelijke insteek en beslissing bediscussieerd, wat geleid heeft tot een verandering van standpunt. VROM is (nog steeds) van mening dat de overbrenging formeel gezien moet worden gezien als 'verwijdering' (vanwege het proefkarakter), maar gaat akkoord met vermelding van 'nuttig hergebruik' op het formulier om de proef niet te frustreren. Deze zienswijze is ook weergegeven in de overwegingen en toetsing van het uiteindelijke besluit. Op 4 september is de 2^e aanvraag voor grensoverschrijdend transport ingediend bij het IMA en op 30 september heeft VROM ingestemd met de aanvragen en de uitvoer officieel goedgekeurd.

Nu VROM de aanvragen heeft goedgekeurd en heeft doorgestuurd naar de EA, moest deze een standpunt innemen ten aanzien van de proef en de hiervoor benodigde Nederlandse inputstromen. Aangezien men intern bij EA erg verdeeld was (met name een verschil van inzicht tussen de landelijke EA voor grensoverschrijdend transport en de lokale EA-afdeling), heeft men lang

gewacht met het formeel in behandeling nemen van de aanvragen. Vanuit de landelijke EA werd aangegeven dat als men de aanvraag formeel in behandeling zou nemen, en men niet binnen de wettelijke termijn tot overeenstemming zou komen, de aanvraag alsnog zou worden afgewezen.

Op verzoek van de EA is in de periode oktober 2002 tot januari 2003 driemaal aanvullende informatie verschaft (die elke keer eerst in concept verstuurd is en afgestemd is met de landelijke EA). Hierbij is informatie verstrekt (o.a. via rapporten) over:

- vergunningen van zowel RTAL, UoEL als de transporteur;
- bestemming van de afvalstoffen en locatie van de proef;
- achtergrond en toelichting over het proces en percentage hergebruik;
- analyses en berekening dat het hierbij niet ging om gevaarlijk afval (conform Eural).

Uiteindelijk heeft dit ertoe geleid dat op 15 januari 2003 de (landelijke) EA de aanvragen formeel in behandeling heeft genomen, waarbij de informatie direct is doorgestuurd naar de lokale EA die uiteindelijk een beslissing tot wel of geen invoer diende te nemen.

Bij het nemen van een beslissing van de lokale EA bleek dat zij niet eerder met een dergelijke EVOA-procedure te maken hebben gehad, aangezien er in hun regio geen grootschalige verwerkingsinstallatie aanwezig is die 'buitenlands' afval verwerkt. De pilot plant-installatie bij de Universiteit van East London heeft een vergunning van de lokale gemeente en was pas sinds 2002 operationeel. Bij de afweging van de lokale EA speelden met name de volgende items:

- men was het er niet over eens of de pilot plant-installatie nu gezien moest worden als een research instelling of een commerciële verbrandingsinstallatie. In het geval van dat laatste zou de vergunning niet door de lokale gemeente, maar door de EA afgegeven moeten worden. Dit zou de Universiteit van East London enorm veel tijd (minimaal 6-9 maanden) en geld gaan kosten, wat feitelijk zou betekenen dat de pilot plant zou moeten sluiten;
- men was bang dat door vergunning af te geven voor het overbrengen van vliegias en zuiveringsslib voor deze proef een precedent geschapen zou worden. Men voorzag dat enorme hoeveelheden zuiveringsslib en vliegias van huisvuilcentrales naar Engeland geëxporteerd zouden gaan worden, waartegen de EA niets meer in zou kunnen brengen.

Uiteindelijk heeft de lokale EA beslist dat de pilot plant-installatie als research instelling gezien kan worden, maar dat de vliegias en het zuiveringsslib niet geïmporteerd mogen worden. Men wilde dus alleen vergunningen afgeven voor het importeren van de species en het slibkoekresidu, die uiteindelijk op 25 maart 2003 ontvangen zijn. Het EA adviseerde bovendien Engels zuiveringsslib en vliegias te nemen voor de proef. Hiervoor is gezien het voortraject door het consortium niet gekozen. Men heeft de benodigde hoeveelheden voor de pilot plant zover teruggeschroefd dat de hoeveelheden vliegias en zuiveringsslib onder de norm voor EVOA-vergunningverlening (elk 500 kg) vielen. Het zuiveringsslib en vliegias zijn als monstermateriaal door de monsternamedienst van Tauw (die daarvoor alle vergunningen bezit) naar Engeland getransporteerd. De baggerspecies en het grondreinigingsresidu zijn, gebruikmakend van de EU-transportvergunning, uiteindelijk op 4 april 2003 in een 20 ft zeecontainer naar Engeland getransporteerd (totaal circa 8 ton).

Uiteindelijk heeft het proces van EU-transportvergunning meer dan 1 jaar geduurd vanaf het moment van het eerste contact met het IMA. Bovendien is alleen een vergunning afgegeven voor de baggerspecie. Naast de onvoorziene tijdsvertraging werd het consortium geconfronteerd met aanzienlijke onvoorziene kosten.

5.5 Monsternameprotocol

Voorafgaande aan de uitvoering van de grootschalige testen in East London is een bezoek gebracht aan zowel de Universiteit van East London als aan RTAL in Tilbury door de heren Wevers en v/d Gaag.

Doelstellingen hiervan waren:

- De uitvoering van de proeven zo soepel en effectief mogelijk te laten verlopen, onder andere door een monsternameprotocol met de universiteit af te stemmen en te optimaliseren;
- Maken van definitieve afspraken omtrent rookgas-/emmissiemeting en –bemonstering (zie paragraaf 5.6);
- Opzet van de grootschalige Trefoil-proeven afstemmen op recente wijzigingen, zoals doorgevoerd in de grootschalige Trefoil-installatie in Tilbury.

Hieronder is het monsternameprotocol van de proeven weergegeven (figuur 6).

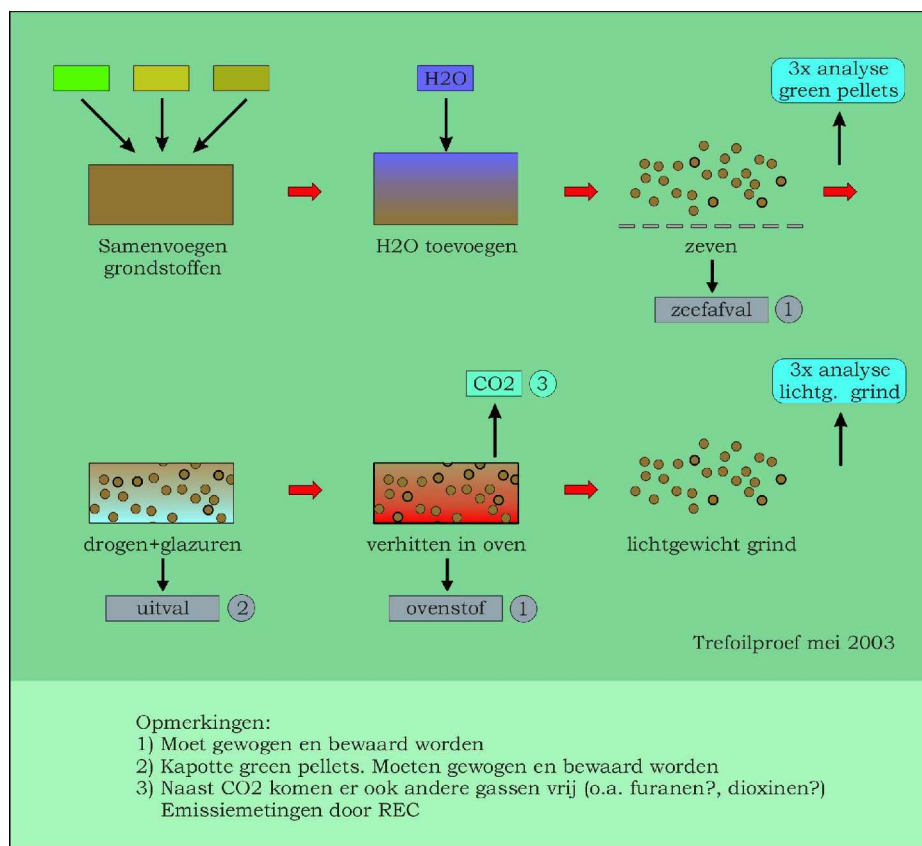


Fig. 6. Monsternameprotocol.

Uit gesprekken met RTAL bleek dat recentelijk een aantal wijzigingen zijn doorgevoerd in de commerciële installatie in Tilbury zoals:

- De PFA wordt niet meer vooraf in een aparte stap verbrand, waarbij de gewonnen energie gebruikt wordt voor de droging van inputstromen. De gehele PFA-verbrander is weggehaald, de PFA wordt in de firing/sinter verbrand en de energie wordt (alsnog) gebruikt in het droogproces;
- Oorspronkelijk werd het zuiveringsslib gedroogd tot >95%, waarna het gemengd werd met de andere droge inputstromen en vervolgens gepelletiseerd werd, waarbij overigens weer water werd toegevoerd. Recentelijk is men gestart met het mengen van alle droog inputstromen met 'nat' (mechanisch ontwaterd) zuiveringsslib tot een vochtpercentage dat direct pelletiseren mogelijk maakt. Zodoende is het energetisch dure drogen niet meer noodzakelijk en wordt nauwelijks tot geen water meer toegevoerd bij het pelletiseren;
- Er is voor de LWA een bufferstap (bunker) ingebouwd tussen drogen en sinteren. Op die wijze kan het proces toch doorlopen als er met één van beide onderdelen een (kort) oponthoud is, wat de constantheid van het productieproces ten goede komt.

Bij de uitvoering van de proeven, de interpretatie hiervan en de vertaalslag naar de haalbaarheid zijn bovengenoemde wijzigingen meegenomen.

5.6 Emissiemetingen plan

De installatie in Tilbury heeft geen moderne rookgasreinigingsinstallatie. De achterliggende redenering hiervoor is dat de inputstromen duidelijk 'schoner' zijn dan de voorgenomen Nederlandse inputstromen: schone klei uit de Londense underground, vliegashoudend van een elektriciteitscentrale die gestookt wordt op poederkool en zuiveringsslib. Uitsluitend het zuiveringsslib kan bijdragen aan verontreinigingen, maar in Tilbury wordt slechts voor zo'n 5% d.s. meegenomen in de mix. Bovendien worden in Engeland de rookgassen door de kleidroger gevoerd (directe droging), waardoor waarschijnlijk een deel van mogelijk resterende verontreinigingen afgevangen wordt. De RTAL-plant is verder zo ontworpen dat hete gas- en stroomstromen zo veel mogelijk worden teruggevoerd in het systeem, hetgeen een gunstige invloed heeft op de emissies. Uit de metingen van de rookgassen in de schoorsteen blijkt dat de (Engelse) emissienormen, o.a. voor dioxines en zware metalen, niet overschreden worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de Engelse normen minder streng zijn dan de Nederlandse normen.

Omdat er in de Nederlandse mixen gewerkt wordt met inputstromen met hogere concentraties aan verontreinigingen (bijvoorbeeld verontreinigde baggerspecie in plaats van schone klei) en bovendien de Nederlandse emissienormen strenger zijn dan de Engelse, is de aanname dat de Nederlandse fabriek een (aanzienlijke) rookgasreiniging zal moeten hebben gerechtvaardigd. Het is de bedoeling dat de testen in de pilot plant al zoveel mogelijk data opleveren voor het (indicatieve) ontwerp van een dergelijke rookgasreiniging.

Oorspronkelijk was het de bedoeling dat tijdens de testen in de pilot plant de rookgassen continu gemonitord en bemonsterd zouden worden om aansluitend hierop analyses uit te kunnen voeren. Hiertoe is uitgebreid contact geweest met een tweetal Engelse firma's, die gespecialiseerd zijn in het bemonsteren en analyseren van industriële rookgassen. Eén firma is uiteindelijk gekozen voor uitvoering en afstemming heeft plaatsgevonden onder andere m.b.t. normen, monsternamen-procedures, te monitoren stoffen en bijbehorende detectielimieten. Echter, bij inspectie vooraf van de pilot plant door de Engelse monitoringsfirma zijn een aantal niet voorziene obstakels signaleerd.

De monitorings- en bemonsteringspoorten in de schoorsteen van de pilot plant waren aanzienlijk kleiner dan die in een commerciële thermische installatie. De in East London aanwezige poort

was geschikt voor monitoring van 'standaard' gassen als zuurstof, stikstof, zwaveldiode etcetera, maar niet voor bemonstering van bijvoorbeeld dioxines of zware metalen. De hele gas- en energiehuishouding in de pilot plant in East London is geheel anders dan in Tilbury (of een andere grootschalige commerciële installatie). De focus van de pilot plant in East London ligt immers op het imiteren van het proces van de vaste massa (d.w.z. het produceren van het LWA), niet op die van de gasstroom of de energiehuishouding. Dit leidt tot de conclusie dat het monitoren en meten van de gasstroom in East London nog geen goede voorspelling geeft van te verwachten gasstromen in Tilbury of een Nederlandse fabriek. Dit geldt in nog sterkere mate voor de mogelijke aanwezigheid van furanen of dioxines, die immers met name afhankelijk zijn van het temperatuursverloop van het proces en veel minder van de samenstelling van de pellets.

In overleg met RTAL, de Universiteit van East London en de rookgasreinigingsexperts van zowel DRSH als Tauw is uiteindelijk gekozen voor een andere meer efficiënte aanpak. Deze werkwijze biedt de hoogste mate van betrouwbaarheid qua voorspelling van de samenstelling van de rookgassen, gezien de huidige onderzoeksfase en beschikbare informatie. De verschillende stappen zijn zijn aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 9. Onderzoekopzet ten aanzien van meten van rookgassen.

Onderzoeksparameters	Oorspronkelijke opzet t.a.v. meten van rookgassen	Uiteindelijk toegepaste opzet t.a.v. meten van rookgassen	Argumentatie voor wijziging
O ₂ , N ₂ , SO ₂	Opstellen van massabalans en doen van berekeningen én controle door metingen tijdens pilot-plant proeven	Meten tijdens pilot-plant proeven én vergelijken met bekende gegevens	Geen wijziging; parameters zijn redelijk goed te meten
Zware metalen, incl. Hg		Verschil analyses qua samenstelling van 'green pellets' en 'fired pellets'.	Verschil meting geeft op betrouwbare wijze aan welk deel/% aan zware metalen is 'verdwenen' naar de gasfase (beter dan meting)
HF, HCl		Doen van stookproeven bij 1150 °C op green pellets en meten vrijkomende gassen	Betrouwbare batch meting (worse case)
Dioxines, furanen		Doen van modelberekeningen op basis van uiteindelijk proces	Betrouwbaarder dan meten vanwege niet vergelijkbaar proces
Debiet, massa deeltjes		Doen van modelberekeningen op basis van uiteindelijk proces	Betrouwbaarder dan meten vanwege niet vergelijkbaar proces

5.7 Start van de pilot plant-proeven

Na alle voorbereidende werkzaamheden is voorafgaande aan de start van de grootschalige proeven nog een bezoek aan Engeland gebracht. Doelstelling hiervan was:

- Uitwisselen van ervaringen tot nu toe;
- Van gedachten wisselen om een optimale vertaling te kunnen maken van pilot plant-resultaten naar full-scale installatie;
- Visuele verificatie (door stuurgroep) dat alle benodigde voorbereidende activiteiten voor de large scale test tot tevredenheid zijn uitgevoerd;
- Afstemming van het bemonsterings- en emissiemetingenplan.

Gedurende het bezoek van de stuurgroep en een vertegenwoordiger van SKB is uitgebreid overleg gepleegd met Daryl Newport (verantwoordelijk voor de pilot plant East London) en Terry Green (directeur RTAL). Besloten werd om de proeven volgens het afgesproken protocol uit te voeren.

UITVOERING "PILOT PLANT" TESTEN EAST LONDON

6.1 De installatie in East London

De grootschalige testen met de 3 mixen zijn uitgevoerd in de pilot plant-installatie op het terrein van de Universiteit van East London in Dagenham, London. Hier staat in een loods een installatie, die in een continu proces het Trefoil-proces in Tilbury nabootst. De installatie is grotendeels betaald door RTAL (de exploitant van de commerciële installatie in Tilbury) en wordt gedreven door medewerker(s) van de universiteit, ondersteund door RTAL. Doel van de installatie is het testen van nieuwe mixen, voordat tot commerciële toepassing in bijvoorbeeld Tilbury wordt besloten. In een dag (8 uur) kan afhankelijk van de mixsamenstelling zo'n 300-500 kg LWA geproduceerd worden. De pilot-installatie is sinds 2002 operationeel en heeft ruim € 500.000,- gekost.

Een flowsheet van de pilot-installatie in East London is onderstaand weergegeven (figuur 7).

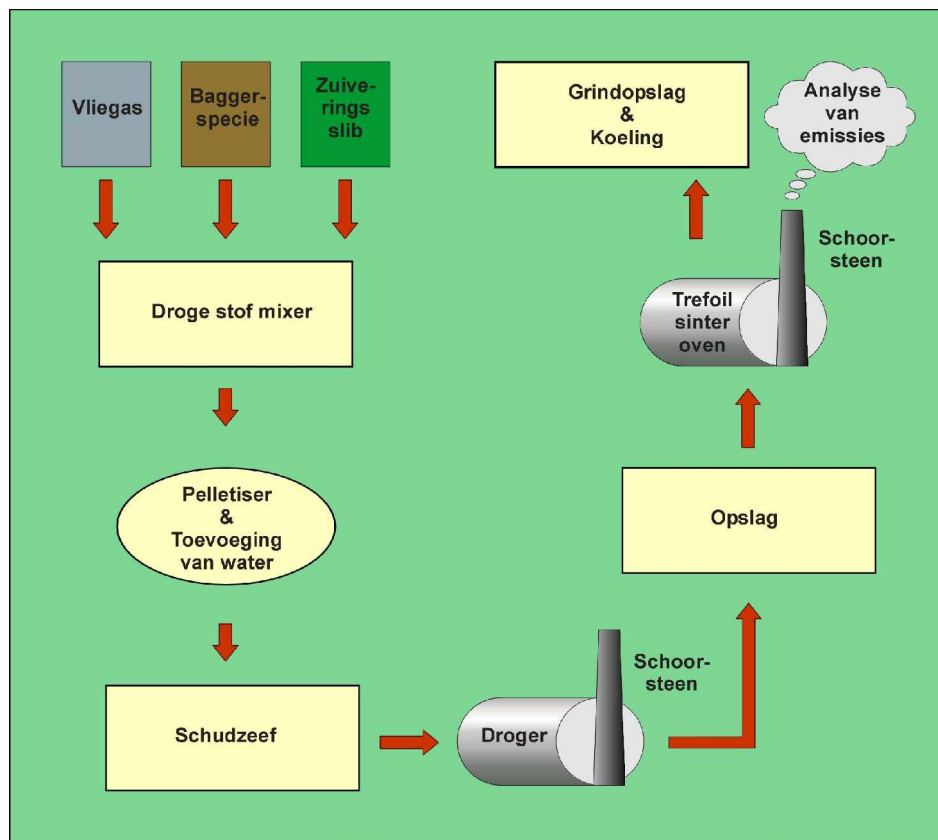


Fig. 7. Flowsheet pilot-installatie.

Op de volgende pagina's wordt het proces via foto's van de pilot plant-installatie stapsgewijs nader toegelicht (figuren 8 t/m 13).



Fig. 8. Invoer sectie.

De invoerstromen worden (droog) in 3 invoerbunkers (hoppers) gebufferd (één voor 'species', één voor assen en één voor zuiveringsslib). Na instellen van de goede toevoersnelheid vanuit de hoppers vallen de invoerstromen in de goede mengverhouding in de Scott Mixer, die zorgt voor een goede menging en eventueel stukslaan van kleine aggregaatjes. Vervolgens wordt het droge mengsels via een schroef opgevoerd naar de pelletiseerschotel.



Fig. 9. Pelletisatie en afzeven grof en fijn materiaal.

In de pelletiseerschotel wordt enig water toegevoerd en vallen de geproduceerde pellets op een zeefdek, waar de pellets boven en onder een vooraf ingestelde maat worden afgezeefd.



Droger

Toevoer ("green pellets") van zeef

Fig. 10. Droog sectie.

De afgezeefde pellets worden via een transportband opgevoerd naar de droger, waar de pellets gedroogd worden en hierdoor een kleine 'coating' (hard laagje) krijgen.

Toevoer ("dried pellets") naar "Trefoil-oven



Monstername punt (poort) voor emissies

Firing (Trefoil) oven

Fig. 11. "Firing" sectie (Trefoil-oven).

Vanuit de droger gaan de 'green pellets' naar een nieuwe bunker (hopper), van waaruit ze ingevoerd worden in de sinteroven (oftewel 'firing'-of 'Trefoil'-oven). De bunker is nodig om eventuele afstemmingsproblemen tus-

sen drogen en sinteren te kunnen opvangen zonder dat de continuïteit van het proces in gevaar komt.

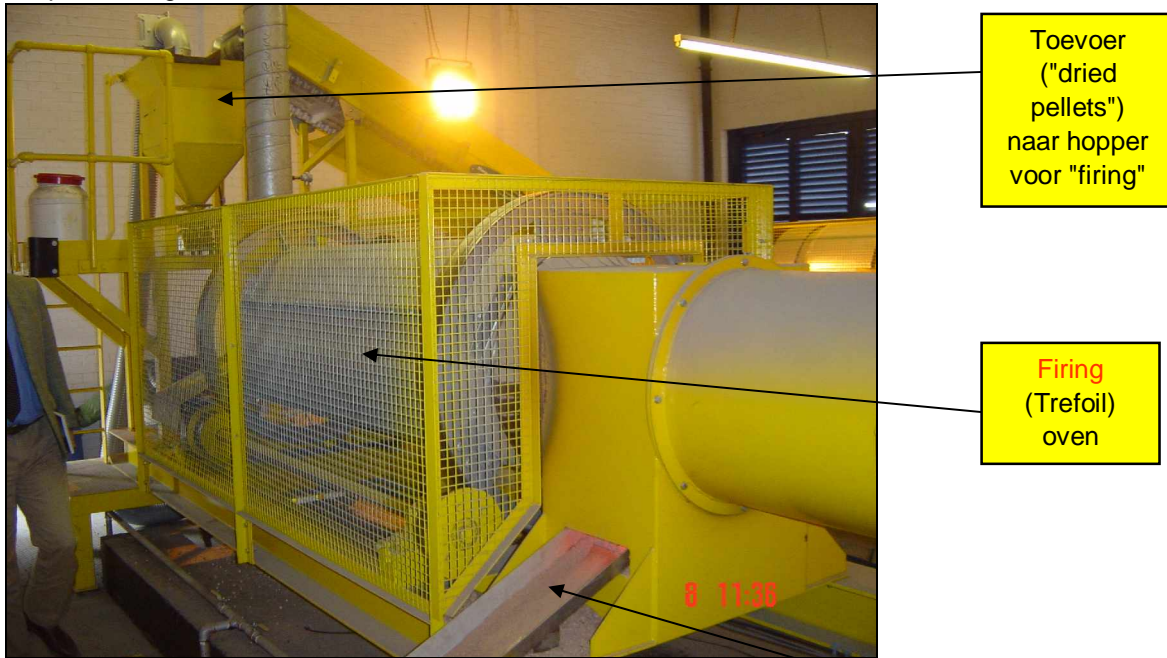


Fig. 12. Firing sectie (Trefoil oven).

Vanuit de invoerbunker vallen de 'green pellets' in de sinteroven met de interne vorm van een 'klavertje-drie'.



Fig. 13. Het product: de Trefoil LWA-korrels.

Na enige tijd komen de geproduceerde 'fired pellets' uit de sinteroven en vallen in een bak om af te koelen.

Het controlepaneel, van waaruit het gehele proces centraal gestuurd wordt (figuur 14).



Fig. 14. Controle paneel van de Universiteit van East London.

6.2 Grootschalige LWA productie in Pilot Plant-installatie in East London

De input van de pilot plant in East London is afgestemd op droog (> 95% d.s.) en fijn (stof-achtig) materiaal. De vliegassen en het gedroogde zuiveringsslib waren al in de gewenste vorm, maar de baggerspecie en het slibkoekresidu nog niet. Deze stromen waren weliswaar droog genoeg, maar nog in grove 'brok-vorm'. De specie en het slibkoekresidu bestaan al wel uit het gewenste fijne materiaal, maar waren door het droogproces aan elkaar 'gekit'. Door deze stromen eerst separaat door de mixer te voeren werd de gewenste 'poedervorm' bereikt. De mixer bestaat uit een ronddraaiende as met hieraan schoepen, die de klonten gedroogde specie uit elkaar slaan en verkleinen.

Al meteen bij dit mixen onstond het eerste probleem. Het bleek dat er zich soms grove metalen delen in de baggerspecie bevonden, die zowel de mixer als (in een later stadium) de schroefvoerder beschadigden. Hieruit blijkt al dat de inputstroom 'baggerspecie' speciale eisen stelt aan het voortraject, dat vooraf gaat aan het feitelijke Trefoil-proces. Het blijkt noodzakelijk dat grove, harde delen vooraf verwijderd worden.

Na voorbereidende werkzaamheden is per inputstroom en soms bij een combinatie van inputstromen de toevoersnelheid bepaald vanuit de toevoerbunkers. Op deze manier wordt een constante kwaliteit van de gewenste samenstelling gegarandeerd, zoals vastgesteld in het voortraject.

Continu pelletiseren bleek met name bij mix 1 en 3 in sommige gevallen een moeizaam proces. Dit wordt door UoEL geweten aan de schaal van de pelletiseerschotel en zou bij een grotere schotel in een commerciële installatie geen probleem moeten veroorzaken. Pelletisatie van alle mixen met de hand ging uitstekend, wat aangeeft dat de pelletiseereigenschappen van de mixen in potentie goed zijn. Mix 2 pelletiseerde ook in de pilot plant goed.

De resultaten van het sinterproces zijn samengevat in tabel 10.

Tabel 10. Resultaten sinterproces.

Mix	Sinteren	Clinkering	Visuele kwaliteitsinspectie
1	Korrels op sintertemperatuur zijn goed van kwaliteit, onder de 1100 °C duidelijk niet. Als gevolg hiervan zijn korrels gebroken en is stof gevormd	Clinkering bij relatief hoge temperaturen >1180 °C. Geclinkerd materiaal was echter gemakkelijk gebroken na afkoeling en zal bij commerciële installatie geen probleem zijn	Grotendeels van goede kwaliteit: dichte harde oppervlakte en poreuze interne structuur. Echter, ook deel van mindere kwaliteit aanwezig
2	Enige additionele energie nodig voor sinteren. Sinter- en clinkertemperatuur liggen relatief dicht bij elkaar, wat goede temperatuurcontrole noodzakelijk maakt	Clinkering is 'hardnekkiger' dan bij mix 1, bovendien wordt eerder dan bij mix 1 een 'vluchtige smelt' geproduceerd, wat het gevolg kan zijn van hogere metaalgehalten	Overgrote deel van goede kwaliteit: glasachtige harde oppervlakte, beter van vorm en grootte, en interne poreuze structuur. Minder slechte kwaliteit dan mix 1
3	Enig vocht in de pellets zorgt ervoor dat pellets al aan elkaar kitten bij binnenkomst.	Vergelijkbaar als bij mix 1 en 2, iets meer "ruimte" tussen sinter- en clinkertemperatuur. Gevormde clinker is zeer hard en moeilijk te breken	Grotendeels van goede kwaliteit: dichte harde oppervlakte en poreuze interne structuur. Echter, ook deel van mindere kwaliteit aanwezig
Alg.	Bij alle mixen was enige (thermal) 'breakdown' en vorming van stof. Waarschijnlijke oorzaak hiervan is dat het constant houden van de sintertemperatuur moeilijk is vanwege de "energie-bommen" vanuit het gedroogde zuiveringsslib	In alle mixen werd clinker gevormd. Belangrijke oorzaak was wederom niet constant-zijn van de temperatuur als gevolg van het plotselinge vrijkomen van energie van het gedroogde zuiveringsslib. Wel bleek er verschil tussen de mixen te zijn met betrekking tot de "temperatuur-ruimte" tussen sinteren en clinkering	Het bleek dat gedurende de proeven UoEL het proces én de inputstromen steeds beter leerde kennen. Dit bleek uit het feit dat er bij de laatste geteste mix minder problemen waren met zowel clinkering als 'breakdown'

Van mix 2 zijn door UoEL diverse microscopische foto's geselecteerd (via de zogenaamde SEM-techniek). Uit deze foto's blijkt duidelijk dat in het oppervlak van de green pellets nog scheurtjes zitten, die in de fired pellets dicht gesinterd zijn. Het korrelige oppervlak is veranderd in een egaal glasachtig oppervlak (zie figuur 15).

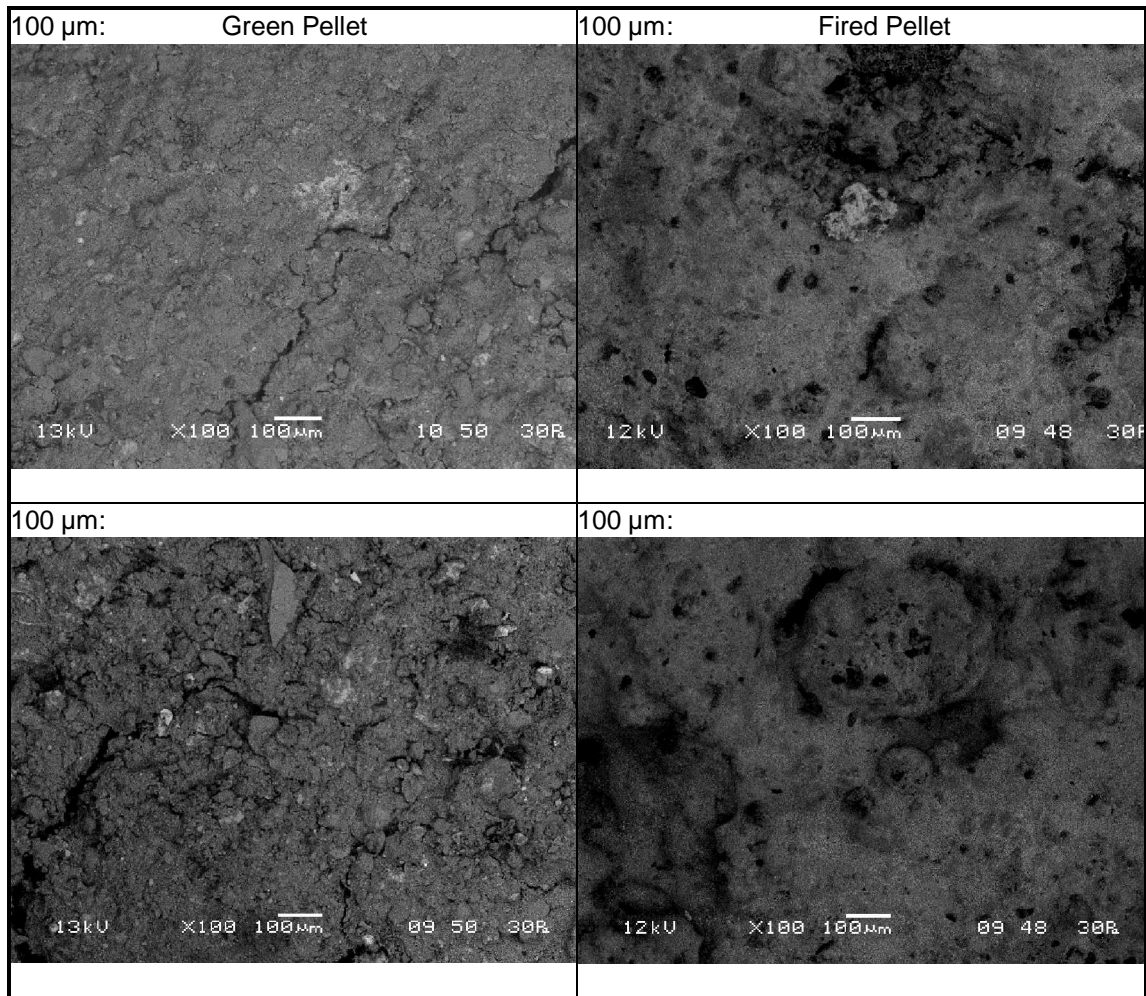


Fig. 15. Microscopische foto's pellets oppervlak.

Aanvullende proef

Uit het onderzoek aan de Universiteit bleek al snel dat het gedroogde zuiveringsslib voor problemen zorgde, terwijl de commerciële installatie in Tilbury juist was overgestapt op "nat" zuiveringsslib (slibkoek). Om deze reden is een niet in het SKB-projectvoorstel geplande proef door de Universiteit van Leeds uitgevoerd, parallel aan de grootschalige pilot proeven aan de Universiteit van East London. Doel van deze aanvullende proeven, uitgevoerd in de bench-scale installatie in Leeds, was om te kijken of pelletiseren en sinteren met slibkoek ook mogelijk was, aangezien dat nog in geen enkele fase getest was. Hiervoor is Engelse slibkoek gebruikt (met 20% d.s.) met de overige Nederlandse inputstromen, aangezien in Engeland geen Nederlandse slibkoek voorradig was.

Belangrijkste conclusie van deze aanvullende proef was dat mixen met "nat" zuiveringsslib (slibkoek) wordt verkozen boven mixen met droog zuiveringsslib. Enkele aanvullende conclusies en aanbevelingen zijn:

- Gecontroleerde rustige temperatuuropbouw en –verloop (temperatuurcurve) in de sinteroven zijn belangrijk om thermal breakdown zoveel mogelijk te voorkomen en goede kwaliteit LWA te verkrijgen;
- Goede controle over het mix- én pelletiseerproces is belangrijk om ervoor te zorgen dat geen grotere stukken slibkoek in de pellets komen, aangezien dat problemen kan veroorzaken bij zowel drogen (plaatselijk verdampen van grote hoeveelheid water kan tot korrelbreuk leiden)

als sinteren (plotseling vrijkomen van veel energie bij verbranden van geconcentreerde hoeveelheid organische stof).

6.3 Conclusies en aanbevelingen

6.3.1 *Conclusies*

Vanuit de pilot-plant testen in East London kunnen de volgende algemene conclusies getrokken worden met betrekking tot het productieproces van Trefoil LWA van de drie geselecteerde mixen:

- Produceren van alle drie de mixen middels een continu proces is mogelijk en leidt tot een in potentie goede LWA. Extra aandacht zal geschonken moeten worden aan het goed kunnen controleren van de temperatuur (zowel opbouw als verloop), aangezien sinter- en clinker-temperatuur bij alle mixen relatief dicht bij elkaar liggen;
- Een eerste (visuele) beoordeling van de drie mixen zou kunnen leiden tot de voorlopige conclusie dat mix 2 de beste is (met name vanuit de grootte van de LWA-korrels), mix 1 de minste (meeste stofvorming, 'breakdown' en kleinste korrels) en de kwaliteit van mix 3 daar tussen in zit. Echter, het is goed om te weten dat de volgorde waarin de mixen geproduceerd zijn mix 1, mix 3 en mix 2 is geweest. UoEL heeft aangegeven dat er tijdens de testen een 'leercurve' heeft plaatsgevonden, wat wil zeggen dat men bij de laatste mix het proces beter onder de knie had. Dit kan (deels) de oorzaak zijn geweest van het feit dat mix 2 (visueel) de beste LWA heeft opgeleverd. Hiermee moet bij de interpretatie van (met name) het sterkte-onderzoek van het LWA rekening worden gehouden;
- Het feit dat gedroogd zuiveringsslib is gebruikt heeft bijgedragen aan de problemen met het constant houden van de temperatuur van de sinteroven. Constant houden van deze sinter-temperatuur is van belang, omdat bij alle mixen de sinter- en clinkertemperatuur relatief dicht bij elkaar liggen. Het gedroogde zuiveringsslib heeft de volgende effecten veroorzaakt in het sinterproces:
 - 'Breakdown' van sommige korrels (in het begin van de oven, tijdens het 'opwarmtraject') als gevolg van plotseling vrijkomen van energie (verbranden van organisch materiaal) uit het zuiveringsslib;
 - 'Breakdown' van korrels heeft geleid tot de aanwezigheid van stof in de oven. Dit stof vergemakkelijkt de vorming van clinkering, omdat zeer heet stof als een soort 'lijm' tussen korrels werkt;
 - Het plotselinge vrijkomen van energie heeft ertoe bijgedragen dat het controleren (en constant houden) van de temperatuur moeilijk was. Gezien het feit dat (optimale) sinter- en clinkertemperatuur relatief dicht bij elkaar liggen heeft dit voor extra clinkering gezorgd.

6.3.2 *Aanbevelingen*

Zowel de testen in East London, als de wijzigingen in de commerciële installatie in Tilbury, als gevolg van gewijzigde inzichten door ervaring, hebben geleid tot de volgende aanbevelingen:

- Extra aandacht moet geschonken worden aan het voorkomen van de aanwezigheid van grote (metalen) delen in enige inputstroom. Met name in de baggerspecie kunnen dergelijke grove delen voorkomen, deze zijn voorbehandeld in een scheidingsinstallatie;
- Aanbevolen wordt het inbouwen van een zeefstap ten aanzien van de baggerspecie, aangezien het (overigens voor alle stromen) belangrijk is dat geen grove delen in de input-stromen meer aanwezig zijn, op het moment dat zij het mix- en pelletiseerproces ingaan;
- Veel aandacht moet worden geschonken aan een goede beheersing van zowel het mix- als het pelletiseerproces en met name aan een goede en evenwichtige menging van zuiveringsslib, zodat dit evenredig wordt verdeeld in de green pellets;

- Gebruik van "nat" zuiveringsslib (slibkoek) bij het mengen voor pelletiseren wordt aanbevolen boven het gebruik van gedroogd zuiveringsslib;
- Inbouwen van een buffer voor de green pellets tussen droog- en sinterstap, wat leidt tot een beter beheersbaar proces, wordt aanbevolen. Mits juist gedroogd en gecoat doorstaan green pellets deze tijdelijke opslag;
- Een andere mogelijkheid om clinkering te voorkomen is om de hoeveelheid zuurstof, die toegevoerd wordt aan het proces, te beperken (geen grote overmaat aan zuurstof);
- Het wordt aanbevolen te voorkomen dat verbranding van koolstofhoudende vlieggas reeds plaatsvindt vóór het sinterproces (en gebruiken van de energie in het droogproces), aanbevolen wordt verbranding tijdens de sinterstap.

HOOFDSTUK 7

INVENTARISATIE MARKTEISEN, MARKTSTUDIE

7.1 Inleiding

Een belangrijk onderdeel van de Trefoil SKB-studie is het onderzoek geweest naar de potentiële markt en de eisen vanuit de markt, oftewel acceptatie-eisen voor het eindproduct. Dit onderdeel (fase 4) is parallel aan de pilot-proeven (fase 2 en 3) uitgevoerd, nadat geconcludeerd is dat de productie van Trefoil lichtgewicht grind korrels met de geselecteerde Nederlandse materiaalstromen technisch mogelijk is.

Voor een goede beoordeling van de potentiële marktkansen van Trefoil zullen een vijftal vragen moeten worden beantwoord.

1. Zijn er voldoende grondstoffen verkrijgbaar om (op lange termijn) de productie van Trefoil-korrels te garanderen?
2. Wordt het Trefoil-product door de markt geaccepteerd en welke toepassingsmogelijkheden ziet men voor dit product?
3. Wie zijn de mogelijke afnemers voor het product?
4. Wat is de gewenste positionering van Trefoil LWA in het huidige (en toekomstige) marktaanbod?
5. Wat is het afzetpotentieel en de verwachte opbrengstprijis van het product?

Om deze vragen te beantwoorden zijn door het Trefoil-consortium een tweetal activiteiten ontwikkeld.

1. Er is een CUR-workshop georganiseerd (zie bijlage C) door CUR, SKB en het Trefoil-consortium om de marktacceptatie te onderzoeken. De workshop had als titel "De weg naar lichtbeton-toepassingen in Nederland met Trefoil lichtgewicht grind"⁷. De workshop is mede georganiseerd om als fundament te dienen voor het schrijven van een goede marktstudie; alle hierboven geformuleerde vragen zijn op de CUR-workshop uitgebreid de revue gepasseerd (zie verder 7.2).
2. Er is een deskstudie uitgevoerd door Tauw BV naar het marktpotentieel, voor zowel de grondstoffen als het eindproduct. De marktstudie is – naast alle gegevens van de CUR-workshop – gebaseerd op reeds eerder verzamelde marktgegevens, waar mogelijk aangevuld met extra informatie uit literatuur, van internet of uit (telefonische) gesprekken.

In de marktstudie is getracht een zodanige structuur aan te brengen dat de drie hierboven geformuleerde vragen, belangrijk voor markt, markteisen en potentie logisch kunnen worden behandeld en een grondige marktstudie resulteert. Achtereenvolgens worden behandeld:

- een inventarisatie en analyse van aanbod- en afzetmarkten en het voorspellen van de verwachte marktgroei;
- de indeling van de markt in verschillende marktsegmenten;
- het vinden van onderscheidende producteigenschappen ten opzichte van de concurrentie (LWA producenten);
- wat is de beste marktbenadering;
- de productpositionering binnen de gekozen markten en marktsegmenten;

⁷ Voor het organiseren van de workshop en desk studies is dankbaar gebruik gemaakt van het afstudeerproject van Jan Jaap Heerema (TUDelft, 2001).

- evaluatie, conclusies en aanbevelingen (zie verder 7.3).

7.2 Inventarisatie markteisen, CUR-Workshop

7.2.1 Inleiding

Er is op 11 oktober 2002 een CUR-workshop georganiseerd door CUR, SKB en Trefoil om de marktacceptatie te onderzoeken. De workshop had als titel "De weg naar lichtbeton-toepassingen in Nederland met Trefoil lichtgewicht grind". De CUR-workshop is georganiseerd om van de markt te vernemen of het Trefoil-product door de markt geaccepteerd wordt en welke toepassingsmogelijkheden de gebruikers (bouwwereld) zien voor het Trefoil LWA? Verder is het de opzet van het Trefoil-consortium geweest om zoveel mogelijk gegevens te vergaren voor een gedegen marktstudie.

Er is op de CUR-workshop een aantal videopresentaties gehouden, waarin het principe en de voordelen van Trefoil zijn uitgelegd; in een tweetal volgende presentaties kwamen lichtgewicht beton en een aantal lichtgewichtbetontoepassingen aan de orde.

De heer Vereijken van CUR behandelt de ontwikkelingen op het gebied van lichtgewicht beton. Er is veel onderzoek gedaan naar lichtgewicht beton. Er zijn normen opgesteld in Nederland en door de Europese Gemeenschap. Er is ook een BRL (Beoordelingsrichtlijn) voor licht toeslagmateriaal. In Europese kennisprojecten zijn een 15-tal partners uit Europa bezig op licht gewicht beton. Hierbij wordt gekeken naar milieutechnische, economische en technische marktaspecten. Opgemerkt wordt dat de Europese norm voor de eisen aan lichtgewicht toeslagmateriaal prEN 13055 nog in ontwikkeling is. Het document CUR 9412 geeft meer informatie over de eisen aan verhard beton. In de presentatie wordt de beoordelingsprocedure CUR B85 behandeld. Met deze procedure kan draagvlak gecreëerd worden bij opdrachtgevers, regelgevers en onderzoekers.

De heer Van der Wegen van Intron behandelt de voordelen van lichtbeton, de verschillende lichtgewicht toeslagmaterialen en de positie van het Trefoil-product en eisen aan lichtgewicht toeslagmateriaal voor beton-specie en verhard beton. Geconcludeerd wordt dat met het Trefoil-proces lichtgewicht toeslagmaterialen te maken zijn, vergelijkbaar met Lytag. Lichtgewicht beton gemaakt uit Trefoil is LWA wat betreft druksterkte, slijttreksterkte en E-modulus (bij 75 MPa) vergelijkbaar met Lytag. De zuurstofdoorlatendheid ligt boven die van Lytag-beton. Zo'n 135.000 ton Lytag per jaar werd 10 jaar lang gemaakt en op vele plekken in de betonwereld afgezet.

De presentaties werden beëindigd met de vraagstellingen die door het Trefoil-consortium en de CUR gezamenlijk zijn geformuleerd :

- Welke civieltechnische testen zijn nodig om de toepasbaarheid van LWA in Nederland aan te tonen? Wellicht zijn er testen noodzakelijk voor de langere tijdstermijn.
- Wat is de marktpotentie?
- Hoe moet het materiaal gecertificeerd worden?
- Zijn er geïnteresseerden onder de aanwezigen voor een meer nadrukkelijke rol in het project?

Als eerste reactie vanuit de bouwwereld moge onderstaande reactie niet onvermeld blijven:

Trefoil wordt aangeraden om in eerste instantie één toepassingsgebied te definiëren en zich daarop verder te richten, hoewel duidelijk is gemaakt dat door een variatie van de grondstoffen en procescondities verschillende soorten toeslagstoffen gemaakt kunnen worden met het Trefoil-proces. Om het product goed in de markt te kunnen zetten, moeten de verwerkbaarheid van de betonspecie, de constructieve eigenschappen en de duurzaamheid van het materiaal nauwkeurig bekend zijn.

7.2.2 *Discussie CUR-Workshop*

De workshop heeft vooral tot doel gehad, zoveel mogelijk interactie op te wekken tussen het Trefoil-consortium en de bouwwereld. In de discussie welke volgt in het tweede deel van de sessie komt een aantal belangrijke onderwerpen aan de orde.

1. *Civieltechnische testen (kwaliteit):*

- Welke regulering geldt voor het toepassen (EU-Normen)?
- Wat zijn de belangrijkste "markt-randvoorwaarden"?
- Wat is de rol van het CUR/overheid in een vervolg (bijvoorbeeld certificering, voorbeeldwerk)
- Welke testen moeten met het SKB-budget uitgevoerd worden en welke andere testen moeten aanvullend uitgevoerd worden?

2. *Acceptatie (leerpunten) van andere Trefoil-achtige initiatieven?*

3. *Marktpotentie:*

- Is er voor het LWA een Nederlandse markt of ook een Europese markt?
- Moet er een standaard Trefoil LWA gemaakt worden of een "op maat gemaakte" Trefoil LWA? Moet er een hoogwaardig product gemaakt worden of een laagwaardig product?
- Hoe zit het met de emotionele acceptatie? Mensen kunnen denken dat er afval in beton verwerkt wordt.

4. *Vervolg*

- Welke partijen worden aan tafel gewenst om over het Trefoil-proces mee te denken?
- Zijn er geïnteresseerde (markt)partijen voor een vervolg?

Ad 1: Civiel technische testen (kwaliteit)

De betrouwbaarheid en de constante kwaliteit van het product zijn erg belangrijk. De afnemer kan de indruk hebben dat als er andere grondstoffen gebruikt worden, het product ook een andere kwaliteit heeft. Kwaliteitscontrole is dus belangrijk.

10 jaar geleden werd er veel gesproken over gebruik van vliegias als grondstof voor lichtgewicht grind. Het is belangrijk om de randvoorwaarden van het product goed te definiëren. De afnemer vindt het niet belangrijk wat er aan grondstoffen ingaat, als het product maar goed is en voldoet aan alle wettelijke eisen.

Er wordt aangeraden om één type korrel te maken met vastgestelde kwaliteiten.

De eerste stap voor marktacceptatie zou het uitzoeken van de milieuhygiënische eigenschappen zijn.

De grotere wateropname van de korrels behoeft geen probleem te zijn, mits de wateropname bekend is en binnen bepaalde ranges valt. Als maatregel kunnen LWA-korrels van tevoren bevochtigd worden.

Ad 1:Europese normen

De verwachting is dat relevante Europese normen per 1 juni 2004 van kracht worden. De nationale regelgeving wordt dan vervangen door Europese regelgeving. Die Europese regelgeving kan dan aangevuld worden met nationale normen. Het is niet altijd zo dat de Nederlandse normen opgesteld worden met de komende Europese wetgeving in het achterhoofd. Bestaande Nederlandse normen kunnen verschillen met komende Europese normen. Er wordt geadviseerd de Europese regelgeving aan te houden of er in ieder geval rekening mee te houden.

Ad 2: Acceptatie van het toepassen van afval als grondstof

Omdat het product gemaakt wordt van baggerspecie, RWZI-slib en vliegas moet er veel aandacht besteed worden aan kwaliteitscontrole. Hierbij moet rekening gehouden worden met de mogelijke emotie dat er bijvoorbeeld in een huis waarin licht gewicht beton verwerkt is 'stoffen zitten die hier niet in thuis horen'. Het communicatietraject moet goed in de gaten gehouden worden.

Ad 2: Acceptatie

Er wordt aangeraden om met andere partijen in overleg te treden om te zien wat er bij die partijen leeft. Met name milieuorganisaties zijn hierbij belangrijk. Eventueel kan op commentaar van deze partijen gereageerd worden door het uitvoeren van extra testen. Overleg met deze partijen is belangrijk, omdat anders de indruk kan ontstaan dat men probeert afval weg te moffelen. Vragen van milieuorganisaties over het Trefoil-proces kunnen dan omslaan in negatieve reacties richting de media.

Ad 2: Acceptatie: communicatie en emotie van het publiek

Het is belangrijk dat de milieubeweging meedenkt of in ieder geval wordt geïnformeerd. De filosofie van het Trefoil-project in Nederland zou moeten zijn dat er een goed product gemaakt wordt, waarvoor o.a. baggerspecie nodig is, en niet andersom.

Ad 3: Nederlandse en Europese markt

In Nederland is menggranulaat altijd in voldoende mate gebruikt. Het buitenland stelt zich wat conservatiever op. Als het Trefoil-project in Nederland een succes wordt is dit nog géén garantie voor succes in bijvoorbeeld Duitsland. Er van uitgaande dat de installatie in Nederland even groot zou worden als die in Tilbury, zou de jaarlijkse productie liggen op 200.000 ton per jaar. Dit is minder dan 1% van de grindmarkt van Nederland. Daarom wordt door de zaal geconcludeerd dat men zich eerst moet richten op de Nederlandse markt. Leveringszekerheid is een belangrijk punt om het vertrouwen van de klant te winnen. Door het komen en gaan van de vele lichtgewichtgrind-producenten in Nederland lijkt het vertrouwen van de potentiële klanten af te nemen.

Er is geen uitspraak gedaan of Trefoil LWA voor hoogwaardige of voor laagwaardige toepassingen geproduceerd moet gaan worden. De bouwwereld geeft nogmaals aan dat er voor één soort gekozen moet worden en niet voor meerdere. Welke deze toepassingen dan zullen zijn kan nog niet worden gezegd, maar de markt zal met LWA heus wel weg weten.

Ad 4: Vervolg

Diverse van de aanwezige bedrijven uit de bouwwereld geven aan graag op de hoogte te willen blijven van de vorderingen van het Trefoil-project en geven ook aan dat ze na de eerste fase (SKB-onderzoek) actief zouden willen participeren. De betrokkenheid vanuit de bouwwereld moge blijken uit het geven van een groot aantal technische tips, waarvan er hier enkele zijn vermeld:

- Trefoil dient ook Argex te beschouwen in de marktstudie (Argex wordt ingezet in een laagwaardige toepassing, zoals ophogingswerken);
- Er dient te worden opgepast voor de radongasproblematiek, die speelde toen vliegas in betontoeslagproducten verwerkt werd;
- Korrels van 10 tot 12 mm bij prefab beton kunnen meer cement vergen, waardoor het kostenplaatje zelfs met goedkoper grind toch duurder kan uitvallen;
- Beschouw naast pull-factoren (zoals betrouwbaarheid van het materiaal) ook push-factoren. Vroeger werd bijvoorbeeld geëist dat ca. 20% menggranulaat toegepast moest worden in beton om zo een afvalprobleem aan te pakken. Hoewel dit percentage om een aantal redenen niet gehaald is (<5%), zorgde dit wel voor een betrouwbaardere afzet van gerecyclede betongranulaat. Voor LWA zou kunnen (dan wel zou moeten) gaan gelden dat een door de

overheid gestuurd percentage LWA in beton moet worden verwerkt, liefst vanwege toegevoegde kwaliteit.

7.2.3 *Conclusies en aanbevelingen van de CUR-Workshop*

Conclusies

De CUR-workshop heeft waardevolle inzichten gegeven in de krachten die in de markt spelen en de randvoorwaarden waaraan het Trefoil-project én product moeten voldoen.

De verkrijgbaarheid van de grondstoffen op de lange termijn wordt uitgebreid behandeld in de marktstudie (par. 7.3.2).

De vraag: Ziet men toepassingsmogelijkheden voor dit product?, wordt in principe positief beantwoord: De markt is geïnteresseerd en (voorzichtig) positief over het produceren van een lichtgewicht toeslagmiddel middels het Trefoil-procédé.

Een indicatie voor de afzetmogelijkheden in Nederland wordt gegeven door het vergelijkbare Lytag dat in een hoeveelheid van ca. 135.000 ton per jaar al 10 jaar op vele plekken in de betonwereld wordt geleverd.

Bepalende factoren die met betrekking tot acceptatie een rol spelen zijn leveringszekerheid en voorlichting omtrent de samenstelling van het product.

Door het komen en gaan van vele lichtgewichtgrind-producenten in het verleden, neemt de markt nu een enigszins afwachtende houding aan.

Een uitgebreide kwaliteitscontrole in combinatie met een goede voorlichting (denk ook aan milieuorganisaties) wordt gezien als de oplossing om eventuele negatieve associaties met het toepassen van "afval" als grondstof te voorkomen.

Aanbevelingen

Geadviseerd wordt om zich in eerste instantie op één toepassingsgebied te richten, bestemd voor de Nederlandse markt. Alhoewel afzet in Europa zeker niet moet worden uitgesloten, kan wel een meer conservatieve houding ten opzichte van het product worden verwacht.

De belangrijkste voorwaarden zijn dus een betrouwbaar en qua samenstelling constant product voor de Nederlandse bouwwereld, dat voor langere tijd beschikbaar zal moeten zijn (leverantiegaranties).

Het product zou ofwel goedkoper moeten zijn dan primaire grondstoffen, dan wel betere eigenschappen moeten tonen (zoals lichter in gewicht, e.d.).

Voordat de markt verder kan gaan in haar uitspraken zal er meer duidelijkheid moeten zijn omtrent de uiteindelijke eigenschappen (ranges) van het Trefoil-product.

De presentatie van Intron geeft een goede basis voor het soort civieltechnische testen die op korte en lange termijn uitgevoerd dienen te worden. Voor regelgeving wordt uitgegaan van Europese, nog in ontwikkeling zijnde, normen.

Er zijn verschillende partijen die geïnteresseerd zijn om een actieve rol in het vervolg te spelen en in algemene zin is de bouwwereld van harte bereid verder te praten over Trefoil lichtgewicht grind als toeslagmateriaal.

7.3 Marktstudie

7.3.1 Inleiding

Als vervolg op de CUR-workshop heeft het Trefoil-consortium een uitgebreide marktstudie uitgevoerd, waarin de in 7.1. gemelde aandachtspunten centraal stonden en achtereenvolgens zullen worden behandeld, te weten:

- een inventarisatie en analyse van aanbod van grondstoffen Trefoil (7.3.2);
- de indeling van de markt in verschillende marktsegmenten (7.3.3);
- het vinden van onderscheidende producteigenschappen ten opzichte van de concurrentie (LWA producenten) (7.3.4);
- de afzetmarkt (binnenland), prijsaspecten (7.3.5);
- de internationale markt voor lichtgewicht toeslagstoffen (west – Europese markt) (7.3.6);
- de productpositionering binnen de gekozen markten en marktsegmenten (7.3.7);
- wat is de beste marktbenadering;
- evaluatie, conclusies en aanbevelingen.

De beoogde grondstoffen voor de productie van een Trefoil in Nederland zijn baggerspecie, grondreinigingsresidu, communaal zuiveringsslib (ook wel RWZI-slib genoemd) en vliegassen. De vliegassen kunnen van verschillende herkomst zijn: elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en slibverbrandingsinstallaties. De beoogde grondstoffen worden momenteel in Nederland als afvalstoffen gekenmerkt, waardoor men te maken krijgt met de afvalmarkt. Het aanbod alsmede de verwerkingsprijs van de benodigde grondstoffen bepalen de slaagkans van Trefoil-productie in Nederland. In dit hoofdstuk wordt op het aanbod, aanbodvolume en verwerking van de grondstoffen ingegaan. Aandacht krijgen hier ook huidige en toekomstige alternatieve verwerkingsroutes, omdat deze de verwerkingsprijs van de betreffende afvalstoffen bepalen.

7.3.2 Inventarisatie beschikbaarheid te gebruiken grondstoffen

Baggerspecie

In principe komen de baggerspecies die niet verspreid mogen worden (klasse 3 en 4 zoete baggerspecie en zoute baggerspecie die niet verspreid mag worden) in aanmerking voor verwerking in de Trefoil-installatie.

Aanbod baggerspecie

Het landelijke aanbod voor de jaren 2002 –2011 van baggerspecie die valt onder klasse 3 en 4 bedraagt naar verwachting ca. 60 miljoen m³. Het aanbod niet verspreidbare zoute baggerspecie over deze jaren wordt begroot op 18 miljoen m³. Als gevolg van achterstallig onderhoud wordt voor de komende periode een groter aanbod klasse 3 en 4 baggerspecie verwacht.

De kosten van de verschillende opties om niet verspreidbaar baggerspecie te verwerken zijn in tabel 11 gegeven. Deze kosten zijn het resultaat van het project Impuls B2 van Rijkswaterstaat (zie eerdere noot).

Tabel 11. Kosten verwerken baggerspecie.

Verwerkingsoptie	Kosten	Opmerkingen
Storten	€ 9 tot € 14 per m3 in-situ	Kosten incl. BTW
Zandscheiding	€ 11 tot € 16 per m3 in-situ	Kosten incl. BTW
Rijping/farming	€ 23 per m3 in-situ	Kosten incl. BTW
Koude immobilisatie	€ 27 tot € 36 per m3 in-situ	Kosten incl. BTW
Thermische immobilisatie:		
Productie bakstenen	€ 55 tot € 110 per ton (50% droge stof)	Inclusief BTW, gehele verwerkingsketen bij een volledig werkende installatie (afschrijving 15 tot 20 jaar), exclusief transport-en afzet-producten.
Productie kunstgrind ⁸	€ 55 tot € 110 per ton (50% droge stof)	
Productie kunstbasalt	€ 40 tot € 85 per ton (50% droge stof)	

Zuiveringsslib

In Nederland werd in 2000 ca. 350.000 ton droge stof (d.s.) communaal zuiveringsslib verwerkt. De verwachting is dat een groot deel hiervan (275.000 ton d.s.) voor verbranding en thermisch drogen in aanmerking komt. Het meeste slib wordt ontwaterd met behulp van zeefbandpersen. Het droge stofgehalte van slib dat op deze manier ontwaterd is ligt tussen de 21 tot 28%. Slib dat (vervolgens) thermisch gedroogd wordt heeft een droge stofgehalte van ca. 90%.

Tabel 12 op de volgende pagina geeft een overzicht van de indicatieve kosten van slibbewerking. De economische waarde van slib dat als brandstof ingezet wordt in een kolengestookte elektriciteitscentrale is niet bekend.

Tabel 12. Indicatieve kosten slibbewerking (1994).

Techniek	Bewerkingskosten (€/ton d.s.)
Vergaande ontwatering	160 – 270
Thermisch drogen	160 – 320
Biologisch drogen (compostering)	230 – 270
Verbranden	320 – 500
Verglazen ⁹	320 – 500
Natte oxidatie (VarTech)	270 – 410

⁸ Deze prijs is algemeen gevonden en geldt niet voor het Trefoil-proces (50% droge stof).

⁹ Deze techniek wordt niet toegepast in Nederland.

Grondreinigingsresidu

In extractieve grondreinigingsinstallaties in Nederland wordt verontreinigde grond en baggerspecie gereinigd door het via een wasproces te scheiden in 'schoon' zand en een fijne, slibachtige stroom, waarin de verontreinigingen zich concentreren. Momenteel wordt deze, vaak mechanisch ingedikte, slibkoek niet verder gereinigd, maar gestort. De slibkoek komt voornamelijk vrij bij diverse vaste installaties verspreid over Nederland.

Momenteel komt er in Nederland circa 200-300 kton van dit residu vrij. Vanuit de branchevereniging NVPG blijkt dat de markt voor extractieve reiniging zich lijkt te stabiliseren. Een (sterke) stijging wordt gezien de bodemsaneringbudgetten niet verwacht.

Vliegas van kolengestookte elektriciteitscentrales

In kolengestookte elektriciteitscentrales wordt steenkool gemalen tot poeder en samen met lucht in stoomketels geblazen. De fijne restdeeltjes (het vliegas) die na de verbranding overblijven worden met de rookgassen meegevoerd en met elektrostatische filters uit de rookgassen verwijderd, zodat ze niet in het milieu terecht komen. De vliegas wordt afgezet in de productie van cement, beton, baksteen en de asfaltvulstoffenindustrie. In 2001 werd 641 kton vliegas afgezet in de cement- en betonproductie. In "overige toepassingen" werd 529 kton afgezet. Dit betrof onder andere leveringen aan de baksteen- en asfaltvulstoffenindustrie. In totaal werd in 2001 1.170 kton vliegas afgezet. In de laatste vijf tot tien jaar zijn de kosten voor de afzet van vliegas gedaald tot ca. €0 per ton, maar zijn in sterke mate afhankelijk van het resterende koolstofgehalte in het vliegas. De verwachting is, voor zover bekend, dat de prijs de komende tijd niet veel zal veranderen.

Vliegas afvalverbranding en slibverbranding

Vliegas komt in Nederland vrij bij de 11 AVI's (afvalverbrandingsinstallaties), de DTO (draaitrommeloven) voor gevaarlijk afval en de twee SVI's (slibverbrandingsinstallaties) van Nederland.

In 2001 kwam ca. 79 kton aan vliegassen van de afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) vrij. De hoeveelheid vliegas is bijna twee procent van de verbrande hoeveelheid afval. Momenteel is de wens om geen vliegas meer te storten als C2-afval in de C2-deponie. Vliegas wordt momenteel afgezet als:

- vulstof voor o.a. asfalt. Deze markt is in Nederland beperkt van omvang door de seizoensgevoeligheid en door de sterke concurrentie met andere vulstoffen;
- vulstof voor betonmortels ten behoeve van oude ondergrondse kolenmijnen en ten behoeve van vullen van oude zoutmijnen in Duitsland;
- na koude immobilisatie storten op C3-stortplaatsen of zelfs toepassen als secundaire bouwstof;
- grondstof voor het immobilisatieprocédé van Afvalzorg voor de productie van bouwstoffen. In maart 2001 is op een nieuwe locatie van Afvalzorg in Velsen-Noord gestart met deze activiteit. De activiteit bevindt zich nog in een teststadium. Als verwerkingstarief wordt gerekend op ca. €90,00 per ton.

In het Landelijk Afval Plan (LAP) gelden er verschillende minimumstandaarden voor de verschillende soorten reststromen. De minimumstandaard van AVI-vliegas is: storten na koude immobilisatie (al dan niet als mengsel met andere afvalstoffen). Storten in big-bags is toegestaan totdat op basis van het Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen het storten van onbehandeld vliegas wordt beëindigd. Het SVI-vliegas komt vrij bij de verbranding van communaal zuiverings-slib in een wervelbed. Het vliegas dat wordt afgevangen is in principe de asrest van het communaal zuiverings-slib. Van de 67 kiloton die in 2001 vrij kwam werd 46 kiloton gebruikt voor de productie van vulstof voor asfalt. De rest, 21 kiloton werd naar Duitsland geëxporteerd voor

toepassing in voornamelijk zoutmijnen. De minimumstandaard van SVI-vlieggas (en ook SVI-bodemas) in het LAP is nuttige toepassing door materiaalhergebruik.

7.3.3 Indeling van de markt van toeslagmaterialen in verschillende segmenten

Lichtgewicht toeslagmateriaal wordt in de volgende segmenten toegepast:

- Productie van lichtgewicht beton;
- Productie van beton. Hierbij zijn grofweg twee grote markten te onderscheiden:
 - de betonmortelindustrie: productie van betonmortel voor het storten in allerlei bouwwerken (bijvoorbeeld funderingen, bruggen);
 - de betonwarenindustrie: productie van verschillende betonwaren gemaakt, zoals trottoirbanden, rioolbuizen, etc.;
- Toepassing als vulmateriaal bij civiele werken. Losgestort toeslagmateriaal wordt gebruikt als vulmateriaal van bouwkundige, weg- en waterbouwkundige werken. Het wordt onder andere ingezet bij havenkades en grondkerende constructies, bijvoorbeeld bij ophogingen voor viaducten;
- Diverse specialistische markten voor lichtgewicht, grindachtig toeslagmateriaal. In dit segment worden lichtgewicht toeslagmaterialen gebruikt als granulaat voor infiltratie- en drainagesystemen en als bakvulling voor planten (daktuinen). Deze markten zijn relatief klein (zie tabel 13 voor lichtgewicht toeslagstoffen in Noordwest Europa).

Tabel 13. Lichtgewicht toeslagstoffen worden in Noordwest Europa gemaakt door sintering van minerale grondstoffen zoals klei en assen van verbrandingsprocessen. Naast de natuurlijke lichtgewicht toeslagstoffen worden er ook lichtgewicht toeslagstoffen van allerlei grondstoffen gemaakt **(in miljoen ton per jaar)**.

Land	Primaire toeslagstoffen (1996)	Secundaire toeslagstoffen	Lichtgewicht toeslagmateriaal
Nederland	25	17 (1996)	< 0,03
Verenigd Koninkrijk	215	40 (2001)	2 ½ - 3
Frankrijk	337	11 – 12	n.b.
België	50	0,2 – 0,3	n.b.
Duitsland	549	50	1 ½ - 2

7.3.4 Onderscheidende producteigenschappen, concurrerende materialen

Trefoil-materiaal moet op deze markten concurreren met andere lichtgewicht toeslagmaterialen, met secundaire bouwstoffen en met grind. Deze worden hieronder kort beschreven.

Grind

De geschatte behoefte aan grind in Nederland, voor de jaren 2007 tot 2015 is gegeven in tabel 14.

Tabel 14. Verwachte grindbehoefte Nederland 2007 – 2015 **(in miljoen ton per jaar)**.

Totaal behoefte grind	35,7
Winning in Nederland	7,7
Import	20,9
Vervanging door vernieuwbare grondstoffen	0,6
Vervanging door secundaire grondstoffen	8
Export	1,5

Meer dan de helft van het benodigde grindvolume wordt geïmporteerd. De overige behoefte zal worden gedekt door secundaire materialen. Op langere termijn wordt verwacht dat de import van grind tot nul zal dalen. De import van steenslag uit rots zal daarentegen toenemen. De verwach-

ting is dat de prijs van grind de komende jaren niet zal stijgen. Bij een prijsstijging van grind worden alternatieve toeslagstoffen voor beton interessant. In België wordt veel kalkzandsteen gewonnen en uit Schotland wordt momenteel al zo'n 2 miljoen ton graniet per jaar geïmporteerd.

Puimsteen

Puimsteen werd in Nederland voornamelijk geïmporteerd vanuit Duitsland. Momenteel wordt het geïmporteerd vanuit Italië en Griekenland. De prijs van puimsteen ligt circa 10 tot 20% hoger dan grind. De markt voor puimsteen is circa 10.000 ton per jaar. Het materiaal valt in de prijsklasse van €10,- tot 14,- per ton.

Kalkzandsteen

Dit materiaal is iets lichter dan beton (ca. 100 tot 150 kg/m³ lichter).

Lytag

Tot april 2000 werd 135.000 ton Lytag korrels in Nederland gemaakt door Vasim in Nijmegen. Dit volume werd afgezet in de betonwereld. Het product werd gemaakt van poederkoolvliegias van kolengestookte elektriciteitscentrales. Bij het starten van de productie door Vasim werd nog betaald voor het verwerken van vliegias. De verwerkingsprijs daalde echter naar nul. Hierdoor werd de winstmarge voor Vasim kleiner. Vanwege financiële overwegingen moest de Vasim in april 2000 de productie staken.

Momenteel wordt in Polen geproduceerd Lytag verkocht in Nederland. De afzetmarkt is hiervoor enkele duizenden tonnen groot.

Omdat Lytag moeilijk verpompbaar is wordt het niet ingezet voor plastische toepassingen. Lytag geeft in opslag gemakkelijk water af en neemt het weer op. Hierdoor is het lastig om Lytag met cement voor beton te mengen. Men lost dit probleem op door de Lytag-korrels eerst te besproeien, alvorens het in beton toe te passen. Voor toepassingen in beton had Lytag het nadeel dat het materiaal éénkorrelig is (veel korrels met dezelfde maat). Hierdoor moesten betonproducenten meer zand toevoegen. Lytag heeft dit nadeel gedeeltelijk opgelost door naast de 8 mm korrel ook een 12 mm korrel te maken en door Lytag-korrels te breken en te zeven.

Eurolite en Aardelite

Provag uit Geertruidenberg heeft Aardelite en Eurolite geproduceerd. Aardelite was een lichtgewicht toeslagstof gemaakt van poederkoolvliegias van kolengestookte elektriciteitscentrales. Het werd met een bindmiddel en water gemengd. De vorming van Aardelite vond plaats bij een temperatuur van 80 °C. Aardelite had twee nadelen. Het krimpgedrag van beton gemaakt met Aardelite was erg groot, terwijl in dwangmengers veel Aardelitekorrels verkleind werden waardoor meer cement nodig was. In de markt vond men de prijs-kwaliteitverhouding niet goed. Toen de verwerkingsprijs van vliegias daalde, en Provag minder inkomsten uit deze bron kreeg, werd de productie in 1998 gestaakt.

Eurolite werd tot 2 jaar terug gemaakt van onder andere de verbrandingsassen van communaal zuiveringsslib. De uitloging van met name sulfaat was vrij hoog en het product werd niet door de BMC gecertificeerd. Hierdoor kon niet genoeg afzet bereikt worden. Provag werd in januari 2001 failliet verklaard.

Liapor

Dit Duitse product is de beste lichtgewicht toeslagstof in Duitsland en zelfs in West-Europa. De korrelgrootteverdeling vertoont weinig afwijking en de waterabsorptie van Liapor in beton is laag. De prijs van Liapor ligt hoog, ca. € 50 / ton af fabriek. Met Liapor wordt in Nederland gemikt op de top van de markt voor lichtgewicht toeslagmaterialen en wordt het vaak alleen toegepast als het voorgeschreven is.

Argex

In Nederland wordt Argex afgezet als lichtgewicht vulmateriaal in havenkades en in grondkerende constructies. Het voordeel van Argex is dat het materiaal een lagere wrijvingshoek dan zand heeft, waardoor aan de eis wordt voldaan dat deze constructies een hoge wrijvingshoek moeten hebben. Omdat Argex een laag stortgewicht heeft, zijn de transportkosten per ton hoger dan bij grind.

Dusaltec en Heijmans

In Nederland worden twee initiatieven ontwikkeld voor synthetische toeslagmaterialen waarbij de afzet hoofdzakelijk in concurrentie gaat met grind. Deze initiatieven worden ontwikkeld door Dusaltec (productnaam Dusalgrind) en Heijmans.

Sinds enkele jaren wordt door Dusaltec gewerkt aan de ontwikkeling van het Dusalgrind-proces. Het proces vertoont overeenkomst met het Trefoil-proces. Als grondstof moet voornamelijk baggerspecie worden ingezet. Ook grondreinigingsresidu, verontreinigde klei en grond worden als grondstof genoemd. In het proces wordt de schone zandfractie eerst afgescheiden van de baggerspecie. Men claimt te kunnen concurreren met het storten van baggerspecie. Er bestaat nog geen installatie voor het Dusalgrind-proces.

Heijmans pakt de ontwikkeling van het maken van breuksteen weer verder op. Heijmans heeft circa 5 jaar geleden in een installatie baggerscheidingsresidu gesmolten en gevormd tot zeskant blokken. Het huidige idee is om het gestolde product als gebroken steen af te zetten. Men heeft ideeën over een kleine installatie van 50 tot 100 kiloton per jaar.

7.3.5 De afzetmarkt in Nederland, prijsaspecten

De huidige afzet van lichtgewicht toeslagstoffen (inclusief puimsteen) wordt voor Nederland geschat op 10.000 tot 30.000 ton per jaar. De afzetmarkt van Argex, Liapor en Lytag wordt geschat op enkele duizenden tonnen. De markt van lichtgewicht toeslagmateriaal voor betonproducten zou bij een goede stimulans ca. ½ miljoen ton per jaar groot zijn.

Deze inschatting lijkt in verhouding met het weggefallen productievolume van Vasim niet onredelijk. Opvallend is dat het "gat" dat Vasim heeft achtergelaten maar voor ca. 30.000 ton per jaar (éénkwart) is opgevuld, gedeeltelijk door Liapor waarvoor € 30,- tot 100,- per ton betaald wordt, en verder door Argex en door puimsteen. Lytag is in Nederland verkocht voor € 13,- tot 14,- per ton.

Voor het feit dat niet het volledige productievolume van Lytag is "opgevuld" door "ander LWA" geven de drie bedrijven die het materiaal geleverd hebben de volgende twee redenen op: de oude voorraden van de Vasim die niet verkocht waren zijn later opgemaakt en veel bedrijven hebben bij het wegvallen van Lytec gekozen voor alternatieven, zowel ander toeslagmateriaal zoals kalkzandsteen of ook grind in andere constructies. Geconcludeerd wordt dat het afzetvolume voor lichtgewicht toeslagmateriaal op de betreffende markten flexibel is. De afzetmarkt voor Lytag werd gevormd en groeide toen Lytag bestond, terwijl de afzetmarkt vrij snel door andere materialen werd overgenomen toen Lytag wegviel. Naast het stoppen van de productie van Lytag werd ook de productie van Aardelite en Eurolite stopgezet. De markt is hierdoor wat voorzichtiger geworden met het toepassen (en vertrouwen op leveringszekerheid!) van dit soort producten.

Bij de toepassing als funderingsmateriaal in bouwkundige, weg- en waterbouwkundige constructies concurreert lichtgewicht funderingsmateriaal met puingranulaat uit bouw- en sloopafval. In de wegfunderingsmarkt zou een hoeveelheid van ca. 1 miljoen ton per jaar afgezet kunnen worden. Deze markt is echter een aanbodgestuurde markt. Afzet van lichtgewicht toeslagmateriaal

zou een ongewenste verdringing van andere secundaire grondstoffen kunnen veroorzaken. De opbrengst van lichtgewicht toeslagmateriaal in dit marktsegment is laag. De afzetprijs voor secundaire bouwstoffen in vergelijking met grind is gegeven in tabel 15. Voor lichtgewicht materiaal bestaat wel een niche-markt, namelijk toepassingen in veengebieden. Om zetting zoveel mogelijk te voorkomen wordt hier soms bewust gekozen voor lichtgewicht materialen. De omvang van deze markt is niet bekend, maar is qua orde van grootte 100.000 ton/j.

Tabel 15. Natuurlijke toeslagmaterialen en secundair granulaat in Noordwest Europa.

Product	Land	Vorming	Basis grondstof	Toepassing	Productie (miljoen ton/jaar)	Prijs excl. transport (€/ton)
Grind	Nederland	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	7 - 8	10 - 11
Grind	U.K.	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	100 - 120	11 - 19
Grind	Duitsland	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	500 - 600	11 - 16
Lavagesteente	Nederland	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	nb	12
Gebroken natuursteen	U.K.	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	140 - 160	11 - 19
			Primaire grondstof			
Secundair granulaat	Nederland	R	Puin	Wegenbouw, vulmateriaal (laagwaardig)	8	4 - 7
N: Natuurlijk materiaal; R: gerecycled materiaal						

7.3.6 Internationale markt voor lichtgewicht toeslagmateriaal

Het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Duitsland zijn in West-Europa de top-drie gebruikers van lichtgewicht toeslagmateriaal. Tabel 16 geeft een samenvatting van het gebruik van lichtgewicht toeslagmaterialen in West-Europa.

Het beeld in Noordwest Europa is dat de hoeveelheden lichtgewicht toeslagmateriaal per land in de honderdduizenden tonnen loopt. De grootste producent die in deze regio gevonden is, is Lipor in Duitsland met een maximale productie van 800.000 ton per jaar. Wat prijsstelling betreft valt het op dat sommige lichtgewicht toeslagstoffen iets (10 á 20%) boven de prijs van grind liggen (Lytag, Nederland) en dat voor de meeste lichtgewicht toeslagmaterialen de prijs oploopt tot ca. €50 per ton. In dit geval betreft het altijd hoogwaardige toepassingen.

Tabel 16. Lichtgewicht toeslagstoffen in Noordwest Europa.

Product	Land	Vorming	Basis grondstof	Toepassing	Productie (kiloton/jaar)	Prijs Excl. transport (€/ton)
Puimsteen ¹⁰	Nederland	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	nb	13
Lavagesteente	Nederland	N	Primaire grondstof	Gevarieerd	nb	12
Bodemas (FBA)	V.K.	-	Bodemas verbranding	Baksteen	1.500-2.000 ¹¹	14 – 17
LYTAG	V.K.	S	Vliegass elektriciteitscentrales	Beton	250	40 (25-80) ¹³
LYTAG	Nederland	S	Vliegass elektriciteitscentrales	Beton	135 ¹²	13 – 14
LECA	Import U.K. uit Denemarken	-	klei	Beton en vulmateriaal	-	40 (36-43)
PERLITE	V.K.	-	Hoogovenslak	-	ca. 500	16 –32
Pumice	Import V.K.	N	Vulkanisch gesteente	-	100 - 300	-
FIBO	Import V.K. uit Zweden	-	Klei	-	-	32 – 48
LIAPOR	Duitsland	-	Klei	Beton en vulmateriaal	550 - 800	28 – 54
LIAPOR	Nederland	-	Klei	Beton en vulmateriaal	(uit Duitsland)	ca. 50
BERWELIT	Duitsland	-	"Expanded shale"	Beton en isolatie vulmateriaal	-	-
EMBRA	Duitsland	-	Geëxpandeerde klei	Beton, isolatie vulmateriaal, hydrocultuur	-	-
ULOPOR	Duitsland	-	Geëxpandeerde klei	Beton, vulmateriaal, geluidswallen	-	-
GROBALITH	Duitsland	-	Bodemas elektriciteitscentrales	Zeer gevarieerd: beton, vulmateriaal, geluidswallen, (als Grobalith)	-	-
STEASINT	Duitsland	-	Bodemas	Betonblokken en isolatiespecie	-	-
SAFAMOLITH	Duitsland	-	Bodemas	Betonblokken en isolatiespecie	-	-
ARGEX	België	S	Geëxpandeerde klei	Beton, weg-en waterbouw	400.000 m ³	10 – 11 ¹⁴
Trefoil	V.K.	S	Zuiveringsslib, vliegass en klei	Beton	200	8 en 48 ¹⁵

N: Natuurlijk materiaal; S: gesinterd materiaal

¹⁰ Puimsteen wordt ook wel Pumice (Engels) of Bims (Duits) genoemd.

¹¹ FBA: Het is niet duidelijk of het hier om een lichtgewicht toepassing gaat. De toepassing is specifiek voor baksteen en valt in vergelijking met andere toepassingen buiten het algemene beeld van lichtgewicht toeslagstoffen.

¹² Lytag: productie 135.000 ton/jaar gestaakt. Tegenwoordig enkele duizenden tonnen vanuit Polen geïmporteerd.

¹³ In de Britse graafschappen moet toestemming gevraagd worden bij de overheid om grind in te zetten. In sommige graafschappen kan het wel ingezet of "geïmporteerd" worden, in andere weer niet. Hierdoor ontstaat er een flink prijsverschil.

¹⁴ Afzet Argex in beton € 35 - € 40/m³. Afzet Argex in weg- en waterbouw: € 30/m³ Droog stortgewicht ca. 340 kg/m³.

¹⁵ Afzet Trefoil laagwaardige toepassing € 8 per ton, hoogwaardige toepassing € 48 per ton.

7.3.7 Marktbenadering, afzetmogelijkheden voor het Trefoil-product in Nederland

Er is getracht een overzicht te geven van potentiële afzetvolumes in Nederland voor Trefoil. In dit overzicht zijn de diverse specialistische markten niet meegenomen. Deze markten zijn dermate klein en onoverzichtelijk dat er geen goed beeld van te verkrijgen is.

Tabel 17. Overzicht potentiële markt Trefoil-product in Nederland.

Markt	Gebruikt toeslagmateriaal	Gebruikte hoeveelheden (ton per jaar)	Prijs (€/ton)
Topsegment productie lichtgewicht beton ¹⁶	Liapor	Maximaal 10.000	30 – 100
Productie lichtgewicht beton	Lytag, puimsteen, Argex	Ca. 10.000 tot 20.000	10 – 14
Productie beton	Grind	27.700.000	10 – 11
Hoogwaardig vulmateriaal civiele werken	Lytag, Argex	Ca. 10.000 tot 20.000	10 – 14
Laagwaardig vulmateriaal civiele werken	Secundair puin (en zand)	8.000.000	1 - 7

Uit bovenstaande tabel 17 blijkt dat de topmarkt voor lichtgewicht toeslagmateriaal (te) klein is voor 200.000 ton Trefoil per jaar (De beoogde productiecapaciteit van de Trefoil-plant). Deze markt wordt nu ingenomen door Liapor.

Gezocht moet worden naar andere afzetmarkten. Deze kunnen bijvoorbeeld gevonden worden in het opvullen van het vrijgevalen Lytag-segment van 100.000 ton per jaar. Om 200.000 ton per jaar af te zetten zou een stimulans van de overheid wellicht nodig zijn. Op bepaalde (deel)markten kan grind door Trefoil-korrels vervangen worden. Lichtgewicht toeslagmateriaal is ca. 10 tot 20% duurder dan grind. Bij de afzet van grind lijkt Argex tegen een prijs afgezet te worden die ongeveer gelijk is aan grind.

7.3.8 Evaluatie Trefoil markt

De potentiële afzetprijs van Trefoil-materiaal is sterk afhankelijk van het marktsegment, de kwaliteit en de concurrentie. Algemeen geldt dat naarmate er een hogere prijs voor het product gevraagd wordt de marktvraag naar het product afneemt en de concurrentie toeneemt.

Het aandeel van Trefoil in de marktvraag is afhankelijk van de omvang van de markt. Voor een beoordeling wordt de volgende definitie aangehouden: <1% verwaarloosbaar, tussen 1% en 10% beperkt, > 10% groot.

Bij de inzet als ophoogmateriaal is het aandeel van Trefoil (200 kton) in de markt beperkt. Dit houdt in dat een gering prijsverlagend effect verwacht mag worden en de verdringingseffecten bij concurrenten gering zijn.

Voor toepassing in de betonindustrie is het marktaandeel van Trefoil (200 kton) voor lichtgewicht toeslagstoffen groot. Dit houdt in dat een prijsverlagend effect verwacht mag worden en de concurrentie hevig is.

¹⁶ Op dit segment moet nog nader onderzoek verricht worden. Met name de verklaring van de hoge prijs is hierbij een belangrijk onderwerp.

7.3.9 *Conclusies en aanbevelingen marktstudie*

Geconcludeerd mag worden dat er in potentie voldoende grondstoffen beschikbaar en verkrijgbaar zijn om (op lange termijn) de productie van Trefoil-korrels te garanderen. Dit geldt met name voor baggerspecie.

De markt kent veel toepassingsgebieden en segmenten. Er worden met name twee kansrijke doelvelden onderscheiden: de afzet in bulkmarkten (laagwaardig vulmateriaal civiele werken) en de afzet in het hogere segment van de betonindustrie. Doelstelling is het produceren en vermarkten van 200 kton LWA/jaar.

Bulkmarkten

De hoeveelheid grind dat vervangen dient te worden door Trefoil-korrels komt overeen met minder dan één procent van de marktgrootte en is dus realistisch.

Lichtgewicht toeslagmateriaal is momenteel gelijkgeprijsd tot ca. 20% duurder dan grind. Het prijs-verschil tussen lichtgewicht toeslagstoffen en natuurlijke toeslagstoffen (zand en grind) wordt door meer dan 90% van de ondervraagden als doorslaggevend gezien. Om te concurreren zal het Trefoil LWA dan ook laaggeprijsd moeten zijn. Meer dan de helft van het benodigde grindvolume wordt geïmporteerd: Het nadeel dat de transportkosten van LWA per volume hoger zijn dan die van grind wordt hiermee minder groot.

Er worden geen hoge eisen aan de kwaliteit gesteld.

Betonindustrie

De omvang van de gewenste afzet van Trefoil LWA in deze markt is significant te noemen. Waarschijnlijk kan hier niet de volledige productie van Trefoil worden afgezet. De concurrentie zal groot zijn. Speciale aandacht zal besteed moeten worden aan de producteigenschappen (hoge kwaliteit, laag gewicht, voldoen aan specifieke marktwensen).

Het Trefoil LWA mag hooggeprijsd zijn, maar lager dan van vergelijkbare concurrenten gemaakt uit 'schone' grondstoffen.

Acceptatie van het Trefoil-product kan moeilijk verlopen. Betonproducenten hebben problemen met toepassing van secundaire grondstoffen, omdat dit het imago van hun product zou beïnvloeden. Een aandachtspunt hierbij is dat de aanwezigheid van lichtgewicht toeslagmateriaal in een constructie toekomstig hergebruik van die constructie niet mag belemmeren.

Samenwerking met CUR (zoals al ingezet via de workshop in oktober 2002) en mogelijk certificering van het LWA-product worden hierbij als goede werkwijzen gezien.

Algemeen

Een voordeel in beide segmenten is dat alle lichtgewicht toeslagstoffen nu in Nederland worden geïmporteerd. Verder is de (internationale) markt voor lichtgewichttoeslagmaterialen groeiende. Door het wegvallen van Lytag zoeken zowel de betonwereld als de grindhandelaren naar alternatieven.

De mogelijkheden tot een introductie van het Trefoil-product zijn positief te noemen. Een verdere specificatie van de eisen die aan het Trefoil-product worden gesteld is noodzakelijk (dit geldt voor beide segmenten hoogwaardig en laagwaardig). Er zal een keuze gemaakt moeten worden tussen het bedienen van één van de segmenten of – indien mogelijk – het bedienen van beide segmenten.

HOOFDSTUK 8

BEPALING VAN DE KWALITEIT VAN HET GEPRODUCEERDE GRIND

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk komen de technische specificaties aan de orde van de geproduceerde Trefoil-korrels. Alle uitgevoerde onderzoeken passeren de revue. Bekeken wordt of Trefoil van voldoende kwaliteit is voor toepassingen in de bouw (8.2: Algemene producteisen). Getoetst wordt of voldaan wordt aan het Bouwstoffenbesluit (8.3. Uitloogproeven) en gekeken wordt naar de emissies, met dien verstande dat gekeken wordt hoe deze emissies binnen de normen te houden (8.4). In 8.5, 'Sterktebepalingen van Trefoil', wordt in het Intron-onderzoek gekeken hoe de kwaliteit van de Trefoil-korrels zich verhoudt tot die van andere lichtgewicht toeslagmaterialen voor beton. In "Overige proeven en testen (8.5)" wordt nader ingegaan op de stookproeven, massabalans en weer emissies. In 8.6. "Conclusies" worden alle conclusies m.b.t. de diverse onderzoeken met betrekking tot de eigenschappen en de kwaliteit van Trefoil samengevat.

De data welke worden behandeld zijn de data van de mixen, waarvan in de pilot-installatie in Oost Londen Trefoil LWA is gemaakt. Deze mixen hadden de volgende samenstelling:

Tabel 18. Samenstelling mixen.

Mix. nr. #	Samenstelling
1	60% B1, 30% PFA, 10% SS
2	45% B1, 20% B4, 20% ISSA, 5% FA, 10% SS
3	35% B1, 25% B2, 10% ISSA, 20% PFA, 10% SS

B1: Baggerspecie

PFA: Vliegias van poederkoolcentrale

B2: Baggerspecie

FA: Vliegias van huisvuilverbrandingscentrale

B4: Grondreinigingsresidu

ISSA: Vliegias van verbrande zuiveringslib

SS: Zuiveringslib

8.2 Algemene producteisen

Het lichtgewicht toeslagmateriaal dat door het Trefoil-proces gemaakt wordt, kan ingezet worden in lichtgewicht beton en in weg- en waterbouwkundige werken. Aan de toepassing van het materiaal worden hierbij specifieke eisen gesteld. Deze eisen kunnen worden opgelegd door overheden (formele eisen, door de bouwwereld (technische eisen), dan wel vanuit tradities en marktwensen (informele eisen).

8.2.1 Formele eisen en randvoorwaarden

De toepassing van lichtgewicht toeslagstoffen als toeslagmateriaal in beton en als los gestort toeslagmateriaal in werken moet in Nederland milieuhygiënisch getoetst worden aan het Bouwstoffenbesluit.

De Nederlandse formele civiele eisen zijn vastgelegd in **NEN 3543** "Grove lichte toeslagmaterialen voor lichtbeton". In deze Nederlandse norm zijn onder meer de korrelverdeling, vormvastheid en verontreinigingen door stoffen van organische herkomst vastgelegd. Er zijn onder meer maxima gesteld aan:

- sulfaatgehalte (als SO₃): maximaal 1% (m/m)¹⁷;
- gehalte aan deeltjes < 63 micrometer: maximaal 2% (m/m);
- chloridgehalte: maximaal 0,02% (m/m);
- gloeiverlies: maximaal 5% (m/m).

¹⁷ %m/m: massaprocenten.

De Europese en Nederlandse normen (NEN 3543) hebben betrekking op:

- de volumieke massa van de droge korrels en het droge losgestorte materiaal;
- zeefanalyse/korrelverdeling;
- waterabsorptie;
- vochtgehalte;
- korrelsterkte (de Europese norm omhelst ook het percentage gebroken deeltjes).

Voor het beton zelf zijn normen opgesteld voor de bepaling van:

- zetmaat¹⁸
- schudmaat;
- verdichtingsmaat;
- volumieke massa van het beton;
- luchtgehalte in de betonspecie;
- druk- en splijtsterkte;
- gehalte aan zachte bestanddelen;
- gehalte aan fulvozuren¹⁹ chloriden, carbonaten en ijzer- en vanadiumverbindingen (die oxidatievlekken veroorzaken);
- vorstbestendigheid;
- gevoeligheid alkali toeslag reactie;
- mate van verontreiniging door sterk zwellende kleimineralen (methyleen blauw test).

Momenteel bevindt de Europese regelgeving op lichtgewicht toeslagmateriaal zich in een ontwikkelingsstadium. De commissie die zich hiermee bezighoudt (CEN TC 154) moet de Europese regelgeving in 2003 afgerond hebben. In de subcommissie CEN TC 154 SC 5 worden normen ontwikkeld voor lichtgewicht toeslagstoffen met een korrelvolumieke massa van minder dan 2.000 kg/m³. De verwachting is dat de normen vanaf 1 juni 2004 van kracht zijn. In de conceptversie van de Europese norm voor lichtgewicht aggregaten (prEN 13055-1) is de definitie van lichtgewicht toeslagstof vastgelegd. Volgens deze Europese norm heeft lichtgewicht toeslagstof een maximale korrelvolumieke massa van 2.000 kg/m³ en een maximale volumieke massa van 1.200 kg/m³ los gestort.

Het verschil tussen de Nederlandse NEN 3543 en de Europese prEN 13055-1 is dat in de Nederlandse NEN vastgestelde grenzen gelden voor gehalte aan sulfaat, chloriden, deeltjesgrootte, korrelverdeling en gloeiverlies. In de Europese conceptnorm zijn deze grenzen niet gesteld. De Europese norm stelt wel eisen aan een controlesysteem van de productie in de fabriek.

8.2.2 *Informe eisen*

Uit de CUR/SKB/Trefoil-workshop (zie hoofdstuk 7.2) kwam naar voren dat men naast de formele eisen ook rekening moet houden met informele eisen die voortkomen uit tradities van de Nederlandse betonwereld. De informele eisen die gesteld worden aan het lichtgewicht toeslagmateriaal worden met name gedictieerd door de marktwensen. Lichtgewicht toeslagstoffen die in de markt afgezet worden hebben een:

- korrelvolumieke massa tussen de 900 tot 1500 kg/m³;
- volumieke massa van losgestort materiaal tussen de 500 tot 1000 kg/m³;
- waterabsorptie tussen de 5 en de 15 %m/m²⁰.

¹⁸ Zetmaat: de inklinking van beton die na het storten van beton optreedt. De zetmaat wordt gegeven in een hoogte die in een standaard test de inklinking aangeeft.

¹⁹ Fulvozuren: zuren die zijn ontstaan uit organische stoffen, aanwezig in toeslagmateriaal (bijv. stukjes verveend oerhout die met de winning van zand en grind meekomen).

²⁰ %m/m: massaprocenten.

Verdere door de markt geaccepteerde eigenschappen van het beton, gemaakt van lichtgewicht toeslagmateriaal, zijn, de zetmaat (Lytag 10 mm, grind 20 mm), druksterkte, splijtsterkte, E-modulus en zuurstofpermeabiliteit. Eisen die door de markt gesteld worden aan de betonspecie zijn:

- verwerkbaarheid als functie van de tijd (zetmaat, schudmaat en verdichtingsmaat);
- verpompbaarheid²¹
- luchtgehalte²²
- stabiliteit (waterafscheiding, opdrijven lichtgewicht korrels);
- bindtijd²³
- interactie met hulpstoffen;
- brandwerendheid.

Voor de markt zijn de volgende duurzaamheidsaspecten belangrijk:

- carbonatatie;
- chloride-indringing;
- vorstdooibestandheid;
- vorstdooizoutbestandheid;
- ASR: Alkali Silica Reactie²⁴.

8.3 Uitloogproeven (Bouwstoffenbesluit)

8.3.1 *Uitloogproeven van de LWA korrels uit Oost Londen*

Na de indicatieve uitloogproeven op de in Leeds geproduceerde korrels (zie hoofdstuk 4), zijn er uitgebreide analyses en uitloogproeven gedaan met de in Oost Londen geproduceerde LWA Trefoil-korrels.

Voor elke mix zijn de verschillende monsters als volgt onderzocht:

1. green pellets (vóór sinteren):
 - samenstellingsanalyse op verontreinigingen (onder meer droge stof, gloeiverlies, lutum en CaCO₃ zware metalen, PAK, EOX, minerale olie) en macro-samenstelling via XRF-analyse op hoofdelementen en belangrijkste sporenelementen;
 - gebruikt voor stookproefjes, waarbij de emissies van onder meer Hg, Cl en F zijn gemeten (zie paragraaf 8.5);
2. fired pellets (ná sinteren):
 - samenstellingsanalyse op verontreinigingen conform AP04 (onder meer droge stof, gloeiverlies, lutum en CaCO₃ zware metalen, PAK, EOX, minerale olie) en macro-samenstelling via XRF-analyse op hoofdelementen en belangrijkste sporenelementen;
 - uitloogonderzoek via kolomproef conform het Bouwstoffenbesluit en analyse van het eluaat op alle metalen en zouten, waarvoor het Bouwstoffenbesluit normen kent ('volledige pakket').

²¹ Verpompbaarheid: beton kan gestort worden middels een pijp of slang. Bij de mate van verpompbaarheid is de deeltjesgrootte, korrelgrootteverdeling en de opmenging van de korrels belangrijk.

²² Luchtgehalte: bij storten van het beton kan lucht ingesloten worden. Luchtinsluitingen verminderen de sterkte van beton. Door verdichting en trillen kan het lucht er voor een mate uitgedreven worden.

²³ Bindtijd: tijd waarin het beton verhardt.

²⁴ ASR: door de poriën van beton kunnen natrium- en kaliumionen oplossen. Onder invloed van de hoge pH van het beton kunnen er reacties optreden met silica. Hierbij wordt een gelei-achtig materiaal gevormd dat expandeert en het beton kan laten barsten. Dit proces kan decennia duren.

8.3.2 Kwaliteit korrels conform Bouwstoffenbesluit

De testen en analyses moeten uitwijzen of de geproduceerde Trefoil-korrels voldoen aan het Bouwstoffenbesluit.

De resultaten van de samenstellingsanalyses conform AP04 zijn opgenomen in tabel 19. In bijlage B.2 zijn PAK en minerale olie verder gespecificeerd in de afzonderlijke componenten/fracties, in de tabel zijn alleen de somwaarden vermeld.

Tabel 19. Resultaten samenstellingsonderzoek Trefoil-korrels. Analyses conform AP04 (behalve XRF). **Gehalten in mg/kg ds**, tenzij anders vermeld.

Parameter	Mix 1	Mix 2	Mix 3
<i>Macro-samenstelling</i>			
Droge stof (% m/m)	99,9	100,0	99,9
Organische stof (% van ds)	<0,2	<0,2	<0,2
Calciumcarbonaat (% van ds)	<0,1	<0,1	<0,1
Lutum (% van ds)	1,0	0,9	0,9
<i>Metalen na ontsluiting met koningswater</i>			
Arseen (mg/kg ds)	<5	<5	<5
Cadmium (mg/kg ds)	0,65	0,60	0,75
Chroom (mg/kg ds)	110	140	120
Koper (mg/kg ds)	54	290	140
Kwik (mg/kg ds)	<0,05	<0,05	<0,05
Lood (mg/kg ds)	6,6	26	18
Nikkel (mg/kg ds)	200	150	170
Zink (mg/kg ds)	160	1100	400
<i>Organische micro-verontreinigingen</i>			
PAK 10 VROM (mg/kg ds)	n.a.t. (1)	n.a.t.(1)	n.a.t. (1)
EOX (mg/kg ds)	<0,1	<0,1	<0,1
Minerale olie (mg/kg ds)	<20	<20	<20
<i>XRF-analyses (2)</i>			
Na als Na ₂ O (% van ds)	0,77	1,16	0,80
Mg als MgO (% van ds)	2,02	2,07	2,02
Al als Al ₂ O ₃ (% van ds)	17,2	11,3	14,9
Si als SiO ₂ (% van ds)	60,6	54,5	57,8
P als P ₂ O ₅ (% van ds)	1,71	6,56	4,17
S als SO ₃ (% van ds)	0,02	0,17	0,09
K als K ₂ O (% van ds)	2,07	2,38	2,06
Ca als CaO (% van ds)	8,78	11,9	9,47
Ti als TiO ₂ (% van ds)	0,92	0,77	0,84
V als V ₂ O ₅ (% van ds)	0,03	0,02	0,02
Cr als Cr ₂ O ₃ (% van ds)	0,05	0,04	0,04
Mn als Mn ₃ O ₄ (% van ds)	0,12	0,20	0,15
Fe als Fe ₂ O ₃ (% van ds)	6,07	8,59	7,31
Co als CoO (% van ds)	0,006	0,005	0,005
Ni als NiO (% van ds)	0,042	0,020	0,024
Cu als CuO (% van ds)	0,017	0,052	0,031
Zn als ZnO (% van ds)	0,05	0,23	0,08
Sr als SrO (% van ds)	0,09	0,05	0,08
Zr als ZrO ₂ (% van ds)	0,05	0,04	0,04
Ba als BaO (% van ds)	0,12	0,09	0,11
Pb als PbO (% van ds)	0,005	0,013	0,008
Gloeiverlies bij 1025 °C (% van ds bij 105 °C)	0,83	0,14	0,02

(1): N.a.t. = niet aantoonbaar. Gehalten van alle afzonderlijke PAK zijn <0,01 mg/kg ds.
 (2): analyses van materiaal dat is gesmolten tot glasparel bij 1025 °C

Uit de resultaten blijkt dat het materiaal vergaand is uitgebrand; organische stof en ook calcium-carbonaat zijn niet aantoonbaar. Dit geldt ook voor de gehalten aan PAK, minerale olie en EOX. De organische verontreinigingen worden tijdens het verbrandingsproces zeer vergaand omgezet. Dit geldt ongetwijfeld ook voor componenten die niet zijn geanalyseerd. De gehalten aan PAK, EOX en minerale olie voldoen uiteraard ruimschoots aan de hergebruikseisen van het Bouwstoffenbesluit. Voor metalen gelden (voor bouwstoffen anders dan grond) geen samenstellingseisen.

Er zijn op de geproduceerde Trefoil-korrels middels gestandaardiseerde kolomproeven conform het Bouwstoffenbesluit uitloogtesten uitgevoerd. Deze proeven simuleren een ongebonden toepassing, bijvoorbeeld als vulmateriaal in een civiel werk voor op- en aanvullingen. De resultaten van de kolomproeven zijn samengevat in tabel 20.

Tabel 20. Resultaten kolomproef en toetsing aan Bouwstoffenbesluit als niet vormgegeven bouwstof bij zekerheidsfactor 1.

Parameter	Mix 1		Mix 2		Mix 3	
	waarde	toetsing*	waarde	toetsing*	waarde	toetsing*
PH	10,3	n.v.t.	10,2	n.v.t.	10,9	n.v.t.
Geleidbaarheid (µS/cm)	180	n.v.t	152	n.v.t	415	n.v.t
Antimoon (mg/kg ds)	<0,009	C1	0,060	C1 0,4	<0,009	C1
Arseen (mg/kg ds)	0,85	C1 1,5	0,44	C1	1,2	C2
Barium (mg/kg ds)	<0,60	C1	<0,60	C1	<0,60	C1
Cadmium (mg/kg ds)	<0,007	C1	<0,007	C1	<0,007	C1
Chroom (mg/kg ds)	0,11	C1	0,12	C1	0,28	C1
Cobalt (mg/kg ds)	<0,07	C1	<0,07	C1	<0,07	C1
Koper (mg/kg ds)	<0,1	C1	<0,1	C1	<0,1	C1
Kwik (mg/kg ds)	<0,005	C1	<0,005	C1	<0,005	C1
Lood (mg/kg ds)	<0,3	C1	<0,3	C1	<0,3	C1
Molybdeen (mg/kg ds)	0,70	C2	1,0	C2 0,3	1,3	Niet toepasbaar
Nikkel (mg/kg ds)	<0,2	C1	<0,2	C1	<0,2	C1
Seleen (mg/kg ds)	<0,04	C1>0,9 m [#]	<0,04	C1>0,9 m [#]	<0,07	C1>0,2 m [#]
Tin (mg/kg ds)	0,25	C1 0,7	0,32	C1 0,5	0,27	C1 0,6
Vanadium (mg/kg ds)	0,80	C1	0,55	C1	0,85	C1
Zink (mg/kg ds)	<0,70	C1	<0,70	C1	<0,70	C1
Bromide (mg/kg ds)	<0,80	C1	1,2	C1	<0,80	C1
Chloride (mg/kg ds)	<100	C1	1000	C2	<100	C1
Fluoride (mg/kg ds)	<1,0	C1	<1,0	C1	2,1	C1
Sulfaat (mg/kg ds)	<300	C1	2.600	C2	600	C1

* C1 = categorie 1;
 * C2 = categorie 2, onbeperkte toepassingshoogte, tenzij een waarde is vermeld, dit is de maximale toepassingshoogte in meters
 # toepassingshoogte is minimaal de vermelde waarde, wellicht groter, omdat er sprake is van een (verhoogde) detectiegrens

8.3.3 Evaluatie

Tabel 20 laat zien dat de uitloging van de 8 zogenaamde 'klassieke zware metalen' (d.w.z. Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As en Hg) steeds ruimschoots voldoet aan de eisen van het Bouwstoffenbe-

sluit, met uitzondering van arseen (1x). Deze metalen worden blijikbaar over het algemeen door de thermische behandeling goed vastgelegd.

Zoals bij veel reststoffen van thermische processen wordt een aantal elementen die in anion-vorm voorkomen minder goed vastgelegd. Stoffen als molybdeen, antimoon, vanadium, maar ook arseen, logen meetbaar uit en voldoen voor een deel niet aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit.

Opmerkelijk is dat tin niet voldoet aan de eisen voor een onbeperkte categorie 1 toepassing. Kijkend naar andere secundaire bouwstoffen, overschrijdt tin zelden de eis en tin is bij eerder uitgevoerde indicatieve uitloogproeven ook niet in verhoogde concentraties gemeten. Deze discrepantie kan het gevolg zijn van verschillen in procescondities en/of uitloogcondities. De eerdere indicatieve uitloogproef na de bench-scale testen is uitgevoerd als een pH-gestuurde roerproef bij pH 12, dit om de condities bij toepassing in beton te stimuleren. Belangrijke verschillen tussen de AP04-kolomproef en de indicatieve maximale beschikbaarheidsproef zijn de tijdsduur (3 weken versus 1 dag) en de pH (ca. 10 versus 12).

Alle geteste mixen met uitzondering van mix 3, zijn toepasbaar als categorie 2 bouwstof. Molybdeen is voor alle monsters (mede) bepalend voor de categorie-indeling en is er verantwoordelijk voor dat mix 3 niet toepasbaar is. Verder geldt voor mix 1 dat arseen en (in sterkere mate) tin de toepassingshoogte als categorie 1 materiaal beperken tot een hoogte van maximaal 0,7 m. In mix 2 overschrijden behalve molybdeen ook chloride en sulfaat de categorie 1 eisen, terwijl antimoon en tin de toepassingshoogte beperken tot maximaal 0,4 m. Voor mix 3 geldt dat arseen niet aan de categorie 1 eis voldoet en dat tin de toepassingshoogte beperkt tot 0,6 m. Seleen is in geen van de monsters volledig te beoordelen door de verhoogde detectie-grens. Op basis van de detectie-grens is categorie 1 toepassing mogelijk tot hoogten van 0,9 m of 0,2 m (mix 1,2 respectievelijk mix 3).

8.3.4 Conclusie Bouwstoffenbesluit

Samenvattend wordt geconcludeerd dat toepassing van ongebonden Trefoil-korrels onder categorie 2 condities mogelijk is (uitgezonderd korrels geproduceerd uit mix 3).

Mix 1 heeft de meeste perspectieven voor toepassing als categorie 1 materiaal, maar dan is kwaliteitsverbetering en/of aanpassing van de normen nodig. Kwaliteitsverbetering is mogelijk door optimalisatie van de inputmix en mogelijk door veranderingen in de stookcondities²⁵.

Vooralsnog geldt dat de toepassing van Trefoil-korrels in beton onder categorie 1 condities mogelijk moet zijn. In de eerste plaats bestaat het beton maar voor een deel uit Trefoil-korrels, in de tweede plaats zal het beton een zekere immobiliserende werking hebben. Het is echter wel noodzakelijk om dit te verifiëren, mede gezien de relatief hoge uitloogwaarden van enkele parameters en het feit dat niet alle stoffen in beton worden vastgelegd.

²⁵ Momenteel wordt door de overheid een verruiming van de normstelling voor een aantal 'exoten' (o.a. molybdeen en seleen), sulfaat en fluoride overwogen. Het is echter nog niet zeker dat dit doorgaat. Verder is, zelfs als de eisen met een factor 2 worden verruimd, onbeperkte toepassing als categorie 1 materiaal nog niet bereikt. Indien ongebonden toepassing als categorie 1 materiaal wordt nagestreefd blijft het dus noodzakelijk om ook aandacht te besteden aan kwaliteitsverbetering.

Het voorgaande geldt temeer omdat nu is gerekend met een zekerheidsfactor van 1. Dit is gezien de beperkte omvang van de bemonsterde partij en het aantal deelmonsters reëel maar in de praktijk moet rekening worden gehouden met fluctuaties in de kwaliteit. Er zijn daarom ook toetsingen uitgevoerd bij een zekerheidsfactor van 1,37. In dat geval is mix 2 niet meer toepasbaar en mix 1 alleen bij een toepassingshoogte van 0,4 m (als categorie 2 materiaal). Voor alle materialen geldt dat molybdeen de meest kritische component is.

8.4 Emissies

Aan de hand van het vergelijken van de samenstelling van green en fired pellets is geëvalueerd wat er in het verbrandingsproces gebeurt en welke emissies mogelijk tijdens de verbranding/sintering kunnen optreden.

In tabel 21 de samenstellingsanalyses opgenomen van de green pellets en fired pellets, beide latter stage. In bijlage B2 zijn PAK en minerale olie gespecificeerd in de afzonderlijke componenten/fracties. In de tabel zijn alleen somwaarden vermeld. Door voor iedere stof de twee resultaten te vergelijken ontstaat er inzicht in de mogelijke emissies.

Tabel 21. Resultaten samenstellingsonderzoek green en fired Trefoil-korrels.
Gehalten in mg/kg ds, tenzij anders vermeld.

Parameter	Mix 1		Mix 2		Mix 3	
	green	fired	green	fired	green	fired
<i>Macro-samenstelling</i>						
Droge stof (% m/m)	96,3	100,0	98,2	99,2	98,6	99,6
Organische stof (% van ds)	13,9	4,7	13,8	<1	14,7	<1
Metalen na ontsluiting met koningswater						
Arseen (mg/kg ds)	38	<5	22	<5	19	<5
Cadmium (mg/kg ds)	2,0	1,0	14	0,9	3,5	1,0
Chroom (mg/kg ds)	75	210	95	130	85	120
Koper (mg/kg ds)	100	60	400	380	230	160
Kwik (mg/kg ds)	0,9	<0,1	0,9	<0,1	1,0	<0,1
Lood (mg/kg ds)	85	11	550	41	130	21
Nikkel (mg/kg ds)	140	800	41	380	40	350
Zink (mg/kg ds)	360	220	1700	1000	600	420
<i>Organische micro-verontreinigingen</i>						
PAK 10 VROM (mg/kg ds)	4,6	0,15	11	0,10	6,4	0,05
EOX (mg/kg ds)	5,0	<0,1	3,0	0,2	3,0	<0,1
Minerale olie (mg/kg ds)	1400	<10	1000	<10	1300	<10
<i>XRF-analyses (1)</i>						
Na als Na ₂ O (% van ds)	0,65	0,76	0,99	1,12	0,68	0,81
Mg als MgO (% van ds)	1,63	1,94	1,67	2,01	1,67	1,96
Al als Al ₂ O ₃ (% van ds)	13,2	16,7	9,15	11,6	12,0	14,3
Si als SiO ₂ (% van ds)	49,9	60,3	44,9	54,5	46,6	57,5
P als P ₂ O ₅ (% van ds)	1,69	1,73	5,45	6,40	4,00	4,67
S als SO ₃ (% van ds)	0,33	0,01	0,45	0,39	0,43	0,07
K als K ₂ O (% van ds)	1,71	2,04	2,01	2,36	1,70	2,04
Ca als CaO (% van ds)	7,35	8,52	9,81	11,6	7,97	9,43
Ti als TiO ₂ (% van ds)	0,72	0,91	0,62	0,78	0,68	0,81
V als V ₂ O ₅ (% van ds)	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Cr als Cr ₂ O ₃ (% van ds)	0,02	0,08	0,02	0,04	0,02	0,04
Mn als Mn ₃ O ₄ (% van ds)	0,10	0,13	0,17	0,20	0,13	0,16
Fe als Fe ₂ O ₃ (% van ds)	4,99	6,17	6,94	8,58	6,26	7,53
Co als CoO (% van ds)	0,003	0,005	0,002	0,004	0,003	0,005
Ni als NiO (% van ds)	0,019	0,135	0,004	0,067	0,004	0,062
Cu als CuO (% van ds)	0,007	0,016	0,033	0,044	0,016	0,032
Zn als ZnO (% van ds)	0,05	0,05	0,22	0,21	0,08	0,09
Sr als SrO (% van ds)	0,07	0,09	0,04	0,05	0,06	0,08
Zr als ZrO ₂ (% van ds)	0,09	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06
Ba als BaO (% van ds)	0,08	0,11	0,07	0,09	0,09	0,10
Pb als PbO (% van ds)	0,009	0,007	0,056	0,014	0,013	0,009
Gloeiverlies bij 1025 °C (% van ds bij 105 °C)	17,45	0,25	17,36	-0,12	17,59	0,25
(1): analyses van materiaal dat is gesmolten tot glasparel bij 1025 °C						

Als de resultaten van de green pellets worden vergeleken met de theoretische inputgehalten, zoals berekend uit de geanalyseerde inputstromen en de gehanteerde mengverhoudingen, valt op dat deze met uitzondering van minerale olie in dezelfde orde grootte liggen. Het lagere oliegehalte kan het gevolg zijn van de specifieke voorbereidingen, zoals het drogen van de baggerspecie en het gebruik van gedroogd zuiveringsslib.

De organische microverontreinigingen (PAK, EOX en minerale olie) worden alle vrijwel volledig omgezet in het verbrandingsproces. In de green pellets worden grote hoeveelheden hiervan aangetroffen, die in de fired pellets nauwelijks zijn terug te vinden. Hierin is minerale olie helemaal niet meer vast te stellen, van EOX wordt alleen nog een klein restant teruggevonden in mix 2. PAK is wel aantoonbaar in de fired pellets, maar de hoeveelheden zijn zeer gering in vergelijking tot de waarden van de green pellets, en liggen ruim onder de hergebruiksnormen van het Bouwstoffenbesluit.

Stookproeven

Naast de bovenbeschreven analyse zijn er door Tauw in geconditioneerde laboratoriumomstandigheden nog indicatieve stookproeven op de green pellets uitgevoerd. Deze hebben gediend om de gevonden afnames van (zware) metalen te verifiëren en om nog additioneel naar enkele parameters te kijken, zoals HF en HCl.

Hiertoe zijn de monsters door Tauw in een platina kroesje geplaatst in een buisoven (zie figuur 16), waarna de oventemperatuur op 1170 °C is gebracht. Vervolgens is de temperatuur nog 15 minuten op deze waarde gehouden. Gedurende de volledige periode van opwarmen en de periode van de constante temperatuur van 1170 °C zijn de rookgassen afgezogen en door impingers met wasvloeistoffen geleid. Hierbij zijn kwik en chloride/fluoride separaat bemonsterd. Kwik is ingevangen in een wasvloeistof van kaliumdichromaat/salpeterzuur, chloride en fluoride in een wasvloeistof van 0,1 N NaOH. De totale periode van de bemonstering duurde 44-45 minuten per proef.

De emissiewaarden moeten als indicatief worden beschouwd, omdat de verblijftijd tijdens de proef langer is dan in de praktijk. De emissies tenderen daarom mogelijk naar een overschatting van de praktijkwaarden. Verder geldt dat er maar een kleine hoeveelheid monster kon worden ingezet (circa 10 gram). Overigens zullen ook in de praktijk de emissies fluctueren, omdat de inputkwaliteit zal variëren.



Fig. 16. Opstelling stookproeven. Buisoven, impingers en pompjes.

De concentraties in de wasvloeistoffen zijn teruggerekend naar emissies in mg/kg en mg/kg ds. Chloride en fluoride zijn volgens gebruikelijke procedures uitgedrukt als HCl en HF. Het is echter denkbaar dat Cl en F deels ook als zouten (zoals NaCl) zijn uitgedampt.

Tabel 22. Emissies groene Trefoil-korrels op basis van indicatieve stookproeven.

Parameter	Mix 1	Mix 2	Mix 3
Kwik (mg/kg)	0,77	0,80	0,93
HCl (mg/kg)	53	3.500	200
HF (mg/kg)	5	17	18
Kwik (mg/kg ds)	0,80	0,82	0,94
HCl (mg/kg ds)	55	3.560	203
HF (mg/kg ds)	5,2	17,3	18,3

Uit tabel 22 komt naar voren dat de emissies van kwik een relatief constant beeld te zien geven, dat de chloride-emissie van mix 2 duidelijk is verhoogd en dat de fluoride-emissie van mix 1 duidelijk lager is dan van mix 2 en mix 3. Mix 1 geeft dus voor alle parameters de laagste emissies. De kwikgehalten na ontsluiting met koningswater in de monsters groene korrels 'latter stage' zijn in mix 1, 2 en 3 respectievelijk 0,9; 0,9 en 1,0 mg/kg ds. Hieruit volgt dat de emissie slechts weinig lager is dan het gehalte na ontsluiting met koningswater. Dit gehalte kan dus als worst case benadering worden gebruikt voor de te verwachten emissie.

Metingen aan de pilot-installatie

Tevens zijn in Engeland van 2 mixen tijdens de grootschalige proeven in Oost London enkele (relatief gemakkelijk te meten) parameters bepaald (zie tabel 23).

Tabel 23. Parameters Mix 1 en Mix 2.

MIX 2	MIX 1
-------	-------

LAND INSTRUMENTS INT. BOILER TEST ON MAIN SITE	LAND INSTRUMENTS INT. BOILER TEST ON MAIN SITE	LAND INSTRUMENTS INT. BOILER TEST ON MAIN SITE	LAND INSTRUMENTS INT. BOILER TEST ON MAIN SITE
Type of fuel: Propane Dry analysis O2 normalisation: off	Type of fuel: Propane Dry analysis O2 normalisation: off	Type of fuel: Propane Dry analysis O2 normalisation: off	Type of fuel: Propane Dry analysis O2 normalisation: off
Date: 17.07.03	Date: 17.07.03	Date: 12.06.03	Date: 12.06.03
Time: 16:39:16	Time: 16:48:14	Time: 15:09:52	Time: 15:02:39
T ambient: 25 C T gas : 775 C Tg - Ta : 750 C	T ambient: 27 C T gas : 777 C Tg - Ta : 750 C	T ambient: 27 C T gas : 712 C Tg - Ta : 685 C	T ambient: 27 C T gas : 716 C Tg - Ta : 689 C
CO : 172 ppm SO2 : 478 ppm O2 : 11.3 % NO2 : 3 ppm NO : 128 ppm COHx: 0.10 % CO2 : 6.03 % NOx : 131 ppm	CO : 188 ppm SO2 : 498 ppm O2 : 10.9 % NO2 : 8 ppm NO : 127 ppm COHx: 0.11 % CO2 : 6.28 % NOx : 127 ppm	CO : 8 ppm SO2 : 106 ppm O2 : 13.0 % NO2 : 8 ppm NO : 8.83 ppm COHx: 0.05 % CO2 : 4.96 % NOx : 83 ppm	CO : 8 ppm SO2 : 177 ppm O2 : 12.7 % NO2 : 8 ppm NO : 88 ppm COHx: 0.04 % CO2 : 5.14 % NOx : 86 ppm
Velocity: 0.0 ft/s Flue Temp: 32 F Flow: 0 cu.ft/s	Velocity: 0.0 ft/s Flue Temp: 32 F Flow: 0 cu.ft/s	Velocity: 0.0 ft/s Flue Temp: 32 F Flow: 0 cu.ft/s	Velocity: 0.0 ft/s Flue Temp: 32 F Flow: 0 cu.ft/s
efficiency : 35.1 % loss : 64.9 % excess air : 111.3 % water : 0.0 % O2 norm : 0.0 %	efficiency : 37.1 % loss : 62.9 % excess air : 103.3 % water : 0.0 % O2 norm : 0.0 %	efficiency : 36.3 % loss : 63.7 % excess air : 154.9 % water : 0.0 % O2 norm : 0.0 %	efficiency : 32.0 % loss : 68.0 % excess air : 146.3 % water : 0.0 % O2 norm : 0.0 %

De gevonden afnames als gevolg van het sinterproces (op basis van samenstellingsanalyses), de resultaten van de stookproeven en de emissiemetingen in Oost Londen zijn als input gebruikt voor de dimensionering van de rookgasreiniging (zie paragraaf 9.1.3).

8.5 Kwaliteitsbepaling van Trefoil lichtgewicht toeslagmateriaal voor beton

Een belangrijke doelstelling van fase 4 is geweest het bepalen van de civieltechnische kwaliteit van de geproduceerde Trefoil-korrels. Het technische onderzoek, met name de sterktebepaling, is uitgevoerd door Intron. Het volledige Intron-onderzoek is weergegeven in bijlage D.

Doel van het Intron-onderzoek is geweest:

- Vaststellen of de LWA's uit de drie partijen in Londen geproduceerde LWA voldoen aan de in Nederland geldende norm voor lichtgewichttoeslag materiaal;
- Vaststellen hoe de mechanische eigenschappen van lichtgewicht beton met Trefoil LWA zich verhouden tot de eigenschappen van een referentie lichtbeton en grindbeton.

Het onderzoek is door Intron gefaseerd uitgevoerd. In eerste instantie zijn van alle mixen de korreleigenschappen bepaald, die relevant zijn voor het produceren van (lichtgewicht) beton. Op basis van deze resultaten zijn 2 van de 3 mixen gekozen voor het daadwerkelijk produceren van beton (zijnde mix 1 en 2). Hierbij is gekozen voor die mixen die qua korreleigenschappen het verst uit elkaar lagen. Verwacht wordt dat op basis van interpolatie van de resultaten van deze 2 mixen ook uitspraken gedaan kunnen worden over de mix 3. Naast het produceren van beton met lichtgewicht korrels is tevens op dezelfde wijze beton gemaakt met (natuurlijk) grind en Argexkorrels als referentie. Tevens zijn de resultaten vergeleken met literatuurgegevens van Lytag.

8.5.1 Werkwijze

In eerste instantie zijn de korreleigenschappen van alle drie de mixen bepaald. Hiertoe is als ideale gradering de Füllerkromme aangehouden voor een 0/16mm mengsel.

Het toeslagmateriaal is verdeeld:

- 0-4mm, de zandfractie, dit komt conform Füller uit op ca. 44%v/v;
- 4-16 mm, de grove fractie, dit is ca. 56%v/v.

De mixen hebben de volgende korrelsamenstelling

Tabel 24. Korrelsamenstelling mixen.

Bepaling	Eenheid	mix 1	mix 2	mix 3
Korrelverdeling	%(m/m)			
C22,4		0	0	0
C16		0	2	1
C8		18	30	28
C4		83	90	85
2 mm		98	99	95
< 2 mm		2	1	5
Materiaal aan elkaar (verkit)	%(m/m)	5,8	9,7	9,0
Volumieke massa droge korrels	kg/m ³	1512-1515	1424-1420	1454-1453
gemiddeld		1510	1422	1454
Volumieke massa los gestort	kg/m ³	840-860	790-800	800-800
gemiddeld		850	795	800
Absorptie				
5 min.	%(m/m)	11,7-11,5	9,3-9,1	10,8-10,2
gemiddeld		11,6	9,2	10,5
30 min.	%(m/m)	12,2-12,6	9,1-11,0	10,7-11,0
gemiddeld		12,4	10,1	10,8
24 uur	%(m/m)	14,6-15,6	13,7-12,3	13,1-13,2
gemiddeld		15,1	13	13,2
Korrelsterkte	N/mm ²	3,0-2,8	2,9-3,1	2,7-2,9
gemiddeld		2,9	3,0	2,8

Qua (formele) civiel-technische eisen aan grind voor lichtgewicht beton (NEN 3543) voldoen de Trefoil-LWA-korrels, op de korrelverdeling na. Verwacht wordt dat dit op een commerciële schaal eenvoudig te verhelpen zal zijn door een goede instelling van het pelletiseerproces. Op basis van de korreleigenschappen zijn mixen 1 en 2 gekozen voor het maken van beton.

Alle gemaakte betonsoorten zijn op exact dezelfde manier gemaakt (o.a. dezelfde gradering, dezelfde wcf, etc.). Als referentiematerialen is gekozen voor natuurlijk (nederlands) grind en (lichtgewicht) Argex. Gekozen is voor Argex, omdat de korreleigenschappen van mixen 1 en 2 redelijk overeenkomen met die van Argex en Argex een lichtgewicht toeslagmateriaal voor beton is wat momenteel wordt gebruikt op de Nederlandse markt.

Het zand voor het beton is samengesteld uit de normzanden 2-4 mm, 1-2 mm, 0,5-1 mm en de zilverzanden S55 en S50 om op de Füllerlijn te komen. De grove fractie wordt bepaald door de fracties 4-8 en 8-16mm. Dit betekent dat het grove materiaal, behalve voor het grindbeton 0/16mm, uitgezeefd moest worden. Voor het Argexbeton is de fractie 4-8 mm uit Argexpartij 4-10mm gehaald, de fractie 8-16 mm is gehaald uit de aangeleverde partij 8-16 mm.

De mengsels moeten voldoen aan:

- wcf 0,50;
- cementsoort CEM III 42,5 N;
- hoeveelheid cement 320 kg/m³;
- zetmaat 100 +/- 20 mm;
- verwerkbaarheid zonodig instellen met Superplast (niet op melamine basis), gekozen is de OFT III van Tillman, waarbij het vast stofgehalte 40% m/m is.

De lichte toeslag is 30 minuten vooraf aan het draaien onder water gedompeld om te kunnen absorberen. Begin en eindgewicht zijn genoteerd om de exacte absorptie te kunnen meten en de waterbehoefte aan te passen.



Fig. 17. Het onder water zetten van de pellets.



Fig. 18. Het uitlekken van de pellets.

Bijzonderheden mengsels

Mengsel Grindbeton(niet afgebeeld). Dit mengsel ziet er ietwat schraal uit. Om de zetmaat van 100 +/- 20 mm te halen is er 0,3% Superplast nodig. Zetmaat is dan 120 mm. Luchtgehalte 1,5% v/v.



Fig. 19. Mengsel Mix 1. Dit mengsel ziet er ook schraal uit. Zetmaat is volgens recept (zonder toevoeging van Superplast) na aanmaak 135 mm. Luchtgehalte 5%v/v. De proefstukken zijn goed te verdichten op de triltafel. Ook na ontkisten zien ze er goed uit.



Fig. 20. Mengsel Mix 2. Dit mengsel ziet er, evenals mengsel Mix 1, schraal uit. Zetmaat is volgens recept, dus zonder Superplast 115 mm. Luchtgehalte 7,8%v/v. Proefstukken zijn goed te verdichten op triltafel. Ook na ontkisten zien ze er goed uit.



Fig. 21. Mengsel Argex. Het toeslagmateriaal heeft een lage vol. massa. Dit gaf problemen bij het onder water zetten en tijdens het mengen in de mixer. Zetmaat na aanmaak was 220 mm. Luchtgehalte 9,0%v/v. Bij het verdichten met de triltafel is er sprake van enige ontmenging. De grove korrels komen tijdens het trillen omhoog. Dat is ook na ont-kisten te zien.

8.5.2 *Mechanische eigenschappen Trefoil LWA, een evaluatie*

Het blijkt dat de mechanische eigenschappen en de krimp van de Trefoil LWA's Mix 1 en Mix 2 nagenoeg gelijk zijn. Met beide materialen kan beton gemaakt worden van de sterkteklasse B25 bij een volumieke massa van ca. 1950 kg/m³.

Een hogere sterkteklasse is vermoedelijk ook mogelijk doordat de water-cementfactor nog verlaagd kan worden.

De druksterkte, slijttreksterkte en de E-modulus zijn lager dan die van het referentie grindbeton, hetgeen te verwachten viel, omdat het grindbeton met harde dichte toeslagmaterialen is vervaardigd.

De krimp van het beton met de Trefoil LWA's is beduidend lager dan die van de referentie grindbeton. Wanneer de eigenschappen van het Trefoil LWA beton worden vergeleken met de eigenschappen van grindbeton uit dezelfde sterkteklasse (B25) dan blijkt dat de E-modulus lager is dan die van het grindbeton, maar dat de slijttreksterkte vergelijkbaar is met of hoger is dan die van het grindbeton.

Ten opzichte van het referentie lichtgewicht toeslagmateriaal (Argex) presteren de Trefoil LWA's beter bij een gelijke wcf van 0,55. Alle mechanische eigenschappen van het Trefoil LWA beton zijn hoger. De volumieke massa is echter ook hoger: 1950 kg/m³ ten opzichte van circa 1700 kg/m³. Deze massa maakt de verwerkbaarheid wel gemakkelijker; de Trefoil LWA drijft niet op bij verwerken, terwijl de Argex-korrels dit wel doen.

8.6 Conclusies m.b.t. kwaliteitsbepaling van het grind

8.6.1 *Bouwstoffenbesluit*

Samenvattend wordt geconcludeerd dat toepassing van ongebonden Trefoil-korrels onder categorie 2 condities mogelijk is (uitgezonderd mix 3). Mix 1 heeft de meeste perspectieven voor toepassing als categorie 1 materiaal, maar dan is kwaliteitsverbetering en/of aanpassing van de normen nodig. Stoffen als molybdeen, arseen, antimoon en vanadium logen meetbaar uit en voldoen voor een deel niet aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit, ook voor sulfaat wordt de grens overschreden. Kwaliteitsverbetering is mogelijk door optimalisatie van de inputmix en mogelijk door veranderingen in de stookcondities.

Vooralsnog geldt dat de toepassing van Trefoil-korrels in beton onder categorie 1 condities mogelijk moet zijn. In de eerste plaats bestaat het beton maar voor een deel uit Trefoil-korrels, in de tweede plaats zal het beton een zekere immobiliserende werking hebben. Het is echter wel noodzakelijk om dit te verifiëren, mede gezien de relatief hoge uitloogwaarden van enkele parameters en het feit dat niet alle stoffen in beton worden vastgelegd.

Qua samenstelling van de organische microverontreinigingen (PAK, EOX en minerale olie) kan geconstateerd worden dat alle vrijwel volledig omgezet worden in het verbrandingsproces. In de green pellets worden grote hoeveelheden hiervan aangetroffen, die in de fired pellets nauwelijks zijn terug te vinden. Hierin is minerale olie helemaal niet meer vast te stellen, van EOX wordt alleen nog een klein restant teruggevonden in mix 2. PAK is wel aantoonbaar in de fired pellets, maar de hoeveelheden zijn zeer gering in vergelijking tot de waarden van de green pellets. In alle gevallen wordt ruimschoots voldaan aan de samenstellingseisen uit het Bouwstoffenbesluit.

8.6.2 *Emissies sintering*

Uit de samenstellingsanalyse en de stookproeven blijkt dat arseen, cadmium, kwik en lood voor het grootste deel verdampen (gemiddeld circa 80 tot 90%) en koper en zink verdwijnen voor 40-50%. Samen met het emissiemetingsresultaat in Oost Londen zijn alle resultaten gebruikt als inputdata voor het dimensioneren van de rookgasreiniging. Met name de kwikemissies bepalen voor een belangrijk deel de 'zwaarte' hiervan.

8.6.3 *Mechanische eigenschappen*

Qua (formele) civiel-technische eisen aan grind voor lichtgewicht beton voldoen de Trefoil-LWA-korrels, op de korrelverdeling na. Verwacht wordt dat dit op een commerciële schaal eenvoudig te verhelpen zal zijn door een goede instelling van het pelletiseerproces.

Het blijkt dat de mechanische eigenschappen en de krimp van de Trefoil LWA's Mix 1 en Mix 2 nagenoeg gelijk zijn. Met beide materialen kan beton gemaakt worden van de sterkteklasse B25 bij een volumieke massa van ca. 1950 kg/m³.

Een hogere sterkteklasse is vermoedelijk ook mogelijk doordat de water-cementfactor nog verlaagd kan worden.

Uit microscopisch onderzoek blijkt dat de Trefoil LWA-korrels goed gebonden zijn in de cementmatrix en dat er geen microscheuren in het beton ontstaan als gevolg van de Trefoil LWA's. De verwachting is dan ook dat de duurzaamheid niet negatief wordt beïnvloed door de aanwezigheid van Trefoil LWA's.

De mechanische eigenschappen van het Trefoil LWA beton zijn lager dan het referentie grindbeton, zoals verwacht mocht worden, omdat grindbeton van hardere toeslagmaterialen is gemaakt. De krimp van Trefoil LWA beton is echter beduidend lager dan die van grindbeton.

Het Trefoil LWA beton presteert beter dan het referentie Argex beton. Alle mechanische eigenschappen zijn hoger, echter ook de volumieke massa; 1950 kg/m³ ten opzichte van 1700 kg/m³. Bovendien is de verwerkbaarheid beter, de LWA korrels drijven niet op bij het beton maken.

De Trefoil LWA's zijn tevens qua korreleigenschappen vergeleken met Lytag (op basis van literatuurwaarden). De Trefoil LWA's zijn wat absorptie betreft vergelijkbaar met Lytag. De volumieke massa van de droge los gestorte korrels en de korrelsterkte van de Trefoil LWA's zijn lager dan die van Lytag. Bij gelijke druksterkte (B25) is de splijttreksterkte van beton met Trefoil LWA's vermoedelijk

hoger dan en minstens gelijk aan die van beton met Lytag-korrels. De E-modulus is bij gelijke druksterkte lager dan die van Lytag-beton.

Al met al kan geconcludeerd worden dat de geproduceerde Trefoil lichtgewicht toeslagmaterialen Mix

1 en Mix 2 geschikt zijn om in beton toe te passen. Met de Trefoil LWA's kan een beton worden gemaakt van sterkte klasse B25 dat vergelijkbaar is met beton op basis van Lytag-korrels.

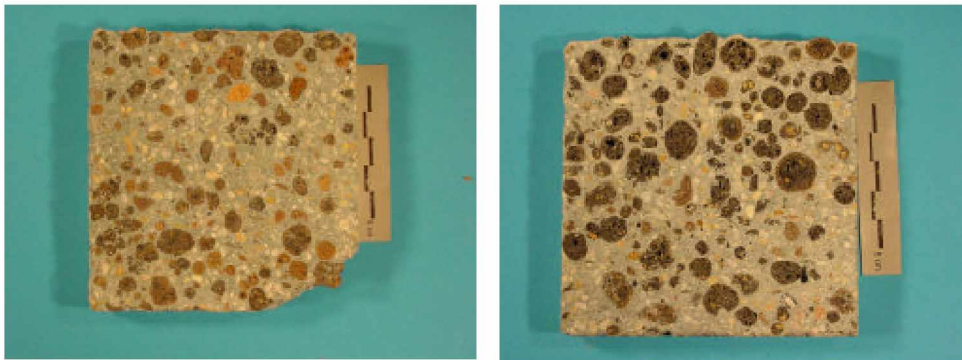


Fig. 22. Beton met Mix 1 als grof toeslagmateriaal. Beton met Mix 2 als grof toeslagmateriaal.

8.6.4 Aanbevelingen

INTRON beveelt aan het onderzoek naar de Trefoil LWA's voort te zetten. Aspecten die in een volgend onderzoek onderzocht moeten worden zijn:

- de invloed van de Trefoil LWA's op de constructieve eigenschappen van beton;
- de invloed van de Trefoil LWA's op de duurzaamheid van beton;
- de invloed van de water-cementfactor op de mechanische en constructieve eigenschappen van beton met Trefoil LWA's.

HOOFDSTUK 9

HAALBAARHEID IN DE NEDERLANDSE SITUATIE

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk vindt de synthese plaats van alle voorgaande onderzoeken, resultaten en aanbevelingen voor vervolg. De resultaten en aanbevelingen laten zich qua installatie in de Nederlandse situatie vertalen in:

- design van het LWA-productieproces (op hoofdlijnen);
- design van een rookgasreiniging;
- financiële verkenning van de haalbaarheid van een LWA-productiefabriek in Nederland, gebaseerd op het voorgaande beschreven design.

Het onderzoeken van de financiële haalbaarheid moet in dit stadium gezien worden als een verkenning, aangezien er nog de nodige kennisleemtes aanwezig zijn. Deze zogenaamde 'witte vlekken' (aandachtspunten voor vervolg) worden tevens beschreven in dit hoofdstuk.

9.2 Beschrijving van het LWA-productieproces

Binnen het Trefoil-proces in de Nederlandse situatie zijn grofweg drie stappen te onderscheiden:

- de voorbehandeling van de grondstoffen;
- het vormen en sinteren van LWA;
- het reinigen van de gevormde rookgassen.

Deze stappen worden in dit hoofdstuk in schema's (figuren 23, 24 en 25) weergegeven.

9.2.1 *De voorbehandeling van de grondstoffen*

Er kan onderscheid gemaakt worden in droge grondstoffen en natte grondstoffen. De droge grondstoffen bestaan uit vliegashoudend van kolengestookte energiecentrales, afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) en slibverbrandingsinstallaties (SVI's). De opslag van deze droge stoffen (drogestofpercentage > 99 %) vindt plaats in silo's.

De natte grondstoffen bestaan uit baggerspecie, grondreinigingsresidu en zuiverings-slib. De baggerspecie wordt met een drogestofpercentage van maximaal 55 % aangeleverd (reeds gerijpt of mechanisch ontwaterd middels zeefbandpersen). Het grondreinigingsresidu heeft ook een drogestofpercentage van circa 55 % (gerijpte baggerspecie kan droge stof tot 70% (m/m) hebben). Opslag vindt plaats in opslagbunkers. Beide grondstoffen worden op de locatie van de Trefoil-installatie gedroogd tot een drogestofpercentage > 95 %. Voorafgaand aan het drogen worden in een grove delen afscheider onrechtmatigheden verwijderd. Droging kan plaatsvinden op twee verschillende manieren: direct of indirect. In het processchema is uitgegaan van indirecte droging met stoom. In paragraaf 9.3 "Procesvarianten", komen de voor- en nadelen van direct en indirect drogen aan bod. De stoom (circa 10 bar) wordt in een stoomketel downstream in het proces geproduceerd. Een eventueel tekort aan stoom kan aangevuld worden met stoomoverschotten van aangrenzende industrieën. De gedroogde baggerspecie en het grondreinigingsresidu worden in een maalinstallatie verijnd. (Tussen) opslag van het gedroogde materiaal vindt plaats in silo's.

Het mechanisch ontwaterde zuiverings-slib (slibkoek) heeft een drogestofpercentage van circa 25 % en wordt direct toegepast in het proces. De voorbehandeling bestaat uit het verwijderen van eventuele onrechtmatigheden door middel van een grove delen afscheider. Opslag vindt plaats

in een bunker of silo's die op onderdruk gehouden worden door lucht af te zuigen en te gebruiken als verbrandingslucht voor het sinterproces.

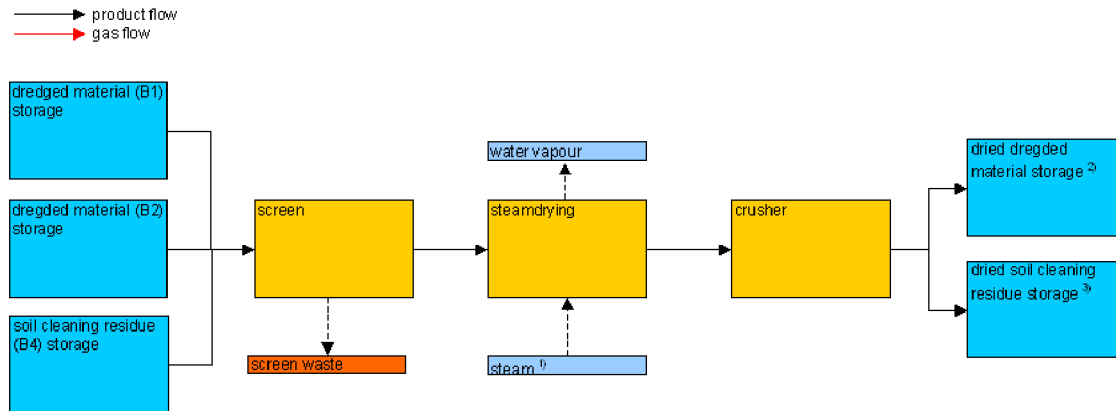


Fig. 23. Trefoil LWA-productieproces - Stap 1: Voorbehandeling grondstoffen.

9.2.2 Het vormen en sinteren van LWA

De droge of gedroogde grondstoffen worden in een droge stoffen menger gemengd. Eventueel zou kalk bijgemengd kunnen worden om in het sinterproces zwaveldioxide te binden tot gips. De voor- en nadelen van deze kalkdosering komen in paragraaf 9.3 "Procesvarianten", aan bod. Vervolgens wordt in een volgende menger ontwaterd zuiveringsslib bijgemengd. In een schotel-pelletiseerinstallatie worden uit het mengsel korrels geproduceerd, waarvan de afmeting gevarieerd kan worden (over het algemeen > 10 mm). In de schotel kan water toegevoegd worden indien door middel van het zuiveringsslib onvoldoende vocht aan de droge stoffen is toegevoegd. In een polisher wordt het oppervlak van de korrels verdicht. Vervolgens worden de korrels in een trommeldroger gedroogd. Voor het drogen van de korrels wordt hete lucht gebruikt die vrijkomt bij het koelen van het eindproduct. Eventueel kan door middel van het stoken van gas de temperatuur van de drooglucht verhoogd worden.

De gedroogde korrels worden in een tussenopslag silo gebufferd. Stof en te kleine korrels worden middels een zeefinstallatie verwijderd, voordat de korrels gesinterd worden. Het uitgezeefde materiaal wordt opnieuw in het proces (her)gebruikt. In een energiezuinige Trefoil-oven worden de gedroogde korrels eerst voorverhit om vervolgens bij 1150 °C gesinterd te worden. Het grootste deel van de hiervoor benodigde energie wordt geleverd door de calorische waarde van de organische stof uit het zuiveringsslib, de baggerspecie, het grondreinigingsresidu en de niet verbrande koolstof in het vlieggas van kolengestookte energiecentrales. Daarnaast is de oven voorzien van een gasbrander om de temperatuur in de oven nauwkeurig te kunnen regelen.

Het geproduceerde LWA wordt in twee fases afgekoeld middels koellucht afkomstig uit de opslag voor het zuiveringsslib. De opgewarmde koellucht wordt gebruikt voor het drogen van de vochtige korrels en wordt ingezet als verbrandingslucht in het sinterproces. Het afgekoelde LWA wordt opgeslagen in bunkers. De energie uit de hete rookgassen wordt teruggewonnen middels het opwekken van stoom in een stoomketel. De geproduceerde stoom wordt ingezet voor het drogen van de baggerspecie. Het tot 200 °C afgekoelde rookgas wordt in de rookgasreiniging ontdaan van voor het milieu schadelijke componenten.

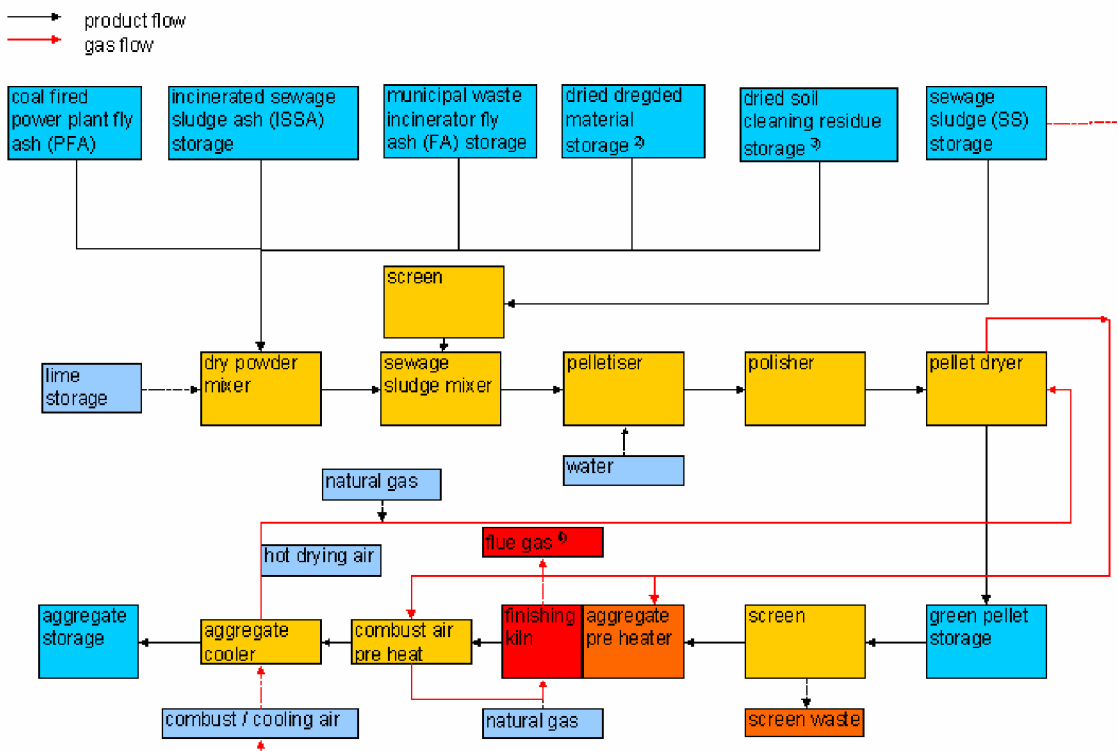


Fig. 24. Trefoil LWA-productieproces - Stap 2: Vormen en Sinteren.

9.2.3 Het reinigen van de gevormde rookgassen

Het uitgangspunt bij het reinigen van de rookgassen is dat voldaan wordt aan de emissiegrenswaarden, zoals gesteld in het Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA). Het reinigen van de rookgassen kan middels een droge of een natte rookgasreiniging. Daarnaast is de keuze voor directe of indirecte droging van de baggerspecie en het grondreinigingsresidu van invloed op de rookgasreiniging. In het processchema is uitgegaan van indirecte droging en natte rookgasreiniging. De voor- en nadelen van een droge en natte rookgasreiniging komen in paragraaf 9.3 "Processvarianten", aan bod.

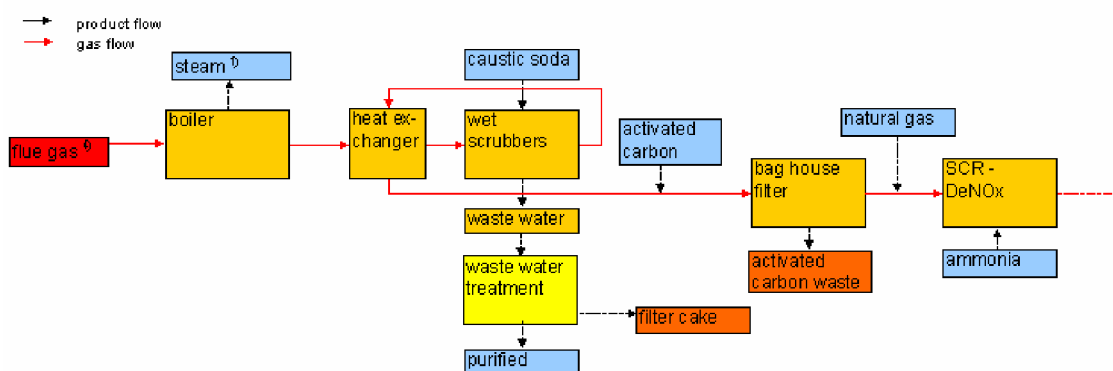


Fig. 25. Trefoil LWA-productieproces - Stap 3: Rookgasreiniging.

De na de stoomketel tot 200 °C afgekoelde rookgassen worden in een tweetraps natte wassing ontdaan van stof, chloriden, fluoriden, zware metalen en zwaveldioxide. Middels de dosering van natronloog kan de pH-waarde in de wassers geregeld worden. Continu wordt een stroom verontreinigd water uit de wassers onttrokken en in een fysisch/chemische afvalwaterbehandelingsinstallatie ontdaan van zware metalen. Hierbij komt verontreinigd rookgasreinigingsresidu vrij. De temperatuur van de rookgassen na de wassers wordt middels een warmtewisselaar verhoogd, voordat door middel van het doseren van actiefkool in de rookgassen restanten zware metalen (kwik) en eventueel gevormde dioxinen in een doekenfilter worden afgevangen. Bij dit proces komt verontreinigd actiefkool vrij. Tenslotte worden in een SCR-DeNOx-installatie (SCR is Selectieve Catalytische Reductie) middels ammonia-injectie stikstofoxiden gereduceerd tot onschadelijk stikstofgas.

9.3 Procesvarianten

De basis van het Trefoil-proces in de Nederlandse situatie komt sterk overeen met de installatie in Tilbury (Engeland). Het grote verschil is het gebruik van (voor een deel) andere grondstoffen en de noodzakelijke toevoeging van een uitgebreide rookgasreinigingsinstallatie. Dit resulteert erin dat een aantal systemen niet per definitie overeenkomt met het Engelse proces. Deze systemen dienen in een volgende ontwerpfase uitgekristalliseerd te worden.

Kalkdosering

In Engeland wordt kalk gedoseerd tussen de grondstoffen, zodat de in het sinterproces gevormde zwaveldioxide gebonden wordt tot gips. In het Nederlandse proces zou dit ook toegepast kunnen worden, echter niet duidelijk is wat hiervan het effect is op de kwaliteit van het eindproduct. Voordeel van kalkdosering is dat in geval van een natte rookgasreiniging veel minder of geen natronloog gebruikt hoeft te worden om zwaveldioxide af te vangen. Mogelijk kan zelfs een deel van de natte wassing achterwege blijven.

Direct of indirect drogen

In Engeland wordt gebruik gemaakt van een directe droger. De hete rookgassen uit de Trefoil-oven worden na koeling direct door het te drogen product (in Engeland klei) geleid. Een groot nadeel hiervan in de Nederlandse situatie is dat de hoeveelheid rookgas, door verdamping van het water in de directe droger, sterk toeneemt, waardoor de rookgasreiniging groter uitgevoerd dient te worden. Daarnaast bevatten de rookgassen een grotere hoeveelheid stof en kan de grotere hoeveelheid vocht in de rookgassen corrosieproblemen veroorzaken in de rookgasreiniging. Het nadeel van indirect drogen is dat een extra stap nodig is in de vorm van een stoomketel om de energie uit de hete rookgassen terug te winnen. Het voordeel van indirect drogen is dat eventuele reststoom afkomstig van aangrenzende industrieën makkelijk kan worden ingezet.

Droge of natte rookgasreiniging

De keuze voor een droge of een natte rookgasreiniging hangt van een groot aantal factoren af. Het grote verschil tussen beide systemen is dat een natte rookgasreiniging een afvalwaterstroom geeft die vóór lozing gereinigd dient te worden. Het verwijderingsrendement van beide systemen verschilt niet sterk. Over het algemeen kan gesteld worden dat de investering in een natte rookgasreiniging groter is, maar dat de operationele kosten (hulp- en reststoffen) lager zijn dan die van een droge rookgasreiniging. Daarnaast kan gesteld worden dat de natte rookgasreiniging 'robuuster' is dan de droge rookgasreiniging.

9.4 Financiële haalbaarheid in de Nederlandse situatie

Uitgaande van de in paragraaf 9.2 beschreven installatie kan de benodigde investering berekend worden. Hierbij is uitgegaan van een installatie die 200.000 ton LWA/jaar kan produceren. Dit

vanwege de vergelijkbaarheid met de Tilbury-installatie en de gewenste schaalgrootte. Om te komen tot een reële inschatting van de benodigde investeringen voor het LWA-productiedeel is in eerste instantie gekeken naar de Tilbury-installatie. Vervolgens zijn de onderdelen, die verschillen met Tilbury, geraamd en verdisconteerd in het benodigde budget. Rekening houdend met inflatiecorrecties is zodoende een reële huidige inschatting van investeringen van het LWA-productiedeel verkregen. Het rookgasreinigingsdeel, dat aanvullend is aan de Tilbury-installatie, is geraamd op basis van kentallen en ontwerpervaring van zowel Tauw als DRSH. De totaal benodigde investering wordt geraamd op € 35 miljoen, inclusief logistiek, opslag en gebouwen. Dit bedrag is exclusief de kosten voor de aankoop of huur van een terrein aan water met een oppervlak van circa 4 hectare, zoals benodigd voor de installatie, opslag van grondstoffen en product en de omliggende logistiek.

Vervolgens zijn in overleg met RTAL, DRSH en Tauw de operationele kosten geschat. Uitgegaan is van een installatie die 24 uur per dag draait, 5 dagen per week met 4 tot 5 weken per jaar stilstand vanwege onderhoud en reparatie. Dit zijn gebruikelijke uitgangspunten voor gelijksoortige thermische installaties. Wel is gedurende de eerste drie operationele jaren uitgegaan van een lagere bezettingsgraad vanwege verwachte opstartproblemen en het moeten verhelpen van "kinderziektes".

Andere belangrijke inschattingen met betrekking tot operationele kosten zijn gedaan voor:

- onderhoud en reparatie;
- stroom- en gasverbruik;
- verbruik van grondstoffen, vooral voor de rookgasreiniging en vervolgens afzet van restproducten hieruit;
- energie-efficiëntie.

Aan de opbrengstenkant is gekeken naar 2 inkomstenbronnen:

- gate-fee (opbrengsten vanwege het innemen en verwerken/reinigen van grondstoffen/afvalstoffen);
- verkoop van het geproduceerde LWA.

Bij de gate-fee is voor alle grondstoffen uitgegaan van de huidige afzetkanalen en de daarbij behorende kosten. Het moge duidelijk zijn dat de totale gate-fee sterk varieert, afhankelijk van de te gebruiken grondstoffen. De totale gate-fee varieert van circa € 20,- tot € 55,- per geproduceerde ton LWA.

Ook het schatten van een reële verkoopprijs voor het LWA is lastig en sterk afhankelijk van het te kiezen marktsegment (of segmenten) en de efficiëntie om dit marktsegment te kunnen bedienen (zie ook hoofdstuk 7). Vooralsnog is uitgegaan van een prijsrange van € 6,- tot € 30,- per ton geproduceerd LWA.

Ten aanzien van de investeringen is gewerkt met een afschrijvingstermijn van 10 jaar. Dit is voor thermische installaties relatief kort (de levensduur van dergelijke installaties is doorgaans langer bij goed onderhoud), maar hiervoor is gekozen vanwege de grote risico's die met thermische immobilisatie van onder andere baggerspecie gepaard gaan. Een langere periode kan simpelweg niet overzien worden (zie ook 9.5). Alle voorgenoemde kosten, opbrengsten en overige uitgangspunten zijn verwerkt in een model, waarmee een ROI (Return on Investment) berekend kan worden (rekening houdend met inflatie).

Wezenlijke uitgangspunten voor dit model zijn:

- gegarandeerde aanvoer van grondstoffen;
- gegarandeerde afzet van LWA-producten;

- continue productie, behoudens ingecalculeerd onderhoud en inefficiëntie voor opstart en kinderziektes.

Op basis van de modelberekeningen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het Trefoil-LWA-productieproces is financieel haalbaar bij bovengenoemde uitgangspunten, dat wil zeggen dat positieve ROI's haalbaar zijn. De vraag of deze ROI's ook daadwerkelijk hoog genoeg zijn, gezien de aanwezige risico's, om een dergelijke investering te kunnen verantwoorden en interessant te zijn voor investeerders, is momenteel nog niet te beantwoorden. Hiervoor moeten de mogelijkheden om de risico's effectief te kunnen beheersen nader onderzocht worden;
- Een bedrijfsvoering van een LWA-productiefabriek op basis van de inputmix 1 is niet financieel mogelijk. Deze mix heeft bij reële uitgangspunten een te lage gate-fee om een positieve ROI te kunnen verwachten. Dit betekent dat het meenemen van andere afvalstoffen dan baggerspecie een voorwaarde is voor het financieel economisch verantwoord runnen van een Trefoil-LWA-productiefabriek;
- De afzetprijs van het LWA is een dominante factor in het wel of niet haalbaar zijn van het concept, maar de gate-fee's werken nog sterker door.

9.5 Kennishiaten

Voor de uiteindelijke afweging om te komen tot een verantwoorde beslissing omtrent de investering in een LWA-productiefabriek conform het Trefoil-concept in Nederland moet, naast detail-engineering, nog een aantal vragen beantwoord worden. Deze vragen zijn, gezien het verkennende karakter van het SKB-onderzoek, tot op heden nog niet beantwoord.

Het gaat om de volgende "witte vlekken" ten aanzien van "haalbaarheid":

- Wat gaat de Nederlandse wet- en regelgeving doen op het gebied van afvalstoffen? Het gaat hier vooral over de volgende aandachtspunten:
 - Wet- en regelgeving op het gebied van afzet- en stortmogelijkheden van grond- en afvalstoffen. Strengere dan wel soepelere regelgeving kan leiden tot andere afzetmogelijkheden met bijbehorende kosten. Hierbij kan vooral gedacht worden aan het sterk in beweging zijnde beleid rondom baggerspecie en vliegassen. Gezien de sterke afhankelijkheid van het LWA-productieproces van gate-fee's heeft dit direct grote invloeden op de financiële haalbaarheid hiervan;
 - Wet- en regelgeving op het gebied van de afzet van het LWA-product. Met name het Bouwstoffenbesluit staat recentelijk onder druk en vergaande wijzigingen worden binnen afzienbare tijd verwacht. Uit de uitlooggegevens blijkt bovendien dat uitloging van met name "exotische metalen" (als antimoon en molybdeen) en sulfaat een potentieel probleem voor afzet is. Nu is het zo dat uitloognormen hiervan voor allerlei bouwstoffen ter discussie staat en dat zelfs voor uitloging van deze stoffen uit grond en baggerspecie in april 2004 een vrijstellingsregeling van kracht wordt;
 - Welke emissienormen worden opgelegd aan een LWA-productiefabriek? Naast de feitelijke normering en bijbehorende investeringen speelt ook de beeldvorming hierbij een belangrijke rol. Krijgt een LWA-productiefabriek normen opgelegd voor een fabriek waarin bouwstoffen worden geproduceerd of de normen die horen bij een afvalverbrander?
- Welke zekerheden kunnen verkregen worden over aanbod van grond-/afvalstoffen, zowel ten aanzien van duur van aanbodgaranties, continuïteit van aanvoer (geleidelijk of schoksgewijs) en bijbehorende prijs?
- Welke zekerheden kunnen verkregen worden over (gegarandeerde) afzet van het LWA, afhankelijk van het uiteindelijk te kiezen marktsegment(en)?
- In hoeverre is het op commerciële schaal goed mogelijk om de (gewenste) gradering van de LWA goed te kunnen beheersen?

- Wat is de invloed van (eventuele) kalkdosering op de rookgasreiniging en op de kwaliteit van de LWA?
- Welk type droging is uiteindelijk het beste (directe of indirecte droging)?
- Welk type rookgasreiniging is uiteindelijk het beste (droog of nat)?

9.6 Conclusies en aanbevelingen

Er is getracht een optimale weergave van het Trefoil-productieproces te schetsen voor de Nederlandse situatie. De basis van het Trefoil-proces in de Nederlandse situatie komt sterk overeen met de installatie in Tilbury (Engeland). Het grote verschil is het gebruik van (voor een deel) andere grondstoffen en de noodzakelijke toevoeging van een uitgebreide rookgasreinigingsinstallatie.

Het Trefoil-LWA-productieproces is financieel haalbaar, dat wil zeggen dat positieve ROI's haalbaar zijn. Om de vraag of deze ROI's ook daadwerkelijk hoog genoeg zijn te beantwoorden, moeten de mogelijkheden om de risico's effectief te kunnen beheersen nader onderzocht worden. Het meenemen van andere afvalstoffen dan baggerspecie is een voorwaarde voor het financieel economisch verantwoord runnen van een Trefoil-LWA-productiefabriek.

De afzetprijs van het LWA is een dominante factor in het wel of niet haalbaar zijn van het concept en is sterk afhankelijk van het te kiezen marktsegment (of segmenten), en van de poorttarieven van de te gebruiken materiaalstromen.

Voor de uiteindelijke afweging om te komen tot een verantwoorde beslissing omtrent de investering in een LWA-productiefabriek conform het Trefoil-concept in Nederland moeten, naast detail-engineering en duidelijkheid omtrent de kosten van de grondstoffen en de marktprijs, nog een aantal "witte vlekken" op het gebied van wet- en regelgeving worden ingevuld.

CONCLUSIES, ONZEKERHEDEN EN OMISSIES, AANBEVELINGEN

10.1 Inleiding

De samenvattende conclusies van het omvangrijke Trefoil SKB-project SV-517 worden gerangschikt volgens de aandachtsgebieden welke van doorslaggevend belang zijn geweest voor het halen van de doelstellingen van het Trefoil SKB-project. De aandachtsgebieden zijn onderverdeeld aan de hand van de belangrijkste onderwerpen dan wel parameters. Wanneer dit stramien wordt aangehouden, komen we tot een indeling als volgt:

1. Conclusies op procedureel/projectmatig gebied;
2. Conclusies met betrekking tot de technische haalbaarheid van het Trefoil-principe voor Nederland;
3. Conclusies met betrekking tot de milieutechnische haalbaarheid van het Trefoil-principe voor Nederland;
4. Conclusies met betrekking tot de kwaliteitseisen van Trefoil voor de Nederlandse markt;
5. Conclusies met betrekking tot de marktpotentie van Trefoil in Nederland;
6. Conclusies met betrekking tot de financieel economische haalbaarheid van een Trefoil-installatie in Nederland.

10.2 Conclusies: procedureel/projectmatig gebied

10.2.1 Samenwerking

De samenwerking in dit internationale project is over het algemeen goed geweest. Er moet worden geconcludeerd dat een project als Trefoil, dat gefaseerd is opgebouwd, erg kwetsbaar is voor vertragingen. Grote vertraging is opgetreden door het verschil in interpretatie van de Engelse en Nederlandse overheden en tussen lokale overheden in Engeland ten aanzien van het begrip afvalstoffen, testen en eisen t.a.v. exportvergunningen. Dit heeft geleid tot een vertraging van meer dan een jaar en extra kosten.

10.2.2 Voordelen fasering en opschaling

Geconcludeerd mag worden dat de fasering en de opschaling in de verschillende fasen duidelijk hun voordelen hebben aangetoond. Met name de bandbreedten van de percentages van de individuele afvalstromen in de mixen zijn vernauwd en er is goed inzicht verkregen hoe en met welke materiaalstromen een goed LWA-product kan worden geproduceerd.

10.3 Conclusies: technische haalbaarheid van het Trefoil-principe voor Nederland

10.3.1 Technische haalbaarheid

Geconcludeerd mag worden dat het technisch haalbaar is gebleken om van een mix van Nederlandse materiaalstromen, inclusief baggerspecie, grondreinigingsresidu, zuiveringsslib en vliegas een Trefoil LWA-korrel te produceren.

10.3.2 Materiaal

Geconcludeerd wordt verder dat als basisinputstroom baggerspecie voldoet. Baggerspecie, en vooral de klei hierin, kan hierbij beschouwd worden als het materiaal dat de matrix van de korrel levert (zogenaamd bindingsmateriaal); in mindere mate geldt dit evenzeer voor het grondreinigingsresidu. Als energiedragers voor de Nederlandse situatie voldoen vliegas van kolengestookte centrales en zuiveringsslib.

10.3.3 *Beperking van het aantal materiaalstromen*

Hoewel technisch mogelijk, is geconcludeerd dat in dit stadium getracht moet worden om niet te veel materiaalstromen te gebruiken voor een bepaalde kwaliteit Trefoil LWA. Meer materiaalstromen betekent meer onzekerheid en dat is in tegenspraak met het opbouwen van marktvertrouwen ten aanzien van constantheid en leveringsgaranties van het product.

10.3.4 *Twee ideale mixen*

In het SKB Trefoil-project is het mogelijk gebleken om twee 'ideale mixen' te definiëren; de individuele percentages van iedere materiaalstroom met de mogelijke variaties (bandbreedten) kunnen nauwkeurig worden gegeven.

10.3.5 *Verbeteringen mogelijk*

Duidelijk is geworden dat het opschalingsproces heeft gediend als leercurve. Op grond van de ervaringen kan worden gesteld dat het Trefoil-proces in de toekomst nog beter zal kunnen worden gestuurd, zodat de kwaliteit van de Trefoil-korrels nog kan verbeteren.

10.4 **Conclusies: milieutechnische haalbaarheid van het Trefoil principe voor Nederland**

10.4.1 *Uitloging*

Geconcludeerd mag worden dat het mogelijk is om met de Nederlandse materiaalstromen een LWA te produceren dat met betrekking tot uitlogingseisen tenminste voldoet aan de eisen voor categorie 2 van het Bouwstoffenbesluit. Bij het toetsen van Trefoil als categorie 1 bouwstof moet worden geconcludeerd dat overschrijdingen voorkomen voor molybdeen en soms voor sulfaat (1x) en arseen(1x).

10.4.2 *Emissies*

Geconcludeerd mag worden dat de emissies die verwacht mogen worden bij de Nederlandse toepassingen van slechtere kwaliteit zijn dan in de Engelse situatie; echter met aanpassingen (een natte dan wel droge rookgasreiniging, zoals gesteld in het Besluit Verbranden Afvalstoffen (BVA)) kan hierin worden voorzien.

10.5 **Conclusies: (technische) kwaliteitseisen van Trefoil voor de Nederlandse markt**

10.5.1 *Categorie LWA*

Geconcludeerd wordt dat de in het SKB-onderzoek geproduceerde Trefoil-korrels in de categorie lichtgewicht grind vallen (NEN 3543 en NEN –EN 13055-1); de eigenschappen van het onderzochte Trefoil verschillen nauwelijks van het referentiemateriaal Lytag met uitzondering van de E-modulus (lager dan Lytag).

10.5.2 *Toepassing in beton*

De Trefoil LWA's zijn wat absorptie betreft vergelijkbaar met Lytag. De volumieke massa van de droge los gestorte korrels en de korrelsterkte van de Trefoil LWA's zijn lager dan die van Lytag. Bij gelijke druksterkte (B25) is de splijttreksterkte van beton met Trefoil LWA's vermoedelijk hoger dan en minstens gelijk aan die van beton met Lytag-korrels. De E-modulus is bij gelijke druksterkte lager dan die van Lytag-beton.

Er kan geconcludeerd worden dat de geproduceerde Trefoil lichtgewicht toeslagmaterialen Mix 1 en Mix 2 geschikt zijn om in beton toe te passen. Met de Trefoil LWA's kan een beton worden gemaakt van sterkte klasse B25 dat vergelijkbaar is met beton op basis van Lytag-korrels.

10.6 **Conclusies: marktpotentie van Trefoil in Nederland**

10.6.1 *Grondstoffenaanbod*

Geconcludeerd wordt dat er voldoende aanbod is aan materiaalstromen om de grondstoffenvoorziening voor Trefoil Nederland voor langere tijd te garanderen. Dit geldt vooral voor die materiaalstromen welke de matrix vormen van de Trefoil-korrel: baggerspecie en grondreinigingsresidu. In mindere mate geldt dit voor de materiaalstroom met hoge calorische waarde: vliegas van kolencentrales; hiervan is de markt onoverzichtelijk. Op dit moment lijkt er voldoende zuiveringsslib aanwezig om Trefoil van deze materiaalstroom te voorzien.

10.6.2 *Markt*

In Nederland is de markt voor lichtgewicht grind klein in vergelijking met de ons omringende landen; op dit moment wordt geen lichtgewicht grind in Nederland geproduceerd. De markt is geïnteresseerd in Trefoil. Het lijkt er echter op dat Trefoil zijn eigen markt zal moeten creëren. Er zou gekozen kunnen worden voor grootschalige productie voor het lage segment of voor kleinschalige productie in het hogere segment (enige tienduizenden tonnen voor lichtgewicht betontoepassingen).

10.7 **Conclusies: financieel economische haalbaarheid van het Trefoil-concept in Nederland**

10.7.1 *Investeringsen*

Het consortium heeft een inschatting gemaakt van de investeringen van een Trefoil-installatie in Nederland; de investering valt duurder uit ten opzichte van die in Engeland, vanwege extra kosten ten aanzien van de rookgasreiniging. Wanneer wordt uitgegaan van een laagwaardiger toepassing, zullen de investeringen moeten worden terugverdiend vanuit de poorttarieven van de individuele afvalstoffenstromen. Wanneer voor het hogere segment (lichtgewicht beton) zal worden gekozen, zullen de investeringen moeten worden terugverdiend vanuit revenuen van de verkoop van Trefoil.

Het Trefoil-LWA-productieproces is financieel haalbaar bij bovengenoemde uitgangspunten, dat wil zeggen dat positieve ROI's haalbaar zijn. De vraag of deze ROI's ook daadwerkelijk hoog genoeg zijn, gezien de aanwezige risico's, om een dergelijke investering te kunnen verantwoorden en interessant te zijn voor investeerders, is momenteel nog niet te beantwoorden. Hiervoor moeten de mogelijkheden om de risico's effectief te kunnen beheersen nader onderzocht worden.

10.8 **Kennishiaten**

Regelgeving

Vragen welke (nog) niet beantwoord kunnen worden en belangrijk zijn voor een onderbouwde beslissing een Trefoil-fabriek te bouwen in Nederland, liggen voornamelijk op het gebied van regelgeving.

Afvalbeleid

De regelgeving met betrekking tot het afvalstoffenbeleid in Nederland is aan verandering onderhevig; er is met name discussie over de koude immobilisatie techniek, die als een concurrerende techniek moet worden beschouwd van thermische immobilisatie. Toelating van nieuwe technieken zal invloed hebben op het aanbod van potentiële inputstromen voor Trefoil en derhalve op de prijs (poorttarief) hiervan.

Bouwstoffenbesluit

De bepaling van met name de grenswaarden van de uitloging van bepaalde verbindingen (sulfaat) en metalen (zoals antimonium en molybdenum en andere exoten) is onderwerp van discussie en nog niet definitief vastgesteld.

Europese regelgeving

Op dit moment wordt in een Europese commissie de normering voor gebruik en kwaliteit van LWA vastgelegd; het lijkt erop dat de eisen vooral op milieutechnisch gebied minder stringent zullen zijn dan de Nederlandse wetgeving; niet duidelijk is wat voor consequenties dit zal hebben.

Op welk segment moet worden gemikt?

Op dit moment zijn er nog te weinig gegevens om definitief te kunnen vaststellen of gemikt moet worden op een hoogwaardig segment met hoge prijzen of een bulkmarkt met lage prijzen.

Garanties

Welke garanties van aanbod van (input) materiaalstromen en afzet van LWA kunnen langjarig worden verkregen. Is er garantie te geven over poorttarieven van de inputstromen en afzetprijzen.

Techniek

In dit stadium kan nog geen uitsluitel worden gegeven over de beste manier (techniek) van ontwatering (droging) van de inputstromen; hiervoor is meer onderzoek noodzakelijk; ook voor de rookgasreiniging geldt dat meer onderzoek nodig is om definitief te kunnen beslissen voor natte of droge reiniging.

10.9 Aanbevelingen

Algemeen

Aanbevolen wordt de gesignaleerde kennishiaten (paragrafen 9.5 en 10.8) weg te nemen. Enerzijds betekent dit aanvullend (technisch) onderzoek en vervolgens gedetailleerde engineering van een Trefoil-plant. Anderzijds betekent dat nader overleggen en afstemming met diverse instanties.

Aanvullend onderzoek

- Aanvullend uitloogonderzoek, vooral op de geproduceerde betonpreparaten, zowel diffusieonderzoek op vormgegeven producten conform het Bouwstoffenbesluit als maximale beschikbaarheidsonderzoek ten aanzien van uitloging na terugkeer van beton in het hergebruikcircuit.
- Aanvullend sterkte-onderzoek van het beton geproduceerd met Trefoil LWA, vooral:
 - De invloed van Trefoil LWA op de constructieve eigenschappen van beton;
 - De invloed van Trefoil LWA op de duurzaamheid van beton;
 - De invloed van de water-cement-factor op de mechanische en constructieve eigenschappen van beton met Trefoil LWA.
- Effecten van het exacte temperatuurtraject tijdens het sinterproces op de (milieuhygiënische en civiele) eigenschappen van het LWA.
- Invloed van (eventuele) kalkdosering op de kwaliteit van de Trefoil LWA.
- Aanbevolen wordt een nadere grootschalige proef uit te voeren, bijvoorbeeld in de installatie in Tilbury of via de bouw van een "prototype-installatie", waarbij langdurig één relatief grote hoeveelheid constante Trefoil LWA geproduceerd wordt met Nederlandse inputstromen.

Aanvullend overleg en afstemming

- Afstemming met de Nederlandse bouwsector (potentiële afnemers van het Trefoil LWA). In eerste instantie wordt geadviseerd de CUR-workshop te herhalen, waarbij de resultaten van de studie in detail worden gepresenteerd. Op basis van reacties en suggesties uit de sector kan een vervolg gedefinieerd worden. Daarnaast zal met de CUR een traject van certificering verkend kunnen worden.
- Afstemming met aanbieders van grondstoffen over het verkrijgen van zekerheden hieromtrent. Voor een deel betreft het hier het verkrijgen van (intern) commitment vanuit leden van het Trefoil-onderzoeksconsortium. Daarnaast kunnen nieuwe partijen benaderd worden.
- Afstemming met overheden, zoals met VROM (en DCMR voor de Rotterdamse regio), Verkeer en Waterstaat en de EU over (de verwachte consistentie van) het toekomstige beleid. Met VROM zal de discussie vooral gaan over de toekomstige uitloognormen van het Bouwstoffenbesluit en de op te leggen emissienormen (samen met DCMR). Met VROM en de EU zal gesproken moeten worden over de verwachte Europese productnormen. Met Verkeer en Waterstaat staat het toekomstige baggerspeciebeleid centraal.
- Overleg met milieuorganisaties over hun beeld van het Trefoil-procédé en hun (mogelijke) rol en betrokkenheid bij de totstandkoming van een Trefoil-fabriek.
- Overleg met mogelijke subsidieverstrekkers voor het financieel stimuleren van verwerking conform het Trefoil-procédé. Hierbij kan ook gedacht worden aan het stimuleren van een prototypefabriek (of grootschalige proef).

Engineering

Indien het aanvullend onderzoek geen onoverkomelijke (nieuwe) barrières opwerpt en uit het overleg de indruk ontstaat dat de (externe) risico's beheersbaar zijn, kan overgegaan worden op (detail) engineering. Aandachtspunten hierbij zijn:

- Optimale menging van grondstoffen;
- Goede voorbehandeling van de grondstoffen, waaronder verwijderen van grove bestanddelen en veilige opslag van zuiveringsslib;
- Het (natuurlijk, mechanisch of thermisch) ontwateren van de baggerspecie tot een droge stofpercentage dat geschikt is als input voor het Trefoil-procédé;
- Goede buffering van zowel de inputstromen als (green) pellets binnen het proces;
- Logistiek van grondstoffen en producten op het terrein;
- Detail-invulling van de rookgasreiniging (bijvoorbeeld droog/nat procédé, directe/indirecte droging, invloed van kalkdosering);
- Hoe kan het pelletiseren zodanig geschieden dat een goede gradering van de Trefoil LWA wordt bereikt?

Vestigingslocatie, vooral ten aanzien van synergie met omliggende industrie, bijvoorbeeld op het gebied van de energie-optimalisatie en (mede)gebruik van grondstoffen dan wel afvalstoffen.

