

32/uu6 (523) 2^e ex.

**Toepassingsmogelijkheden van schimmeltechnologie bij
verontreinigde baggerspecie**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

**A. van den Toorn
J.P.G. Gerrits
O.M. van Dijk-Hooyer
J. Harmsen
H.J.J. Wieggers**

Rapport 523

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

24 OKT. 1997

Usn 942359x

REFERAAT

Toorn, A. van den, J.P.G. Gerrits, O.M. van Dijk-Hooyer, J. Harmsen en H.J.J. Wieggers, 1997. *Toepassingsmogelijkheden van schimmeltechnologie bij verontreinigde baggerspecie*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 523. 78 blz.; 17 fig.; 32 tab.; 8 ref.

Een belangrijk deel van de waterbodemverontreiniging wordt veroorzaakt door polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Door biologische afbraak onder aërobe omstandigheden kunnen PAK worden afgebroken. Onder geconditioneerde omstandigheden is onderzocht of een tweetal schimmels afkomstig uit uitgeproduceerd substraat van de champignon en oesterzwamkwekerij daarbij een belangrijke rol zouden kunnen spelen. De resultaten van het onderzoek geven aan dat 30% extra afbraak mogelijk is.

Trefwoorden: biologische reiniging, champost, landfarming, milieubescherming, minerale olie, PAK, *Pleurotus*-substraat

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 7634

[Rap523.HM/09.1997]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Voorstudie	17
2.1 Materiaal en methode	17
2.2 Resultaten	18
2.2.1 NEN-methoden	18
2.2.2 Uitputtende extractie	20
2.2.3 Gemiddelde gehalten met de bijbehorende spreiding	21
2.2.4 Hoeveelheid florisil	22
2.3 Conclusie van de voorstudie	24
3 Biodegradatie in tunnels	25
3.1 Materiaal en methode	25
3.1.1 De proeftunnels van het Proefstation voor de Champignoncultuur	25
3.1.2 Gebruikte substraten	25
3.1.3 Methode en uitvoering	26
3.2 Resultaten en discussie	27
3.2.1 Ingezette hoeveelheden	27
3.2.2 PAK-afbraak	27
3.2.3 De bemonstering	31
3.2.4 Invloed van organische stof en nutriënten	34
4 Conclusies	35
5 Aanbevelingen	37
Literatuur	39
<i>Aanhangsels</i>	
1 Resultaten van de afbraak van de verschillende ringsystemen	41
2 Resultaten van alle monsters per PAK-component	45
3 Temperatuur in de tunnels gedurende het experiment	53
4 Resultaten van de metingen voor en na transport en mengen met de hamermolen van de PH-specie	67
5 Resultaten van de gehalten aan PAK en minerale olie in volledig met schimmel doorgroeide kluiten	71
6 Berekeningen drogestof- en asgehalten in het tunnelproces	75

Woord vooraf

Het project 'Biodegradatie van microverontreinigingen met behulp van schimmeltechnologie' wordt uitgevoerd als onderdeel van het NOBIS-programma (Nederlands Onderzoeksprogramma Biotechnologische In-Situ Sanering) door een consortium waarin deelnemen:

- AKZO NOBEL Chemicals, locatie Hengelo,
- AKZO NOBEL Organon Teknika,
- BION Overijssel BV,
- DHV Milieu en Infrastructuur BV,
- Proefstation voor de Champignoncultuur/Katholieke Universiteit Nijmegen
- RIZA,
- DLO-Staring Centrum.

DHV is penvoerder van het consortium dat wordt gesponsord door:

- Gemeente Hengelo,
- Gemeenschappelijk Orgaan Baggerspecie Zuid-Holland,
- RIKILT-DLO,
- Rijkswaterstaat directie Noord-Holland.

Het voorliggende deelonderzoek met tunnelproeven is uitgevoerd door DLO-Staring Centrum en het Proefstation voor de Champignoncultuur. Het onderzoek maakt deel uit van spoor I-fase 1: pilotonderzoek en toetsing van biodegradatie van PAK en minerale olie. In onderstaand schema is de plaats van het deelonderzoek in het totale project gegeven:

Biodegradatie van microverontreinigingen met schimmeltechnologie			
Spoor I Olie en PAK		Spoor II PCB's, HCH, DDT en dioxines	
Fase 1. Pilotonderzoek en toetsing		Fase 1. Oriëntatie en selectie schimmels	
1a	Pilotonderzoek: - Tunnelproeven - Halproeven - Landfarmproeven	1a	Literatuuronderzoek
1b	Toetsing aan andere biologische technieken	1b	Laboratoriumonderzoek: - Biologisch - Chemisch analytisch
Fase 2. Praktijkproeven: - Tunnelproeven - Halproeven - Landfarmproeven		Fase 2. Pilotonderzoek: - Tunnelproeven - Halproeven - Landfarmproeven	
		Fase 3. Praktijkproeven	
Fase 3. Evaluatie 3a Opschalings- en uitvoeringsaspecten 3b Eindrapportage			

Het onderzoek richt zich op de mogelijke toepassing van schimmeltechnologie in composteringstunnels aan de hand van een experiment met verontreinigde gerijpte baggerspecie. In andere onderzoeken van het NOBIS-project wordt aandacht besteed aan andere bodemtypen en omstandigheden.

Van de auteurs zijn A. van den Toorn, O.M. van Dijk-Hooyer, J. Harmsen en H.J.J. Wieggers werkzaam bij DLO-Staring Centrum. Zij zijn verantwoordelijk geweest voor de proefopzet, chemische analyse en de verslaglegging van de proef. J.P.G. Gerrits is werkzaam bij het Proefstation voor de Champignonenteelt in Horst. Onder zijn leiding is de tunnelproef op het Proefstation uitgevoerd.

Samenvatting

In het kader van het NOBIS-onderzoek 'Biodegradatie van microverontreinigingen met behulp van schimmeltechnologie' is onderzoek gedaan naar de specifieke bijdrage die schimmels kunnen leveren in de afbraak van PAK en minerale olie in baggerspecie. Deze bijdrage is vergeleken met de microbiële afbraak van PAK en minerale olie in vergelijkbare specie. Opzet van het experiment was om te onderzoeken of er een extra afname van de verontreinigingen bereikt kon worden van 50% door gebruikmaking van substraten met schimmels. Uitgangspunt was dat de schimmelsubstraten in grote hoeveelheden tegen een lage prijs beschikbaar moesten zijn. Er is daarom gebruik gemaakt van schimmels die aanwezig zijn in substraten verkregen uit de champignon en oesterzwamteelt.

Om de techniek van bemonstering en analyse van PAK en minerale olie in de specie-substraatmengsels te optimaliseren, is eerst een vooronderzoek uitgevoerd. Hierin bleek de huidige NEN-methode 5771 (Bepaling van de gehalten aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen met hogedrukvlloeistofchromatografie) goed toepasbaar te zijn voor de in het project voorkomende monsters. De NEN-methode 5733 (Bepaling van de gehalten aan minerale olie in grond en waterbodembodem) voldeed niet volledig voor de in het project voorkomende monsters. Na verhoging van de hoeveelheid te gebruiken florasil kon de methode wel gebruikt worden. Bij de monstervoorbehandeling gaf cryogeen malen van het monster (NEN 5730) een te hoge spreiding door ontmenging van het gemalen monster. Het malen van de verse monsters met een keukenmachine gaf een goede menging van de monsters. Hiermee kon aan de eisen wat betreft spreiding van de PAK- en minerale oliegehalten worden voldaan. Ook gaf deze monstervoorbehandelingsmethode de mogelijkheid het organischestofgehalte in het geanalyseerde monster te meten. Met dit organischestofgehalte kon worden gecorrigeerd voor fouten in de monsternamen (heterogeniteit van de monster). Bij de wijze van meten was het mogelijk de eventuele afname van PAK in de specie-substraatmengsels met een beperkt aantal monsters (vijf) vast te stellen.

De afbraakproeven zijn uitgevoerd in tunnels op het Proefstation voor de Champignoncultuur. Als uitgangsmateriaal voor de proef is gekozen voor ontwaterde, gerijpte specie uit de Petroleumhaven van Amsterdam (PH-specie), uitgeproduceerd champignonsubstraat (champost), en uitgeproduceerd substraat van de oesterzwamteelt (*Pleurotus*-substraat). De substraten zijn op volumebasis één op één met de specie vermengd.

Specie-substraatmengsels zijn vergeleken met de specie onder dezelfde proefcondities. Om de vergelijking te maken met de mengsels met uitsluiting van schimmels, zijn ook twee specie-substraatmengsels meegenomen waarvan het substraat eerst was gestoomd. De mengsels zijn 24 dagen in de tunnels geplaatst bij 25°C, waarbij de zuurstofvoorziening door het inblazen van lucht optimaal gehouden werd. De specie en de specie-substraatmengsels zijn bij aanvang van de proef en na 24 dagen bemonsterd, en geanalyseerd op PAK, minerale olie, organische stof en droge stof.

De volgende mengsels zijn gebruikt:

- PH-specie (in duplo)
- PH-specie + champost (in duplo),
- PH-specie + gestoomd champost,
- PH-specie + *Pleurotus*-substraat (in duplo),
- PH-specie + gestoomd *Pleurotus*-substraat.

Na 24 dagen werd in het onderste gedeelte van de containers een substantiële vochtafname van de mengsels geconstateerd. Er is na 24 dagen daarom alleen het vochtige gedeelte van de mengsels bemonsterd. De temperatuur heeft gedurende het gehele experiment tussen 24°C en 25°C gelegen in alle containers. De luchtzuurstofgehalten, gemeten op twee plaatsen in de mengsels, lagen gedurende het gehele experiment tussen 20% en 21%.

Er werd in het mengsel PH-specie + champost een PAK-afname van 31% gemeten. De PAK-afname van het PH-specie + gestoomde champost was 29%. Er heeft in de champostmengsels geen afbraak plaatsgevonden van minerale olie. In de na 24 dagen gevonden volledig met schimmel doorgegroeide kluiten werd geen extra afname van de gehalten PAK en minerale olie geconstateerd t.o.v. de rest van het specie-substraatmengsel.

In de mengsels van PH-specie + *Pleurotus*-substraat kon geen PAK-afbraak aangetoond worden. Wel werd er een afname van minerale olie gemeten van 17% in het ongestoomde substraat en 21% in het gestoomde substraat.

Bij mengsels van de PH-specie + champost heeft een substantiële afname van de PAK-gehalten plaatsgevonden. Er is echter geen verschil te constateren tussen de gestoomde en ongestoomde champost. In de *Pleurotus*-substraten werd een afname van minerale olie geconstateerd. Ook hier is er geen significant verschil aan te tonen tussen de gestoomde en ongestoomde substraten. In het onderzoek kon het positieve effect van toevoegen van champost worden vastgesteld. Het effect van de schimmels kon nog niet worden vastgesteld. Dit laatste betekent niet dat schimmels niet werken, maar dat zij bij de gekozen omstandigheden geen meetbaar effect hebben. De 24 dagen kunnen aan de korte kant zijn geweest. Ook de gekozen mengverhouding op volumebasis van één op één kan de oorzaak zijn dat de doelstelling niet is gehaald. Deze mengverhouding is bij de huidige stand van de techniek onder praktijkomstandigheden echter wel het maximaal haalbare.

Op basis van het onderzoek kan geconcludeerd worden dat de effectiviteit van schimmels op de afbraak van PAK en minerale olie gering is, en dat de verlaging van de gehalten is toe te schrijven aan de werking van de organischestof van de champost. Verdere opschaling moet dan ook gericht zijn op het gebruik van gestoomde champost. De vervolgfase kan zich dan richten op toepassing van gestoomde champost in een buitensituatie, waarbij handhaving van aërobie en temperatuur van belang zijn.

In dit project is ervaren, dat een meer fundamenteeler omgaan met schimmels, bijvoorbeeld het vaststellen van enzymactiviteiten, meer inzicht zou hebben gegeven.

Voor de vervolgactiviteiten moet worden nagegaan welke fundamentele kennis moet worden ontwikkeld en toegepast.

1 Inleiding

In het najaar van 1996 is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke bijdrage die schimmels zouden kunnen leveren aan de biodegradatie van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) en minerale olie. Het onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van het NOBIS-onderzoek 'Biodegradatie van microverontreinigingen met behulp van de schimmeltechnologie', en was gericht op het vaststellen van de specifieke bijdrage van schimmelactiviteit aan de afbraak van PAK en minerale olie, dit in vergelijking tot de microbiologische afbraak die in de gangbare systemen worden verkregen. De toepassing van schimmels in baggerspecie is recent beschreven door Van der Kooij (1996). Dit onderzoek had een oriënterend karakter, en er werden hoge afbraakpercentages behaald. Toepassing van schimmels wordt ook elders bestudeerd, onder andere op de Landbouw Universiteit in Wageningen. De in dit rapport beschreven studie had niet als doelstelling om de fundamentele aspecten van schimmeltechnologie te onderzoeken, maar om na te gaan of de technologie in de huidige vorm toepasbaar is in de reiniging van baggerspecie.

Om een goed beeld te krijgen van de potentiële mogelijkheden van schimmels om een extra afbraak te bewerkstelligen, is het belangrijk de afbraaksnelheden van de te gebruiken specie te kennen. Het experiment is gebaseerd op toekomstige toepassing, waarbij substraat (organisch materiaal doorgroeid met schimmels) op de slootkant wordt gemengd met voldoende ontwaterde baggerspecie. Er is voor Petroleumhavenspecie gekozen omdat van deze specie al veel meetgegevens beschikbaar zijn. Het is een specie die in 1995 en 1996 gebruikt is in verschillende afbraakexperimenten in landfarmingsproeven (Harmsen et al., 1997). Bij deze afbraakexperimenten is o.a. onderzoek gedaan naar de invloed van bewerken op de afname van het PAK en minerale oliegehalte. Er is daarbij gebruik gemaakt van een proefveld in de buitenlucht maar ook van extra intensieve bewerking waarbij de ontwaterde specie onder geconditioneerde omstandigheden in een kasfarm optimaal van lucht en warmte werd voorzien. De resultaten van de afbraak van PAK en minerale olie worden gegeven in tabel 1. De intensieve kasfarm was gestart met een specie die al 380 dagen was behandeld op de bewerkte landfarm in de buitenlucht.

Tabel 1 Resultaten van de verschillende afbraakexperimenten in Petroleumhavenspecie (uit Harmsen et al., 1997)

Gekozen optie	Niet bewerkt		Bewerkt op landfarm		Intensieve kasfarm	
	PAK	olie	PAK	olie	PAK	olie
Begingehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s.)	533	11000	533	11000	100	7000
Eindgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s.)	52	4700	39	3100	52	4700
Duur experiment (dagen)	787	787	787	787	120	120

In het algemeen zal een verse baggerspecie verschillende stadia van afbraak vertonen. Voor PAK en minerale olie is de afbraak het gevolg van microbiële activiteit onder

aërobe omstandigheden. Immers, als er afbraak van PAK en minerale olie onder anaërobe omstandigheden plaatsvond, dan zou er geen accumulatie van PAK en minerale olie in baggerspecie optreden. Direct na het baggeren, als de specie nog voor 70 à 80 volumeprocenten uit water bestaat en er derhalve geen zuurstof aanwezig is, zal de afbraak gelijk zijn met die in de slootbodem (dus nihil). Een versnelling in de afbraak is te zien in de periode dat de specie ontwaterd en de mogelijkheid van zuurstof om in de specie te dringen groter wordt (fig. 1).

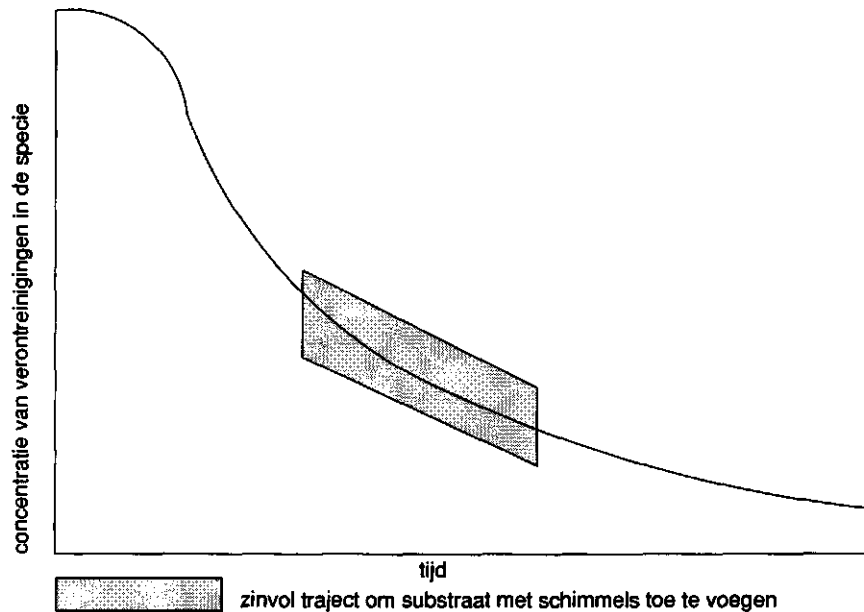


Fig. 1 Het verloop in de concentratie van PAK en minerale olie in baggerspecie tijdens een afbraakexperiment

De snelheid van afbraak in deze periode is het gevolg van de temperatuur, de aanwezigheid van zuurstof in de specie en de beschikbaarheid van de af te breken verontreiniging. Het is in deze fase niet zinnig om schimmels toe te voegen, omdat het watergehalte van de specie nog dermate hoog is dat in de praktijk menging met b.v. champost niet mogelijk is in verband met de (on)bewerkbaarheid van de specie. Ook zal er bij bewerking versmering ontstaan en zal de gedeeltelijk aërobe specie weer terugvallen in anaërobe toestand, waarbij de snelheid van afbraak weer snel afneemt. Het is dan ook niet te verwachten dat op dat moment schimmels die al aanwezig zijn in een substraat een bijdrage in de afbraak kunnen bewerkstelligen. In deze periode zijn de natuurlijk aanwezige micro-organismen ook nog in staat PAK en minerale olie af te breken.

Na de eerste intensieve afbraakfase, waarin de anaërobe specie wordt omgezet in een aërobe specie, volgt een afbraakfase die zich kenmerkt door een lagere afbraaksnelheid. Deze afbraak kan echter vrij lang doorgaan. Nu is het wel zinnig om actie

te ondernemen om de snelheid van de afbraak op te voeren. Op dit moment zouden er dus schimmels geïntroduceerd moeten worden in de specie. Het watergehalte is dan ook zo ver gezakt dat het technisch mogelijk is de schimmels zonder versmering door de specie te mengen.

Het verwachte effect van de introductie van schimmels is gegeven in figuur 2. De concentratie van de verontreinigingen zullen in de oorspronkelijke specie langzaam blijven dalen. Door de introductie van substraat waarin veel organische stof aanwezig is, zal door de introductie van de organische stof alleen al de microbiologische activiteit toenemen. Daarbovenop komt dan nog de extra afbraak door de schimmels zelf. Daarom is gekozen om naast organisch materiaal met levende schimmels, ook het toevoegen van gestoomd organisch materiaal in de proef te betrekken. Door het stomen wordt de schimmel in het substraat gedood. Het verschil in afbraak wordt dan veroorzaakt door de aanwezigheid van de schimmels.

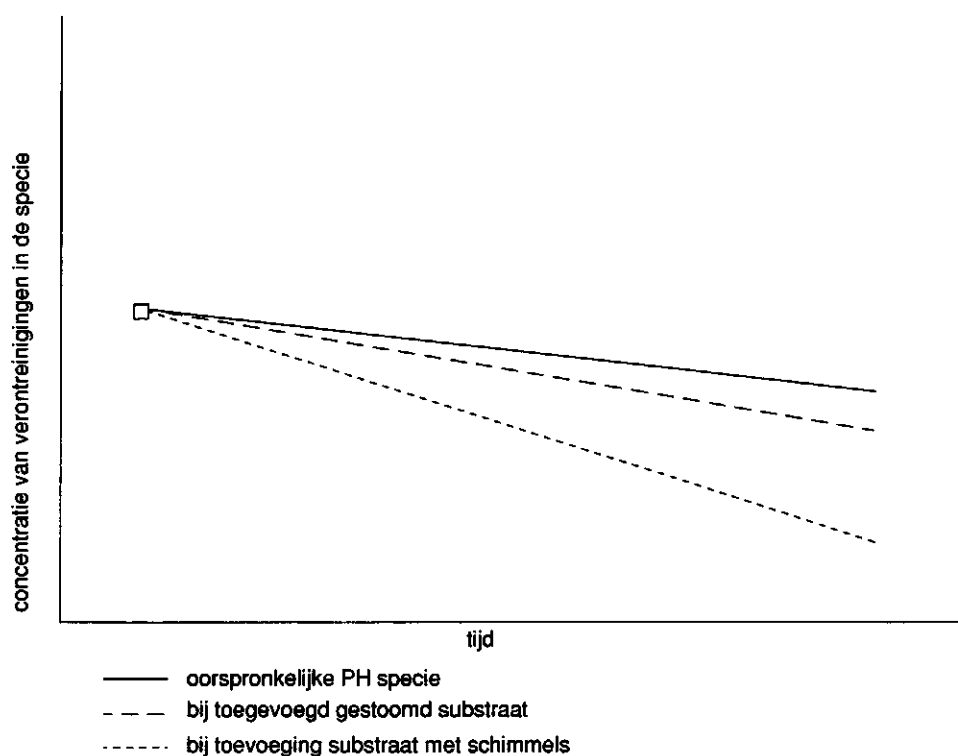


Fig. 2 De verwachte effecten op de concentraties van PAK en minerale olie, nadat er gestoomd of levend substraat is toegevoegd

Bij de menging is gekozen om de delen substraat en de specie in gelijke volume delen op te mengen. Dit geeft op gewichtsbasis van het natte mengsel, een mengsel waarbij er ongeveer 3 à 4 maal zoveel is specie als substraat. Dat lijkt voor het substraat wellicht aan de lage kant, maar het is in de praktijk waarschijnlijk het hoogst haalbare. Veel schimmels komen in aanmerking om te gebruiken voor de versnelling in de afbraak van PAK en minerale olie (Nandan en Raisuddin, 1992). Bij de keuze voor deze proef is uitgegaan van schimmels die in de praktijk eventueel inzetbaar zouden zijn. Een belangrijke voorwaarde is daarbij dat het substraat met de schimmels

in grote hoeveelheden tegen lage kosten verkrijgbaar zou zijn. Derhalve is bij het experiment gekozen voor champost en *Pleurotus*-substraat. Vooral champost komt in Nederland in grote hoeveelheden vrij (Gerrits, 1994). In 1993 was deze hoeveelheid 760 000 ton.

De studie heeft zich gericht op de toegevoegde waarde van het mengen van specie met schimmelsubstraat. Hiertoe zijn bij het Proefstation voor de Champignoncultuur experimenten uitgevoerd onder geconditioneerde omstandigheden. Er is niet gekozen voor een praktijksituatie, omdat dan te veel externe factoren van invloed konden zijn. Uit voorgaande onderzoeken met baggerspecie is ervaren dat een goede bemonstering en analyse essentieel zijn. In een korte voorstudie is dit aspect onderzocht. In hoofdstuk 2 worden de resultaten van de voorstudie weergegeven, in hoofdstuk 3 de resultaten van de tunnelproeven. In hoofdstuk 4 worden de conclusies gegeven over de gevonden resultaten, en in hoofdstuk 5 de aanbevelingen over de manier hoe de proeven het best kunnen worden vervolgd.

2 Voorstudie

Voorafgaand aan het onderzoek naar toepassing van schimmeltechnologie voor de biodegradatie van organische microverontreinigingen in baggerspecie is door het DLO-Staring Centrum een voorstudie uitgevoerd. In deze voorstudie is gekeken naar de monsternamen en monstervoorbehandeling. Tevens is onderzocht of de huidige NEN-methoden (NEN 5733 (1991): Bepaling van de gehalten aan minerale olie in grond en waterbodem met gaschromatografie, en NEN 5771 (1994): Bepaling van de gehalten aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen met hogedruk-vloeistofchromatografie) toepasbaar zijn voor de in dit project voorkomende monsters.

De monsters die in dit project voorkomen zijn:

- champost,
- champost gestoomd,
- *Pleurotus*-substraat,
- *Pleurotus*-substraat gestoomd,
- champost + Petroleumhaven specie,
- champost gestoomd + Petroleumhaven specie,
- *Pleurotus*-substraat + Petroleumhaven specie,
- *Pleurotus*-substraat gestoomd + Petroleumhaven specie,
- Petroleumhaven specie.

2.1 Materiaal en methode

Het champost en *Pleurotus*-substraat zijn afkomstig van het Proefstation voor de Champignoncultuur in Horst. De Petroleumhavenspecie is een gerijpte specie (ca. 2 jaar oud) afkomstig van een landfarmingsexperiment bij de Kreekraksluizen in Zeeland. Het mengen van het champost en het *Pleurotus*-substraat met de Petroleumhaven specie is uitgevoerd op basis van volumeverhoudingen. Één monsterpot (ca. 370 ml) substraat is met de hand gemengd met één monsterpot Petroleumhavenspecie.

De toepassing van de NEN-methoden is getest door eerst alle monsters volgens deze NEN-methoden te analyseren. Daarna zijn voor een aantal monsters uitputtende extracties uitgevoerd. Op deze wijze kan het extractierendement van de NEN-methode voor de in dit project voorkomende monsters bepaald worden.

Om de monstervoorbehandeling te onderzoeken zijn alle monsters cryogeen gemalen. Een vergelijking is gemaakt tussen de verse monsters en de cryogeen gemalen monsters. Daartoe zijn van alle substraatmonsters + Petroleumhavenspecie van de verse en cryogeen gemalen monsters vijf monsters genomen om de spreiding binnen één monster vast te stellen. Bij een herhaling van het monstervoorbehandelings-experiment is de menging van het verse monster is uitgevoerd met een keukenmachine in plaats van met de hand.

Ook is de optimale hoeveelheid florisil, nodig voor de zuivering van de extracten voor de olie bepaling, bepaald. Hiervoor is hetzelfde extract behandeld met 0, 5, 10, 15 en 20 g florisil volgens NEN 5733.

2.2 Resultaten

2.2.1 NEN-methoden

In tabel 2 staan de gehalten aan PAK en minerale olie weergegeven van verse en cryogeen gemalen monsters. Al deze monsters zijn volgens de NEN-methoden geanalyseerd. Tevens is in tabel 2 het organischestofgehalte van de monsters weergegeven.

Tabel 2 Gehaltes aan PAK en minerale olie ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.s.) en organischestofgehalte (o.s., %) in vers en cryogeen gemalen monsters zonder correctie voor organische stof (10 PAK VROM)

Monster	Vers		Cryogeen gemalen		O.S.	Percentage substraat in mengsel	
	PAK	min. olie	PAK	min. olie		nat w/w	droog w/w d.s.
Champost	0,389	108	0,601	171	62,8		
Champost gestoomd	0,260	140	0,245	62	61,0		
<i>Pleurotus</i>	0,055	175	0,042	56	91,2		
<i>Pleurotus</i> gestoomd	0,004	173	0,001	73	92,4		
Champost + PH-specie	30,0	2686	45,6	4031	17,6	28,1	16
Champost + PH-specie	33,7	3420	35,2	3560	18,2	28,1	16
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	55,5	3842	43,7	4378	15,0	19,9	10
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	32,1	3452	41,2	4276	14,1	19,9	10
PH-specie	55,1	4078	55,2	5005	7,3		

Zoals uit tabel 2 blijkt is het gehalte aan PAK en minerale olie in de champost en *Pleurotus*-substraten erg laag. Het lijkt erop dat de gestoomde substraatmonsters een lager PAK-gehalte hebben dan de verse substraatmonsters. Alle PAK-gehalten van de champost- en *Pleurotus*-substraat-monsters liggen echter beneden de streefwaarde en zijn verwaarloosbaar t.o.v. de gehalten in de Petroleumhavenspecie.

Het PAK-gehalte van de PH-specie ligt rond de $55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.s. en het oliegehalte tussen de 4000 à $5000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.s. Wordt de PH-specie met de champost en *Pleurotus*-substraat gemengd, dan blijkt het gehalte PAK en minerale-olie niet veel te veranderen. Dit wordt veroorzaakt doordat er op volume-eenheden gemengd is. Als er namelijk één monsterpot met PH-specie gemengd wordt met één monsterpot champost of *Pleurotus*-substraat dan ontstaat een mengsel dat op gewichtsbasis veel meer PH-specie bevat dan champost of *Pleurotus*-substraat. Aangezien de hoeveelheid monster voor de PAK-bepaling ook in massa-eenheden afgewogen wordt zal er in verhouding meer PH-specie afgewogen worden. Met een eenvoudige berekening is

dit weer te geven. Hiervoor is de dichtheid van het substraat en van de specie bepaald.

De soortelijke dichtheid van het champost is $0,476 \text{ kg}\cdot\text{dm}^3$

De soortelijke dichtheid van het *Pleurotus*-substraat is $0,302 \text{ kg}\cdot\text{dm}^3$

De soortelijke dichtheid van de PH-specie is $1,220 \text{ kg}\cdot\text{dm}^3$

370 ml champost =	0,176 kg	370 ml <i>Pleurotus</i> =	0,112 kg
370 ml PH-specie =	0,451 kg +	370 ml PH-specie =	0,451 kg +
	-----		-----
totaal	0,627 kg		0,563 kg

De drogestofgehalten van de champost is 38%, van het *Pleurotus*-substraat 33% en van de Petroleumhavenspecie 75%. Aan droge stof is er derhalve $0,176 * 0,38 = 0,067 \text{ kg}$ champost gemengd met $0,451 * 0,75 = 0,338 \text{ kg}$ Petroleumhavenspecie gemengd. Bij het *Pleurotus*-speciemengsel is $0,112 * 0,33 = 0,037 \text{ kg}$ *Pleurotus*-substraat met $0,338 \text{ kg}$ Petroleumhavenspecie gemengd.

In een monster champost + PH-specie (1:1 op basis van volume) zit dus 16% w/w champost en 84% w/w PH-specie. In een monster *Pleurotus*-substraat + PH-specie zit dus 10% w/w *Pleurotus*-substraat en 90% w/w PH-specie. Het PAK-gehalte van een monster champost + PH-specie is dus ook voor 16% afkomstig van het champost en voor 84% van de PH-specie. In dit geval is het PAK-gehalte van de PH-specie $55,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s. Het PAK-gehalte van de champost + PH-specie zou dan moeten worden $0,84 * 55,1 = 46,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s. Eenzelfde berekening kan gemaakt worden voor het monster *Pleurotus* + PH-specie: $0,90 * 55 = 49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.s. Vergelijkt men deze berekende waarden met de gemeten waarden uit tabel 2 dan komen deze redelijk overeen.

Ook voor het organischestofgehalte valt een soortgelijke berekening te maken:

— 0,165 maal het organischestofgehalte van de champost, 61,9 is 10,2%,

— 0,835 maal het organischestofgehalte van de PH-specie, 7,3 is 6,10%.

Het totale organischestofgehalte van een monster champost + PH-specie zou dan moeten uitkomen op 16,3%. Voor een monster *Pleurotus* + PH-specie is dit 15,6%. Vergelijkt men deze berekende waarden met de gemeten organischestofgehalten (tabel 2) dan komen de gemeten en de berekende waarden goed overeen.

Er is geen duidelijk verschil te zien tussen het PAK-gehalte van de verse en de cryogeen gemalen monsters. Alleen het oliegehalte van de cryogeen gemalen monsters lijkt iets hoger te liggen dan bij de verse monsters. Ook is er geen verschil waar te nemen tussen het en gestoomde champost en *Pleurotus*-substraat.

2.2.2 Uitputtende extractie

Het eerste uitputtende extractie-experiment is uitgevoerd voor de verse en cryogeen gemalen monsters; champost + PH-specie, *Pleurotus* + PH-specie en de PH-specie. Nadat de monsters geëxtraheerd zijn met 200 ml aceton en 100 ml petroleumether is het reeds geëxtraheerde monster nogmaals met eenzelfde hoeveelheid nieuw oplosmiddel geëxtraheerd.

De extracten zijn vervolgens conform NEN opgewerkt en geanalyseerd. Omdat het gehalte minerale olie in het extract na de tweede extractie stap erg laag is, is het niet mogelijk om in het zelfde extract zowel PAK als minerale olie te meten. In tabel 3 is daarom alleen het gehalte minerale olie van de eerste extractiestap weergegeven. Het tweede uitputtende extractie experiment is uitgevoerd met de champost + PH-specie, de *Pleurotus* + PH-specie en de PH-specie. Tijdens dit experiment is een driestaps uitputtende extractie toegepast. Elk monster wordt dus driemaal geëxtraheerd met driemaal een verse hoeveelheid oplosmiddel. Om praktische redenen is dit experiment uitgevoerd in centrifugebuizen. Hiervoor is 3 à 4 g monster geëxtraheerd met 30 ml aceton en 15 ml petroleumether. Vervolgens zijn de extracten conform NEN opgewerkt en geanalyseerd op alleen het PAK-gehalte. De resultaten van deze extracties staan weergegeven in tabel 4. Het extractierendement is berekend door het gehalte, dat is gevonden bij de eerste extractie uit te drukken als percentage van de totaal gevonden hoeveelheid.

Tabel 3 Gehaltes aan PAK en minerale olie (mg kg^{-1} d.s.) in verse en cryogeen gemalen monsters van het eerste uitputtende extractie-experiment met de bijbehorende extractierendementen (%)

Monster	Vers			Cryogeen gemalen		
	gehalte 1 ^e extr.	gehalte 2 ^e extr.	extr. rend.	gehalte 1 ^e extr.	gehalte 2 ^e extr.	extr. rend.
PAK	25,4	6,4	80,0	46,5	4,9	90,4
Champost + PH-specie						
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	18,8	4,3	81,3	41,1	3,9	91,3
PH-specie	34,2	13,2	72,1	41,9	4,1	91,0
Minerale olie	3169	-	-	3864	-	-
Champost + PH-specie						
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	2921	-	-	3958	-	-
PH-specie	3627	-	-	4279	-	-

Tabel 4 PAK-gehalte (mg kg^{-1} d.s.) in verse monsters van het tweede uitputtende extractie-experiment met de bijbehorende extractierendementen (%)

Monster	PAK-gehalte			extractie rendement		
	1 ^e extr	2 ^e extr	3 ^e extr	1 ^e extr	2 ^e extr	3 ^e extr
Champost + PH-specie	24,4	3,0	5,4	74,5	9,1	16,4
Champost + PH-specie	18,7	3,7	3,0	73,8	14,4	11,8
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	29,4	3,4	3,3	81,6	9,4	9,0
<i>Pleurotus</i> + PH-specie	24,7	3,9	4,2	75,3	11,9	12,8
PH-specie	51,3	4,3	9,9	78,3	6,6	15,2
PH-specie	46,8	4,5	2,2	87,4	8,5	4,2

Het gemiddelde extractierendement is berekend uit de afzonderlijke rendementen van de twee experimenten en is voor de champost + PH-specie 76%, voor de *Pleurotus* vers + PH-specie 79% en voor de PH-specie ook 79%. Deze extractierendementen komen overeen met extractierendementen van andere (water)bodem-monsters.

Het extractie rendement van de champost vers + PH-specie is wat aan de lage kant. Dit kan mogelijk veroorzaakt worden door het hoge gehalte aan opgeloste (amorf) organische stof, terwijl in het monster *Pleurotus* vers + PH-specie het organische-stof voornamelijk gebonden voorkomt. De PAK-gehaltenes en de extractierendementen van de cryogeen gemalen monster liggen hoger dan bij de verse monsters.

2.2.3 Gemiddelde gehaltenes met de bijbehorende spreiding

In tabel 5 staat het gemiddelde PAK-gehalte per component en het gehalte aan minerale olie weergegeven van een vers monster dat met de keukenmachine is gemalen en een monster dat cryogeen gemalen is. Uit deze monsters zijn elk vijf deelmonsters genomen die geanalyseerd zijn. Het gemiddelde PAK-gehalte van deze monsters is weergegeven in tabel 5. De totaal PAK-gehaltenes zijn gegeven als de 10 van VROM. Dit is een reeks PAK, die door het ministerie van VROM wordt gebruikt voor toetsing van monsters.

Hierbij valt op dat de relatieve standaardafwijking van het PAK-gehalte van de monsters gemalen met de keukenmachine veel lager is (4,5%) dan bij de cryogeen gemalen monsters (15,5%). Het normale patroon bij grond is echter dat de standaardafwijking door cryogeen malen kleiner wordt. De relatief hoge standaardafwijking van het cryogeen gemalen monster wordt mogelijk veroorzaakt door ontmenging als gevolg van verschil in dichtheid van het monster. In de monsterpot is aan het oppervlak van het monster duidelijk een ontmenging zichtbaar. Het was niet mogelijk om op de gebruikelijke wijze deze ontmenging ongedaan te maken. Het malen van de monsters met behulp van een keukenmachine blijkt dus voor de PAK-bepaling een goede methode om de in dit project voorkomende monsters goed te verdelen. Cryogeen malen van de monster lijkt ondanks de hogere extractie rendementen een minder goede optie vanwege de hoge spreiding in het PAK-gehalte veroorzaakt door ontmenging van het monster. De cryogene maling is in eerst

instantie ontwikkeld voor grondmonsters. Het houdt geen rekening met ontmenging van (inhomogene) monsters met verschillende dichtheden zoals het geval is bij monsters champost en *Pleurotus* + PH-specie. Om ontmenging van de cryogeen gemalen monsters tegen te gaan is geprobeerd om zonder toeslagstoffen cryogeen te malen. Dit leverde echter niet het gewenste resultaat omdat de monsters in de kruisslagmolen versmeerden.

Omdat de spreiding van de gehalten minerale olie voor beide monsters veel hoger ligt dan de spreiding in het PAK-gehalte, en omdat een verhoogd oliegehalte samenging met een donkere kleur van het extract werd vermoed dat de hoeveelheid toegevoegd florisil niet voldoende is geweest om alle polaire componenten te verwijderen. De benodigde hoeveelheid florisil voor de extractie van minerale olie uit de hier voorkomende monster met een hoog organische-stofgehalte is daarom bepaald (zie paragraaf 2.2.4).

Tabel 5 Gemiddelde gehalten PAK en minerale olie (mg kg⁻¹ d.s.) van vijf verse en vijf monsters cryogeen gemalen Pleurotus + PH-specie met de bijbehorende standaardafwijking (mg kg⁻¹ d.s.) en relatieve standaardafwijking (%)

	Vers			Cryogeen gemalen		
	gem.	s	vc	gem.	s	vc
4 fluoreen	1,59	0,15	9,3	1,25	0,22	17,9
5 fenantreen	5,97	0,51	8,6	4,83	1,06	22,0
6 antraceen	3,53	0,22	6,4	3,97	1,03	26,0
7 fluoranteen	9,09	1,58	17,3	6,22	2,49	40,0
8 pyreen	5,44	0,44	8,2	4,11	0,73	17,8
9 benz[a]antraceen	4,22	0,36	8,6	3,65	0,50	13,8
10 chryseen	6,65	0,31	4,7	5,83	0,77	13,2
11 benzo[b]fluoranteen	4,21	0,24	5,7	3,58	0,35	9,8
12 benzo[k]fluoranteen	2,24	0,16	7,3	1,79	0,23	12,9
13 benzo[a]pyreen	5,63	0,32	5,6	4,49	0,55	12,2
14 dibenz[a,h]antraceen	0,88	0,05	5,8	0,72	0,07	9,1
15 benzo[ghi]peryleen	3,93	0,24	6,1	3,40	0,50	14,7
16 indeno[1,2,3-cd]pyreen	4,68	1,13	24,1	4,41	0,48	10,9
10 VROM	45,9	2,09	4,5	38,5	6,0	15,5
Olie	4877	1296	26,6	2838	611	21,5

2.2.4 Hoeveelheid florisil

Na extractie zijn ook veel apolaire componenten afkomstig uit de champost in het extract aanwezig. Deze stoffen hebben een storende werking op de analyse van minerale olie en moeten daarom voor de analyse van minerale olie worden verwijderd. Dat gebeurt door florisil toe te voegen waaraan de storende stoffen zich binden. Eerst moet echter de optimale hoeveelheid toe te voegen florisil worden bepaald. Na een extractie van vijf monsters champost + PH-specie zijn de vijf

extracten samengevoegd tot één extract. Dit extract is goed gehomogeniseerd en verdeeld over vijf maatkolven van 250 ml. Met deze extracten zijn de experimenten uitgevoerd voor de bepaling van de optimale hoeveelheid florisil. Hiervoor zijn de extracten geschud met 0, 5, 10, 15 en 20 g florisil. De resultaten staan weergegeven in tabel 6 en figuur 3. De visuele waarnemingen staan ook weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 Visuele waarnemingen en gehalten aan minerale olie (mg kg^{-1} d.s.) na het schudden van de extracten met verschillende hoeveelheden florisil

Hoeveelheid florisil (g)	Kleur extract	Gehalte minerale olie
0	troebel donkerbruin	410
5	troebel donkergeel	292
10	troebel geel	258
15	helder licht geel	222
20	helder geel	229

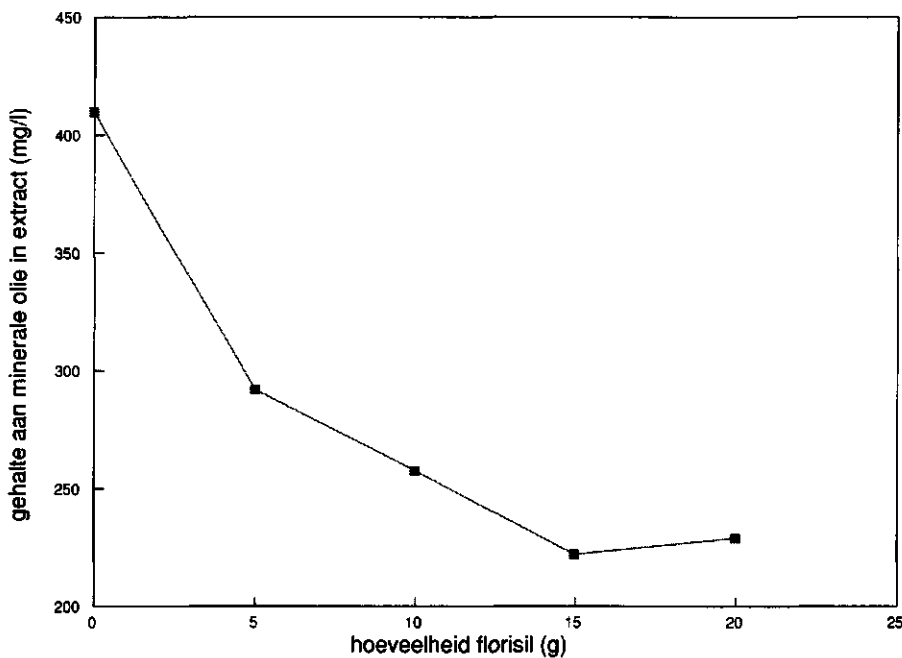


Fig. 3 Invloed florisil op het minerale oliegehalte in het extract tijdens de bepaling van een vers *Pleurotus* + *PH*-specie monster

Uit tabel 6 en figuur 3 blijkt dat na toevoegen van 15 g florisil het gehalte aan minerale olie stabiel blijft. Dit betekent dat voor de zuivering van 100 ml extract minimaal 15 g florisil nodig is. Gebruikt men minder florisil dan zal het gehalte aan minerale olie verhoogd worden door de invloed van de nog in het extract aanwezige apolaire componenten.

2.3 Conclusie van de voorstudie

De huidige NEN-methode 5771 (1994) (Bepaling van de gehalten aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen met hogedrukvlloeistofchromatografie) is goed toepasbaar voor de in dit project voorkomende monsters.

De NEN-methode 5733 (1991) (Bepaling van de gehalten aan minerale olie in grond en waterbodem met gaschromatografie) voldoet niet volledig voor de in dit project voorkomende monsters. Bij deze methode moet de hoeveelheid florisil verhoogd worden. Voor 100 ml extract is minimaal 15 g florisil nodig om alle apolaire componenten uit het extract te verwijderen. Gebruikt men te weinig florisil dan zal het gehalte minerale olie verhoogd worden door de aanwezigheid van apolaire componenten in het extract.

Het malen van de verse monster met behulp van een keukenmachine geeft een goede menging van de monsters waardoor de spreiding binnen het monster zeer klein wordt.

Cryogeen malen van de monsters geeft weliswaar een hoger extractie rendement maar geeft ook een (te) hoge spreiding van het PAK-gehalte, veroorzaakt door ontmenging van het monster in de monsterpot. Vanwege dit feit en om een vergelijkingen te kunnen maken met voorgaande onderzoeken is besloten om ook tijdens dit onderzoek de monsters niet cryogeen te malen. De methode is daardoor vergelijkbaar met de voorbehandeling van waterbodemonsters NEN 5719 (1995).

3 Biodegradatie in tunnels

3.1 Materiaal en methode

3.1.1 De proeftunnels van het Proefstation voor de Champignoncultuur

Het Proefstation voor de Champignoncultuur in Horst beschikt over vier zogenaamde tunnels, die bestemd zijn voor het bereiden van champignoncompost. De tunnels zijn voorzien van een betonnen onderbouw met een hoogte van 40 cm. De bovenbouw is gemaakt van sandwich-panelen bestaande uit polyurethaan met aan weerszijden een bescherm laag van polyester. In de tunnel bevindt zich op het betonnen onderstuk een roestvaststalen rvs-plaat met vier vierkante openingen van 75 cm x 75 cm. De lengte van de tunnel is inwendig 500 cm, de breedte 125 cm en de hoogte 270 cm. Op de openingen in de rvs-plaat kunnen vier rvs-containers worden geplaatst. Een container is 105 cm lang en breed en 180 cm hoog. De inhoud is ca. 2 m³. De bodem van de container is geperforeerd. Aan één zijde zijn de containers afgesloten met twee wegneembare schotten. Door in de tunnels met containers te werken kan na elke fase van het proces het gewicht worden vastgesteld. De handling van de containers gebeurt met een vorkheftruck.

Met behulp van een traploos regelbare centrifugaalventilator kan lucht van onder naar boven door de containers worden geblazen. De ruimte onder de containers dient als aanvoer kanaal voor de lucht. Via luchtkanalen die zich aan de buitenzijde van de tunnel bevinden kan de lucht worden gerecirculeerd. Indien nodig kan tijdens de procesvoering verse buitenlucht worden aangetrokken. De temperatuur tijdens het proces wordt geregeld met een thermostaat die zich in het aanvoer kanaal bevindt. Zonodig kan voor het handhaven van de temperatuur stoom worden ingeblazen.

Koeling is alleen mogelijk met behulp van buitenlucht. In het aan- en afvoer kanaal bevindt zich een meetflens waarmee de hoeveelheid circulatielucht en verse buitenlucht in een tunnel kan worden gemeten. Het is niet mogelijk om de hoeveelheid lucht per container te meten. Ook kan de druk in het aanvoer kanaal worden gemeten. Per tunnel zijn naast de temperatuurvoelers die voor de temperatuurregeling worden gebruikt ook nog 11 PT-100 elementen aanwezig die zijn aangesloten op een 'datataker'. Hiermee wordt de temperatuur van de lucht gemeten (twee in de aanvoerlucht en één in de retourlucht) en van het substraat in de containers (twee voelers per container).

3.1.2 Gebruikte substraten

De champost die voor het onderzoek is gebruikt is afkomstig van proef 20020 in cel 5 van het proefstation. In deze teelt is gebruik gemaakt van doorgroeide compost, die op 31-07-1996 geleverd is door de bedrijven van de CNC en geënt met *Agraricus bisporus* van het ras Sylvan U1. De dekaarde werd door de CNC geleverd op 02-08-1996. De compost werd voor het afdekken bijgevoed met Milli Champ 3000 (1 kg

per m²). Tijdens de teelt was een plasticfolie onder de compost aangebracht waardoor deze minder uitdroogt. De teelt werd op 16-09-1996 beëindigd. Op 12-09-1996 werd de partij niet gestoomde champost uit de cel gehaald. Het afgewerkte substraat van *Pleurotus* is afkomstig van de teler, de heer H. Boots uit Koningslust. Het niet-gestoomde substraat werd bij zijn bedrijf op 12-09-1996 opgehaald en gestoomd op 17-09-1996. *Pleurotus*-substraat bestaat uit gepasteuriseerd stro zonder toevoegingen. In de teelt wordt geen dekaarde gebruikt.

3.1.3 Methode en uitvoering

De PH-specie is in 300 emmers vervoerd naar het Proefstation voor de Champignoncultuur te Horst. Elke emmer is bemonsterd met behulp van een guts. De steken van 25 emmers zijn gemengd en samengevoegd tot één monster. In totaal zijn 12 (meng)monsters verkregen waarvan door middel van loting 5 monsters getrokken zijn voor de analyse van het gehalte aan PAK en minerale olie.

Vervolgens zijn alle emmers met PH-specie in Horst op één hoop gegooid waarvan vervolgens 12 monsters zijn genomen elk bestaande uit 5 deelmonsters. Dat is gedaan met een guts van 1 m lengte en een doorsnede van 3 cm. Per steek werd ca. 300 ml monster verkregen. Van deze 12 monsters zijn ook weer door middel van loting 5 monsters getrokken welke zijn geanalyseerd op het gehalte aan PAK en minerale olie.

De PH-specie is met behulp van een hamermolen verkleind waarna weer 12 monsters zijn genomen elk bestaande uit 5 deelmonsters. Van deze 12 monsters zijn door middel van loting weer 5 monsters getrokken voor analyse van het gehalte aan PAK en minerale olie.

De PH-specie is gemengd met het substraat door het op de grond uit te spreiden en daaroverheen de specie te verdelen. Daarna is het door de hamermolen gemengd en op een hoop gegooid. Van deze hoop zijn weer 12 monsters genomen elk bestaande uit 5 deelmonsters. Van deze 12 monsters zijn door middel van loting weer 5 monsters getrokken voor analyse van het gehalte aan PAK en minerale olie. Dit is tevens het begintijdstip (T_0) van het biologische-afbraakexperiment. Het mengsel werd overgebracht in containers die in de tunnels geplaatst werden waar de temperatuur constant gehouden werd en waar een constante luchtstroom werd ingeblazen. Het experiment werd in tweevoud uitgevoerd zodat er twee tunnels in gebruik waren met twee series met hetzelfde soort mengsel.

De biologische afbraak is gevolgd van de volgende mengsels:

- PH-specie (duplo),
- PH-specie + champost (duplo),
- PH-specie + champost gestoomd gedurende 12 uur bij 70°C,
- PH-specie + *Pleurotus*-substraat (duplo),
- PH-specie + *Pleurotus*-substraat gestoomd gedurende 12 uur bij 70°C.

Na 24 dagen was het experiment beëindigd (T_{24}) en werden opnieuw 12 monsters per mengsel (container) genomen bestaande uit 5 deelmonsters. Van deze 12 monsters zijn door middel van loting weer 5 monsters getrokken voor analyse van het gehalte aan PAK en minerale olie. Bij het openen van de containers bleek dat de onderste laag in het midden was uitgedroogd. Dat kwam doordat daar de lucht werd ingeleid. De wanden van de tunnels waren kouder dan de containers. Hier trad condensatie op. De bemonstering heeft plaatsgevonden in het vochtige gedeelte van de specie.

3.2 Resultaten en discussie

3.2.1 Ingezette hoeveelheden

De afgewogen hoeveelheden champost, *Pleurotus*-substraat, en specie worden gegeven in aanhangsel 6. De berekende organische stof-, drogestofgehalten van de verschillende containers zijn weergegeven in tabel 7. Hierin is ook het gemiddelde organischestofgehalte en het percentage substraat in het mengsel weergegeven.

Tabel 7 De berekende organische- en droge-stofgehalten (%) en het aandeel (%) van het substraat in het afgewogen mengsel (op basis droge stof)

	Tunnel 1		Tunnel 2					
	PH-specie	PH+Ch gestoomd	PH+Ch	PH+Ch	PH-specie	PH+PI gestoomd	PH+PI	PH+PI
O.S. %	6,2	13,7	14,0	14,1	6,2	12,0	11,9	12,4
D.S. %	76,0	68,0	67,5	67,4	80,6	69,5	69,7	68,6
substr.	0	13,6	14,2	14,4	0	7,4	7,2	7,8

Uit tabel 7 blijkt, dat indien het substraat op basis van nat volume één op één met de specie gemengd wordt, er op basis van droge stof toch nog maar ca. 14% champost in het mengsel aanwezig is en maar ca. 7,5% *Pleurotus*-substraat.

3.2.2 PAK-afbraak

De resultaten van de experimenten staan gegeven in tabel 7. Hierin staan de afbraakpercentages gegeven van de gehalten aan PAK en minerale olie. Er is onderscheid gemaakt tussen de verschillende PAK-componenten; deze zijn opgesplitst in de volgende ringsystemen:

2+3 ringen: fluoreen, fenantreen, antraceen, fluoranteen;

4 ringen: pyreen, benz[a]antraceen, chryseen, benzo[b]fluoranteen, benzo[k]fluoranteen, benzo[a]pyreen;

5+6 ringen: dibenz[ah]antraceen, benzo[ghi]peryleen, indeno[123-cd]pyreen.

De 9 PAK van Staring is gebaseerd op de 9 PAK-componenten die in de Petroleum-havenspecie door DLO-Staring Centrum met de huidige NEN methode betrouwbaar te analyseren zijn. Deze componenten zijn: fluoreen, fenantreen, antraceen,

fluoranteen, benz[a]antracene, chryseen, benzo[b]fluoranteen, benzo[k]fluoranteen en benzo[a]pyreen.

De afbraakpercentages gegeven in tabel 8 zijn omgerekend naar de werkelijke afbraak in de PH-specie. Dit is gedaan om te voorkomen dat in monsters met verschillende percentages substraat ook verschillende gehalten aan PAK en minerale olie gemeten worden, doordat de gehalten in het substraat lager zijn dan in de specie (verdundingseffect). Hierdoor zou een vertekend beeld kunnen ontstaan van de afbraak. Bijvoorbeeld bij vergelijking van een monster op T_0 met relatief weinig substraat en één op T_{24} met relatief veel substraat, wordt een afname gemeten, terwijl de afname in feite veroorzaakt wordt door het verschil in de verhouding tussen specie en substraat.

De omrekening is uitgevoerd door na de extractie in het geëxtraheerde monster het organischestofgehalte te meten. Dit organischestofgehalte wordt eerst nog gecorrigeerd omdat er een klein deel organischestof wordt opgenomen in het extract. Deze correctie is uitgevoerd door de organischestofgehalten na extractie te vermenigvuldigen met een factor die is bepaald door het gemiddelde organischestofgehalte voor de extractie te delen door het gemiddelde organischestofgehalte na de extractie. Hierbij zijn alle 30 monsters van één soort meegenomen. Aan de hand van het gemeten organischestofgehalte is de hoeveelheid specie in het monster berekend. Hierbij is uitgegaan van het gemiddelde organischestofgehalte van de 5 geselecteerde monsters champost, *Pleurotus*-, en PH-specie op T_0 . De volledige resultaten van de afbraak van de verschillende ringsystemen staan gegeven in aanhangsel 1. De resultaten van de afbraak per PAK-component en per monster staan weergegeven in aanhangsel 2. De resultaten van de 9 PAK van Staring zijn samengevat in tabel 9.

Tabel 9 Relatieve afbraak (%) van de 2+3, 4, 5+6 ringen en de som van de 9 PAK van Staring, gedurende de tunnelproeven.

Ring-systeem	Champost + PH-specie (tunnel 2)			<i>Pleurotus</i> + PH-specie (tunnel 2)			PH-specie	
	A	B	gestoomd	A	B	gestoomd	tunnel 1	tunnel 2
2+3	19,9	49,5	36,9	21,0	-2,6	-27,6	-9,1	14,2
4	32,1	46,2	28,5	11,3	10,7	-2,9	7,5	9,0
5+6	18,8	24,2	14,5	3,3	-6,6	-18,7	1,5	-4,2
9 PAK	20,6	41,7	29,0	-2,9	2,8	-5,3	0,5	8,9
Olie	2,2	4,0	1,8	10,3	22,7	20,6	-41,0	-11,5

De gemiddelde standaardafwijking van het gehalte was bij dit experiment ca. 19%. Dit is een kleine standaardafwijking als wordt vergeleken met monsters die in de praktijk worden gemeten voor toetsing in het kader van het bouwstoffenbesluit (Lamé et al., 1996). Op grond van de standaardafwijkingen van de metingen bij T_0 en T_{24} kan de standaardafwijking van het afname (S_{verschil}) worden vastgesteld volgens

$$S_{\text{verschil}} = \sqrt{\frac{S_{T0}^2 + S_{T24}^2}{n}}$$

n=aantal waarnemingen, in dit geval 5.

Met deze standaardafwijkingen is het 95% betrouwbaarheidsinterval voor het verschil berekend bij 4 vrijheidsgraden. De resultaten staan in tabel 10 en er is aangenomen dat de afname significant is als het betrouwbaarheidsinterval kleiner is dan de afname.

Tabel 10 Gehalten, afname en 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemiddelde concentratie van de gemeten monsters

Substraat, specie	Gehalte T ₀ (mg·kg ⁻¹ d.s.)	Gehalte T ₂₄ (mg·kg ⁻¹ d.s.)	Afname (mg·kg ⁻¹ d.s.)
PH tunnel1	24,1 ± 3,2	24,4 ± 1,0	0 ± 1,5
PH tunnel 2	24,2 ± 3,2	22,1 ± 2,2	1,8 ± 1,7
Champost A	32,4 ± 10,8	25,7 ± 11,0	6,7 ± 6,8
Champost B	33,2 ± 12	19,4 ± 2,9	13,8 ± 5,5
Champost gestoomd	32,8 ± 12	23,3 ± 3,6	9,5 ± 5,5
<i>Pleurotus</i> A	32,7 ± 6,7	33,6 ± 8,5	-0,9 ± 4,9
<i>Pleurotus</i> B	30,3 ± 4,9	29,5 ± 8,5	0,8 ± 2,8
<i>Pleurotus</i> gestoomd	28,0 ± 1,2	29,5 ± 11	-1,5 ± 4,9

Om na te gaan of het meten van meer of minder monsters effect heeft op de betrouwbaarheid is in de formule voor de standaardafwijking het aantal monsters gevarieerd. Er is uitgegaan van de standaardafwijking bij 5 monsters. De uitkomsten van deze berekeningen worden voor zowel het champost-specie- als het *Pleurotus*-speciemengsel voor het 90 en 95% betrouwbaarheidsinterval gegeven (figuren 4 en 5). Het interval is gegeven als percentage van het begingehalte, om vergelijking met het afbraakpercentage mogelijk te maken.

Duidelijk is in figuren 4 en 5 te zien dat 5 monsters wel het absolute minimumaantal is waarbij nog waarde geheet kan worden aan een 20 à 30% gemeten afname. Het betekent tevens dat de gemeten afname alleen significant is voor de champost uit container B en de gestoomde champost. Het betrouwbaarheidsinterval is hierbij 95%. Bij een betrouwbaarheidsinterval van 90% was ook de afname van champost uit container A significant geweest. De afname bij *Pleurotus*-substraat was zo gering dat dit verschil niet significant kon worden vastgesteld. Indien er minder dan 5 monsters gemeten zouden zijn, was het onmogelijk geweest de afname voldoende betrouwbaar vast te stellen.

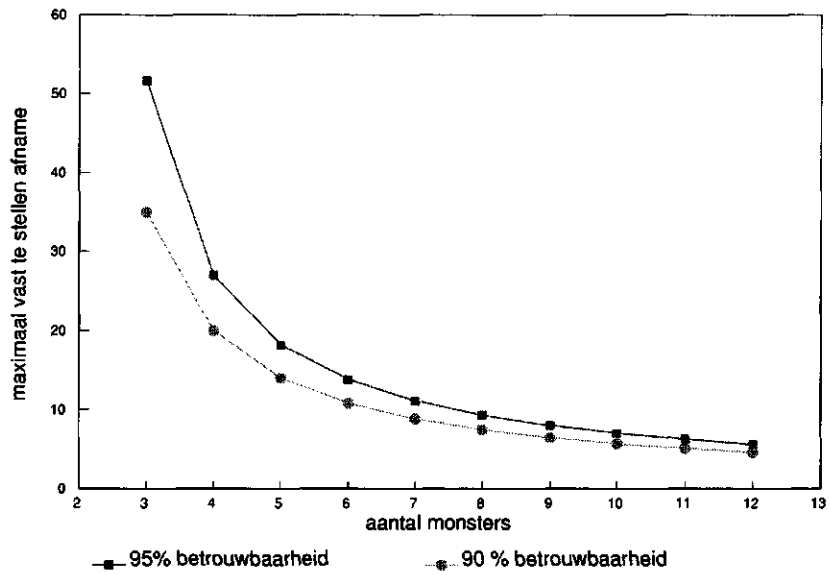


Fig. 4 De maximaal vast te stellen afname bij verschillende aantallen monsters van het champost-speciemengsel container A

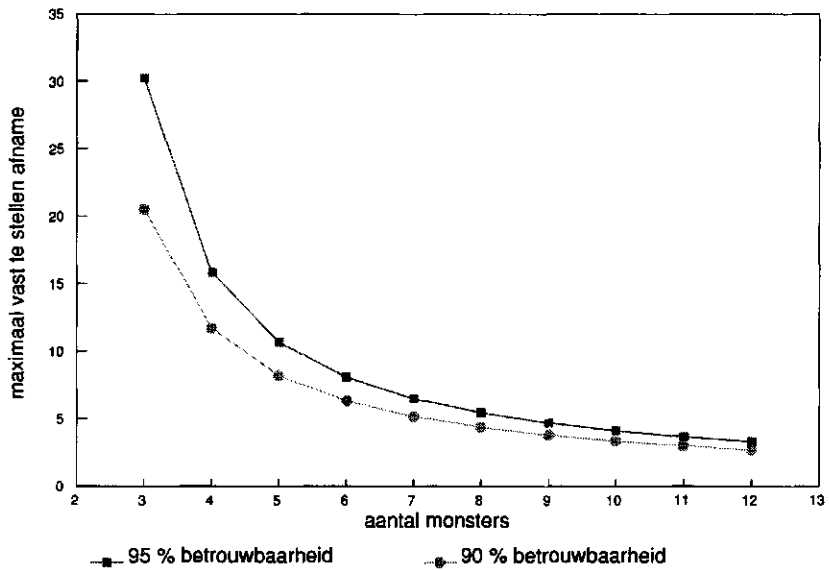


Fig. 5 De maximaal vast te stellen afname bij verschillende aantallen monsters van het Pleurotus-speciemengsel container A

De resultaten laten geen verschil zien tussen levende schimmel en gestoomd substraat. Bij de champost wordt een verbeterde afbraak verkregen, alhoewel de doelstelling van 50% afname niet wordt bereikt. De toevoeging van de compost lijkt verantwoordelijk voor de extra afbraak. Compost kan positief werken op de afbraak

zoals ook is vastgesteld door Doelman (1996). Door compost toe te voegen aan een met minerale olie verontreinigde grond werd een verhoogde afbraak gevonden.

Opvallend is dat de afbraak van PAK gelijk is aan de wijze waarop PAK in landfarms en bioreactoren wordt afgebroken. Het eenvoudigst gaan de kleine ringsystemen en de 5 en 6 ringen gaan het moeilijkst. Van schimmels wordt gezegd dat ze ook in staat zijn de 5 en 6 ringen af te breken.

Met het *Pleurotus*-substraat zijn de effecten nihil. Dit kan veroorzaakt zijn door de kleine hoeveelheid substraat in het mengsel. Door de klein soortelijke massa van *Pleurotus*-substraat bevatte het mengsel na mengen op basis van gelijke volumes slechts 7,5% substraat op gewichtsbasis.

Bij het legen van de containers bleek dat er extra doorgroeide kluiten in het champost-speciemengsel aanwezig waren. Om te zien of in deze kluiten ook extra afbraak opgetreden was, zijn deze kluiten bemonsterd en geanalyseerd. Hiervan zijn ook 5 monsters geanalyseerd en vergeleken met 5 monsters bij T_0 (aanhangel 5) De som 9 PAK van Staring vertoonde een verlaging van $35,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.s. naar 32,5. Dit is een afbraakpercentage van 7,6%, en wijkt dus wat betreft afbraak niet af van de andere champost-speciemonsters.

De temperatuur in de tunnels gedurende het experiment is weergegeven in aanhangsel 3. Hieruit blijkt dat de temperatuur gedurende het gehele experiment rond de 24°C heeft gelegen.

Het zuurstofgehalte in de containers is gemeten op 23 en 26 september en op 4, 11 en 15 oktober. Op al deze dagen was het zuurstofgehalte, zowel boven als onder in de containers, 20-21%. Het zuurstofgehalte is dus niet limiterend geweest voor de afbraak. Bij het openen van de containers konden geen zones worden herkend waarin de aërobie onvoldoende was De zuurstofvoorziening in de gehele container is dus voldoende geweest.

Gelijktijdig met dit onderzoek zijn er bij BION-Overijssel experimenten uitgevoerd. Alhoewel minder intensief is bemonsterd passen de resultaten in het beeld wat in deze paragraaf is beschreven (Riedstra et al., 1997). Substraten werken positief op de afbraak, maar de effecten van schimmels konden niet worden vastgesteld.

3.2.3 De bemonstering

In deze paragraaf wordt ingegaan op de bemonstering en wordt aangegeven in hoeverre er tijdens de bemonstering fouten kunnen zijn gemaakt, die van invloed zijn op de resultaten.

Omdat bij de champost ook met dekaarde gewerkt wordt zal bij slechte menging het organischestofgehalte in de champost nogal kunnen variëren. Om te controleren of de menging en monsternamen goed uitgevoerd is, en om de spreiding in het organische-stofgehalte en drogestofgehalte te bepalen zijn extra monsters genomen.

Hiervan zijn het drogestofgehalte en het organischestofgehalte in 12-voud bepaald (tabel 11). Uit deze tabel blijkt dat de spreiding in het organischestofgehalte en drogestofgehalte erg laag is. Dit betekent dat de menging en monsternamen goed uitgevoerd is. De in de champost-speciemonsters gemeten drogestofgehalten op tijdstip T_0 en T_{24} zijn gelijk, wat aangeeft dat het juist geweest is op T_{24} alleen het vochtige gedeelte van de specie te bemonsteren.

Een goede menging blijkt ook als het organischestofgehalte na extractie wordt uitgezet tegen het organischestofgehalte van de duplo monsters, die niet geëxtraheerd zijn (fig. 6). Er zijn weinig punten die niet rond de lijn liggen. Dat de lijn niet door de oorsprong gaat wordt veroorzaakt door het verlagen van het organischestofgehalte bij de extractie.

Bemonstering van het *Pleurotus*-speciemengsel is veel moeilijker door de aanwezigheid van stro. In figuur 7 zijn op soortgelijke manier als in figuur 6 de organischestofgehalten tegen elkaar uitgezet. De relatie is veel slechter. Met name voor deze specie is het heel belangrijk geweest dat de PAK-gehalten zijn gecorrigeerd voor de hoeveelheid organische stof. Uit de resultaten in aanhangsel 1 kan worden geconcludeerd dat het organischestofgehalte met 30 à 40% is afgenomen. Dit is niet waarschijnlijk en wordt veroorzaakt door de bemonstering.

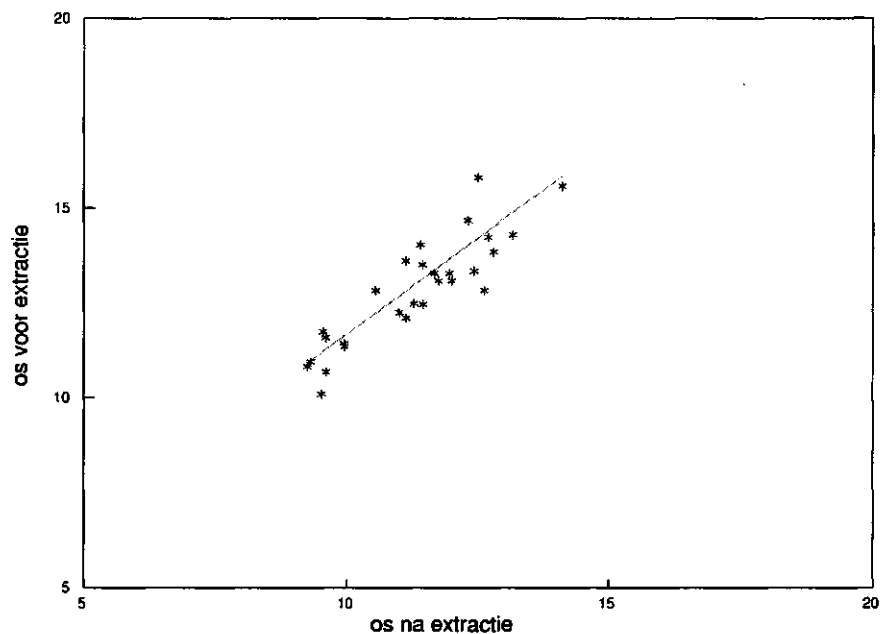


Fig. 6 Verband tussen de organischestofgehalten voor en na extractie van de champost-specie monsters

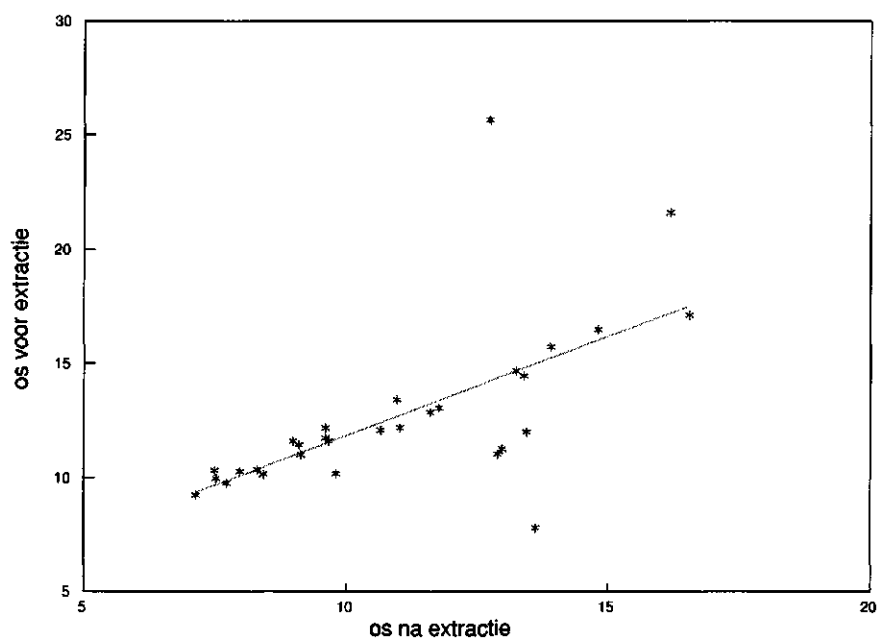


Fig. 7 Verband tussen de organischestofgehalten voor en na extractie van de Pleurotus-specie monsters

Tabel 11 Organischestof- en drogestofgehalten in het champost en Pleurotus-substraat

Monster	Org.stof- gehalte	Vocht- gehalte	Monster	Org.stof gehalte	Vocht- gehalte
C1T ₀	63,1	65,7	P1	85,8	69,8
C2T ₀	61,7	63,4	P2	85,4	78,2
C3T ₀	61,1	63,1	P6	85,3	74,5
C4T ₀	63,6	70,9	P8	85,7	75,1
C5T ₀	61,8	65,6	P10	85,3	75,6
C6T ₀	58,9	61,6			
C7T ₀	61,6	67,7			
C8T ₀	58,9	66,8			
C9T ₀	60,4	66,1			
C10T ₀	60,8	62,6			
C11T ₀	60,0	69,3			
C12T ₀	60,9	67,3			
gem	61,2	65,9		85,5	74,6
rel s	2,3	4,3			
gem+stud T (95%)	62,0	67,6			
gem-stud T (95%)	61,2	64,1			

3.2.4 Invloed van organische stof en nutriënten

Om te onderzoeken of het opgeloste organische stof van invloed is geweest op de versnelde afbraak is het TOC-gehalte (Total Organic Carbon) van de verschillende monsters gemeten. Dit is gedaan door aan 20 g monster, 50 g water toe te voegen en dit een uur te mengen. Vervolgens is het monster gecentrifugeerd en is het supernatant gefiltreerd en gemeten m.b.v. de TOC-analyzer (tabel 12). In dit zelfde supernatant is ook nitraat en ammonium gemeten.

Tabel 12 TOC-, nitraat- en ammonium-gehalten (mg/l) van de monsters (2 : 5)

Monster	TOC	NO ₃ -N	NH ₄ -N
PH-specie	42		
PH-specie + <i>Pleurotus</i>	490		
PH-specie + champost	155		
<i>Pleurotus</i>	2560	< 0,10	1,86
Champost	2160	0,82	15,72

De TOC-gehalten van de *Pleurotus* en de champost verschillen niet veel. Beide substraten zorgen echter wel voor een aanzienlijke verhoging van het opgeloste organische stof, ook nog in een 1 op 1 volumemengsel met de Petroleumhaven-specie. Het verschil in opgeloste organische stof lijkt geen verklaring voor de verschillen in afbraak, *Pleurotus* geeft immers meer opgeloste organische stof terwijl de champost de grootste afbraak gaf. De aard van de organische stof is echter verschillend, dit is te zien aan de kleur van het supernatant, de kleur van het champostsupernatant was veel donkerder. Het verschil in de aard van de organische stof wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de mate van humificatie waardoor organische stof met verschillende polariteiten en molecuulgrootte wordt verkregen. Grotere organische moleculen vergroten de oplosbaarheid van PAK doordat ze de PAK-moleculen in zich kunnen opnemen. Dit kan de betere PAK-afbraak in het mengsel van PH-specie met gestoomde champost ten opzichte van het mengsel van PH-specie met gestoomde *Pleurotus* verklaren.

De stikstof in de champost en *Pleurotus* is grotendeels aanwezig in de vorm van organisch N. De totaalgehalten aan stikstof zijn voor champost 2% en voor *Pleurotus* 0,8%. De gehalten aan NO₃-N en NH₄-N in de waterfase zijn laag. Door de grote biologische activiteit van de substraten is er echter wel veel stikstof in circulatie, wat een stimulerend effect op de afbraak kan hebben. In het onderzoek uitgevoerd bij BION (Riedstra et al., 1997) werd gevonden dat alleen extra nutriënten ook de afbraak stimuleerde.

4 Conclusies

Het lijkt erop dat er in de champostmengsels een redelijke afbraak van PAK plaatsgevonden heeft. De afname van PAK kon in container B en bij de gestoomde champost significant worden vastgesteld. Als men naar de afbraak in het gestoomde champostmengsel kijkt dan is deze gelijk aan de afbraak in de niet gestoomde champostmengsels. Het is dus nog maar de vraag of de afbraak veroorzaakt wordt door de schimmels of door de aanwezige micro-organismen in de champost. Een andere mogelijkheid is dat de opgeloste organische stof een rol speelt bij de afbraak. Opgeloste organischestof is in staat de oplosbaarheid van PAK te verhogen, waardoor de afbraak kan versnellen (detergent werking). Het type organische stof, dat oplost vanuit de champost is duidelijk anders dan dat afkomstig van het *Pleurotus*-substraat. Het beschikbaar komen van nutriënten uit de substraten kan ook nog een rol spelen. Er heeft in de champostmengsels geen afbraak plaatsgevonden van minerale olie.

In de *Pleurotus*-mengsel is de afbraak helemaal gering. Ook hier is geen duidelijk verschil waar te nemen tussen het substraatmengsel en het gestoomde substraatmengsel. Wat opvalt is de grote afname van de organischestofgehaltenes in de *Pleurotus*-PH-specie. Dit komt waarschijnlijk doordat deze specie veel moeilijker te bemonsteren is. De verlaging van de organischestofgehaltenes hebben dan ook waarschijnlijk niets met afbraak te maken. Door de duur van 24 dagen en de schimmelgroei zijn er in het mengsel 'veranderingen' opgetreden die ervoor hebben gezorgd dat de bemonstering op de 2 tijdstippen niet tot het te verwachte zelfde organischestofgehalte hebben geleid. Door via het organischestofgehalte de PAK-gehaltenes terug te rekenen naar de specie in de mengsels kon worden gecorrigeerd voor het verschil in bemonstering. De afbraak van minerale olie in de *Pleurotus*-mengsels is hoger dan in de champostmengsels. Er heeft geen aantoonbare afbraak van PAK plaatsgevonden in de PH-specie.

Uit de afbraakpercentages in tabel 1 blijkt dat de doelstelling van het onderzoek, 50% afbraak binnen 24 dagen, zowel voor de champostmengsels als voor de *Pleurotus*-mengsels niet gehaald wordt.

Blijkbaar is de tijd (24 dagen) voor het biologische-afbraakexperiment in de tunnels niet voldoende geweest om een afbraak van 50% te halen. Dit bleek ook na de experimenten uit de mengsels: deze waren nog niet volledig doorgroeid met de schimmels. Ook de mengverhouding van één op één op volumebasis kan er de oorzaak van geweest zijn dat de 50% afbraak niet gehaald is. Deze mengverhouding is momenteel in de praktijk echter wel het maximaal haalbare.

Wel moet worden bedacht dat de gebruikte Petroleumhavenspecie waarschijnlijk al vrij ver is in het proces van biologische reiniging en weinig biologisch beschikbare verontreinigingen meer bevat. In dit licht gezien is de behaalde afname van 25 à 30% daarom aanzienlijk.

5 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek zou geconcludeerd kunnen worden dat de effectiviteit van schimmels nihil is en dat de toevoeging van compost verantwoordelijk is voor de verdere daling van het PAK-gehalte. Verdere opschaling moet dan gericht zijn op de toepassing van gestoomde champost. Dit sluit goed aan bij de praktijk omdat de champignonkultuur de champost eerst stoomt, voordat hij de champost afzet.

De vervolgfase kan zich dan richten op toepassing van champost in een buitensituatie, waarbij handhaving van de aërobie en de invloed van champost op de temperatuur van belang is. Onderzoek naar de toepassing van champost in een hal kan zich meer richten op optimalisatie van het proces, mengverhoudingen en tijd.

De uitvoering van het project kan zodanig zijn geweest, dat door de te korte duur van het project, en een te kleine mengverhouding van de specie met het substraat, de schimmels geen kans hebben gekregen. De wijze van onderzoek was echter ingegeven door vertaling van de huidige stand van zaken naar de praktijk.

In dit project is ervaren, dat het meer fundamenteeler omgaan met de schimmels, bijvoorbeeld het vaststellen van enzymactiviteiten, meer inzicht zou hebben gegeven. Voor de vervolgvragen moet worden nagegaan welke fundamentele kennis moet worden ontwikkeld of toegepast.

Literatuur

- Doelman, P., 1996. *Compostering en afbraak van organische verontreinigingen in grond*. Rotterdam, Iwaco rapport.
- Gerrits, J.P.G., 1994. Composition, use and legislation of spent mushroom substrate in the Netherlands. *Compost Science and Utilization* 2, 3: 24-30.
- Harmsen, J., J.J.H. van der Akker, H.W. Bezemer, O.M. van Dijk-Hooyer, A. van den Toorn, H.J.J. Wieggers en A.J. Zweers, 1997. *Intensieve landfarming van verontreinigde baggerspecie: ontwatering en afbraak*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.
- Kooij, L.A. van der, 1996. Fungi farming: Gebruik van schimmels bij de afbraak van persistente verontreinigingen. *Bodem* 4: 166-169.
- Lamé, F.P.J., P.J. Kroes, P.R. Defize en G. Frapporti, 1996. *Protocol grond voor de handhaving van het bouwstoffenbesluit, Onderbouwing van de monsternemingsprocedure, Deel 1: Rapportage, Deel 2: Bijlagen*. Rotterdam TNO-MEP R96/009, Iwaco 1052850.
- Nandan, R. en S. Raisuddin, 1992. Fungal degradation of industrial wastes and wastewater. New York, *Handbook of applied mycology*, Vol. 4, p. 931-961.
- NEN, 1991. *NEN 5733; Bodem. Bepaling van het gehalte aan minerale olie in grond en waterbodem met gaschromatografie*. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut.
- NEN, 1994. *NEN 5771; Bodem. Bepaling van de gehalten aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen met hoge druk chromatografie*. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut.
- NEN, 1995. *NEN 5719; Voorbehandeling van waterbodemonsters*. Delft, Nederlands Normalisatie Instituut.
- Riedstra, D., J.A.N.M. Heersche, A. Morssinkhof, 1997. *Biodegradatie van organische microverontreinigingen met behulp van schimmeltechnologie*. Almelo, BION Overijssel. Rapportage (in voorbereiding).

Aanhangsel 1 Resultaten van de afbraak van de verschillende ringsystemen

PH-specie na mengen TUNNEL 1

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	80.6	76.6	0.93	1.65	4.9
o.s.	6.20	7.24	0.33	0.15	-16.8
o.s. na extractie	4.37	4.79	0.25	1.16	-9.6
olie	2865	4038	252	487	-41.0
2+3 ringen	10.44	11.39	0.53	0.93	-9.1
4 ringen	13.65	12.62	0.46	0.83	7.5
5+6 ringen	11.52	11.36	0.28	0.84	1.5
som 9 Staring	24.20	24.07	3.18	0.96	0.5

PH-specie na mengen TUNNEL 2

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	80.6	79.6	0.93	0.87	1.2
o.s.	6.20	6.57	0.33	0.28	-5.9
o.s. na extractie	4.37	4.58	0.25	0.40	-4.7
olie	2865	3194	252	379	-11.5
2+3 ringen	10.44	8.97	0.53	0.44	14.1
4 ringen	13.65	12.42	0.46	0.30	9.0
5+6 ringen	11.52	12.01	0.28	0.23	-4.2
som 9 Staring	24.20	22.06	3.18	2.12	8.9

Pleurotus gestoomd + PH-specie

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	64.6	73.2	2.11	6.00	-13.3
o.s.	13.42	10.62	2.24	0.73	20.9
o.s. na extractie	12.41	8.31	2.08	1.00	33.1
o.s. na extractie gec	13.73	9.19	2.30	1.11	33.1
olie	3473	2758	213	352	20.6
2+3 ringen	11.20	14.29	0.63	1.73	-27.6
4 ringen	16.87	17.36	0.39	0.97	-2.9
5+6 ringen	12.45	14.79	0.24	0.69	-18.7
som 9 Staring	27.97	29.46	1.20	10.89	-5.3

Champost levend + PH-specie container A

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	66.4	66.9	3.79	1.47	-0.7
o.s.	11.39	12.63	3.61	0.96	-10.9
o.s. na extractie	10.79	11.66	1.64	1.34	-8.0
o.s. na extractie gec	11.90	12.77	1.64	1.34	-7.3
olie	2798	2737	272	224	2.2
2+3 ringen	13.42	10.75	1.18	1.57	19.9
4 ringen	19.90	13.51	1.50	0.90	32.1
5+6 ringen	13.89	11.27	0.69	0.47	18.8
som 9 Staring	32.35	25.68	10.75	10.98	20.6

Champost levend + PH-specie container B

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	64.6	65.9	2.68	1.81	-2.1
o.s.	13.95	12.17	1.94	1.57	12.7
o.s. na extractie	11.38	11.07	1.44	1.18	2.8
o.s. na extractie gec	12.50	12.18	1.44	1.18	2.5
olie	3024	2903	596	257	4.0
2+3 ringen	14.27	7.21	1.65	0.40	49.5
4 ringen	19.06	10.25	1.04	0.37	46.2
5+6 ringen	13.62	10.33	0.39	0.22	24.2
som 9 Staring	33.24	19.37	12.04	2.92	41.7

Pleurotus Levend + PH-specie container A

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	61.8	72.5	3.48	2.52	-17.3
o.s.	18.91	10.87	5.76	1.60	42.5
o.s. na extractie	14.56	8.62	2.12	1.42	40.8
o.s. na extractie gec	16.10	9.54	0.00	0.00	40.8
olie	3155	2832	886	382	10.3
2+3 ringen	14.14	17.12	1.08	1.79	-21.0
4 ringen	18.95	16.81	0.62	1.00	11.3
5+6 ringen	13.23	12.79	0.33	0.21	3.3
som 9 Staring	32.67	33.62	6.75	8.50	-2.9

Pleurotus Levend + PH-specie container B

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	65.5	71.4	2.64	2.26	-9.1
o.s.	11.51	10.43	3.16	0.93	9.4
o.s. na extractie	12.88	8.45	0.94	0.92	34.4
o.s. na extractie gec	14.25	9.35	0.00	0.00	34.4
olie	3673	2838	459	408	22.7
2+3 ringen	13.01	13.34	0.87	0.87	-2.6
4 ringen	17.76	15.85	0.60	0.50	10.7
5+6 ringen	12.80	13.65	0.23	0.57	-6.6
som 9 Staring	30.33	29.47	4.95	3.90	2.8

Champost gestoomd + PH-specie

monster	GEM TO	GEM T24	95% betr. T0	95% betr. T24	afbraak %
droge stof	64.9	69.6	5.82	3.79	-7.2
o.s.	13.46	12.84	3.16	0.99	4.7
o.s. na extractie	12.53	11.20	3.83	1.51	10.6
o.s. na extractie gec	13.65	12.31	3.83	1.51	9.8
olie	2709	2661	981	403	1.8
2+3 ringen	14.30	9.03	1.81	0.62	36.9
4 ringen	17.09	12.22	0.99	0.48	28.5
5+6 ringen	12.94	11.06	0.48	0.26	14.5
som 9 Staring	32.85	23.32	11.77	3.55	29.0

Aanhangsel 2 Resultaten van alle monsters per PAK-component

PH-specie na mengen TUNNEL 1

monster	TO		PH 9		TO		PH 10		TO		PH 11		T24		PH 10		T24		PH 11		GEM TO		GEM T24		TO		95% betr.		95% betr.		afbraak	
	PH 2	PH 8	PH 9	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 8	PH 10	PH 10	PH 11	PH 8	PH 10	PH 10	PH 11	GEM TO	GEM T24	GEM TO	GEM T24	T0	T24	T0	T24	%	%	
droge stof	81.4	80.4	81.1	80.5	79.5	77.4	74.9	75.8	78.3	76.6	80.6	76.6	80.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	80.6	80.6	80.6	80.6	76.6	0.93	0.93	1.65	1.65	4.9	4.9
o.s.	5.82	6.37	6.15	6.12	6.53	7.07	7.23	7.19	7.35	7.35	6.20	7.24	6.20	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	7.24	6.20	6.20	6.20	6.20	7.24	0.33	0.33	0.15	0.15	-16.8	-16.8
o.s. na extractie	4.44	4.21	4.15	4.41	4.65	5.98	3.42	4.54	4.89	5.13	4.37	4.79	4.37	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.79	4.37	4.37	4.37	4.37	4.79	0.25	0.25	1.16	1.16	-9.6	-9.6
olie	2526	2829	2983	3027	2958	3508	4142	3857	4114	4571	2865	4038	2865	4038	4038	4038	4038	4038	4038	4038	4038	2865	2865	2865	2865	4038	252	252	487	487	-41.0	-41.0
fluoreen	1.00	0.90	1.14	1.08	1.10	0.94	0.97	1.19	1.85	3.24	1.04	1.24	1.04	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.04	1.04	1.04	1.04	1.24	0.12	0.12	0.53	0.53	-18.4	-18.4
fenantreen	3.48	3.01	4.28	4.23	3.55	3.49	3.51	2.40	4.24	10.01	3.71	3.41	3.71	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41	3.71	3.71	3.71	3.71	3.41	0.67	0.67	0.94	0.94	8.1	8.1
antracene	1.98	2.12	1.85	1.76	1.82	1.86	1.93	3.74	3.49	5.41	1.90	2.75	1.90	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	1.90	1.90	1.90	1.90	2.75	0.18	0.18	1.24	1.24	-44.6	-44.6
fluoranteen	3.20	4.98	4.55	2.84	3.32	3.30	3.68	3.81	5.15	8.25	3.78	3.99	3.78	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.78	3.78	3.78	3.78	3.99	1.16	1.16	1.00	1.00	-5.5	-5.5
pyreen	3.06	4.18	3.93	3.13	3.08	3.22	3.27	2.72	3.57	6.42	3.48	3.19	3.48	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.48	3.48	3.48	3.48	3.19	0.66	0.66	0.44	0.44	8.2	8.2
benz[<i>a</i>]antracene	2.12	2.59	2.68	2.09	1.70	2.68	2.83	2.11	2.63	4.99	2.24	2.56	2.24	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.24	2.24	2.24	2.24	2.56	0.50	0.50	0.39	0.39	-14.6	-14.6
chryseen	3.56	4.02	4.10	3.64	3.07	4.21	4.26	3.25	1.94	5.91	3.68	3.42	3.68	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.68	3.68	3.68	3.68	3.42	0.51	0.51	1.35	1.35	7.1	7.1
benzo[<i>b</i>]fluoranteen	2.76	3.21	3.37	2.92	2.53	3.25	3.35	2.93	1.25	5.95	2.96	1.94	2.96	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	2.96	2.96	2.96	2.96	1.94	0.42	0.42	1.71	1.71	34.3	34.3
benzo[<i>k</i>]fluoranteen	1.24	1.44	1.48	1.28	1.08	1.43	1.54	1.28	1.79	2.94	1.31	1.51	1.31	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.31	1.31	1.31	1.31	1.51	0.20	0.20	0.26	0.26	-15.4	-15.4
benzo[<i>a</i>]pyreen	3.33	3.73	4.14	3.67	3.09	3.55	3.95	3.24	2.29	6.07	3.59	3.26	3.59	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.59	3.59	3.59	3.59	3.26	0.50	0.50	0.88	0.88	9.3	9.3
dibenz[<i>a,h</i>]antracene	0.55	0.59	0.62	0.55	0.49	0.64	0.72	0.61	1.36	1.09	0.56	0.83	0.56	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.56	0.56	0.56	0.56	0.83	0.06	0.06	0.44	0.44	-48.6	-48.6
benzo[<i>ghi</i>]peryleen	3.17	3.29	3.59	3.55	3.16	3.64	3.99	3.43	1.56	4.95	3.35	3.15	3.35	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.35	3.35	3.35	3.35	3.15	0.26	0.26	1.35	1.35	5.9	5.9
indeno[1,2,3- <i>cd</i>]pyreen	3.90	4.10	4.36	4.06	3.69	4.28	4.77	3.99	3.42	6.32	4.02	4.11	4.02	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.02	4.02	4.02	4.02	4.11	0.31	0.31	0.70	0.70	-2.3	-2.3
som 9 Staring	22.7	26.0	27.6	23.5	21.2	24.7	23.0	23.9	24.6	52.8	24.2	24.1	24.2	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.2	24.2	24.2	24.2	24.1	3.18	3.18	0.96	0.96	0.5	0.5

PH-specie na mengen TUNNEL 2

monster	TO		PH 8		TO		PH 9		TO		PH 10		TO		PH 11		T24		PH 8		T24		GEM TO		GEM T24		TO		95% betr.		95% betr.		afbraak	
	PH 2	PH 8	PH 9	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 10	PH 11	PH 8	PH 10	PH 10	PH 11	GEM TO	GEM T24	GEM TO	GEM T24	T0	T24	T0	T24	%	%			
droge stof	81.4	80.4	81.1	80.5	79.5	79.8	79.7	79.8	80.2	78.4	80.6	79.6	80.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	79.6	80.6	80.6	80.6	80.6	79.6	0.93	0.93	0.87	0.87	1.2	1.2		
o.s.	5.82	6.37	6.15	6.12	6.53	6.91	6.51	6.60	6.52	6.29	6.20	6.57	6.20	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.57	6.20	6.20	6.20	6.20	6.57	0.33	0.33	0.28	0.28	-5.9	-5.9		
o.s. na extractie	4.44	4.21	4.15	4.41	4.65	4.30	4.93	4.81	4.66	4.18	4.37	4.58	4.37	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.37	4.37	4.37	4.37	4.58	0.25	0.25	0.40	0.40	-4.7	-4.7		
olie	2526	2829	2983	3027	2958	2847	3570	3056	3455	3040	2865	3194	2865	3194	3194	3194	3194	3194	3194	3194	3194	2865	2865	2865	2865	3194	252	252	379	379	-11.5	-11.5		
fluoreen	1.00	0.90	1.14	1.08	1.10	0.90	0.75	0.83	0.87	0.85	1.04	0.84	1.04	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	1.04	1.04	1.04	1.04	0.84	0.12	0.12	0.08	0.08	19.5	19.5		
fenantreen	3.48	3.01	4.28	4.23	3.55	3.58	2.98	3.17	3.78	9.32	3.71	3.23	3.71	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.71	3.71	3.71	3.71	3.23	0.67	0.67	0.33	0.33	13.1	13.1		
antracene	1.98	2.12	1.85	1.76	1.82	1.82	1.27	1.61	1.78	1.65	1.90	1.59	1.90	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.90	1.90	1.90	1.90	1.59	0.18	0.18	0.27	0.27	16.6	16.6		
fluoranteen	3.20	4.98	4.55	2.84	3.32	3.28	2.62	4.11	4.06	3.21	3.78	3.31	3.78	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.78	3.78	3.78	3.78	3.31	1.16	1.16	1.06	1.06	12.3	12.3		
pyreen	3.06	4.18	3.93	3.13	3.08	2.50	2.39	2.89	2.89	2.54	3.48	2.64	3.48	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	3.48	3.48	3.48	3.48	2.64	0.66	0.66	0.33	0.33	24.0	24.0		
benz[<i>a</i>]antracene	2.12	2.59	2.68	2.09	1.70	2.62	2.01	2.12	2.24	2.31	2.24	2.26	2.24	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.26	2.24	2.24	2.24	2.24	2.26	0.50	0.50	0.33	0.33	-0.9	-0.9		
chryseen	3.56	4.02	4.10	3.64	3.07	3.67	2.91	3.14	3.10	3.32	3.68	3.23	3.68	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.68	3.68	3.68	3.68	3.23	0.51	0.51	0.41	0.41	12.2	12.2		
benzo[<i>b</i>]fluoranteen	2.76	3.21	3.37	2.92	2.53	3.24	2.70	2.90	2.87	3.07	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	0.42	0.42	0.28	0.28	0.0	0.0		
benzo[<i>k</i>]fluoranteen	1.24	1.44	1.48	1.28	1.08	1.43	1.18	1.27	1.39	1.44	1.31	1.34	1.31	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.31	1.31	1.31	1.31	1.34	0.20	0.20	0.14	0.14	-2.5	-2.5		
benzo[<i>a</i>]pyreen	3.33	3.73	4.14	3.67	3.09	3.50	2.98	3.30	3.32	3.47	3.59	3.31	3.59	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.59	3.59	3.59	3.59	3.31	0.50	0.50	0.27	0.27	7.7	7.7		
dibenz[<i>a,h</i>]antracene	0.55	0.59	0.62	0.55	0.49	0.70	0.59	0.62	0.65	0.67	0.56	0.64	0.56	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.56	0.56	0.56	0.56	0.64	0.06	0.06	0.05	0.05	-14.9	-14.9		
benzo[

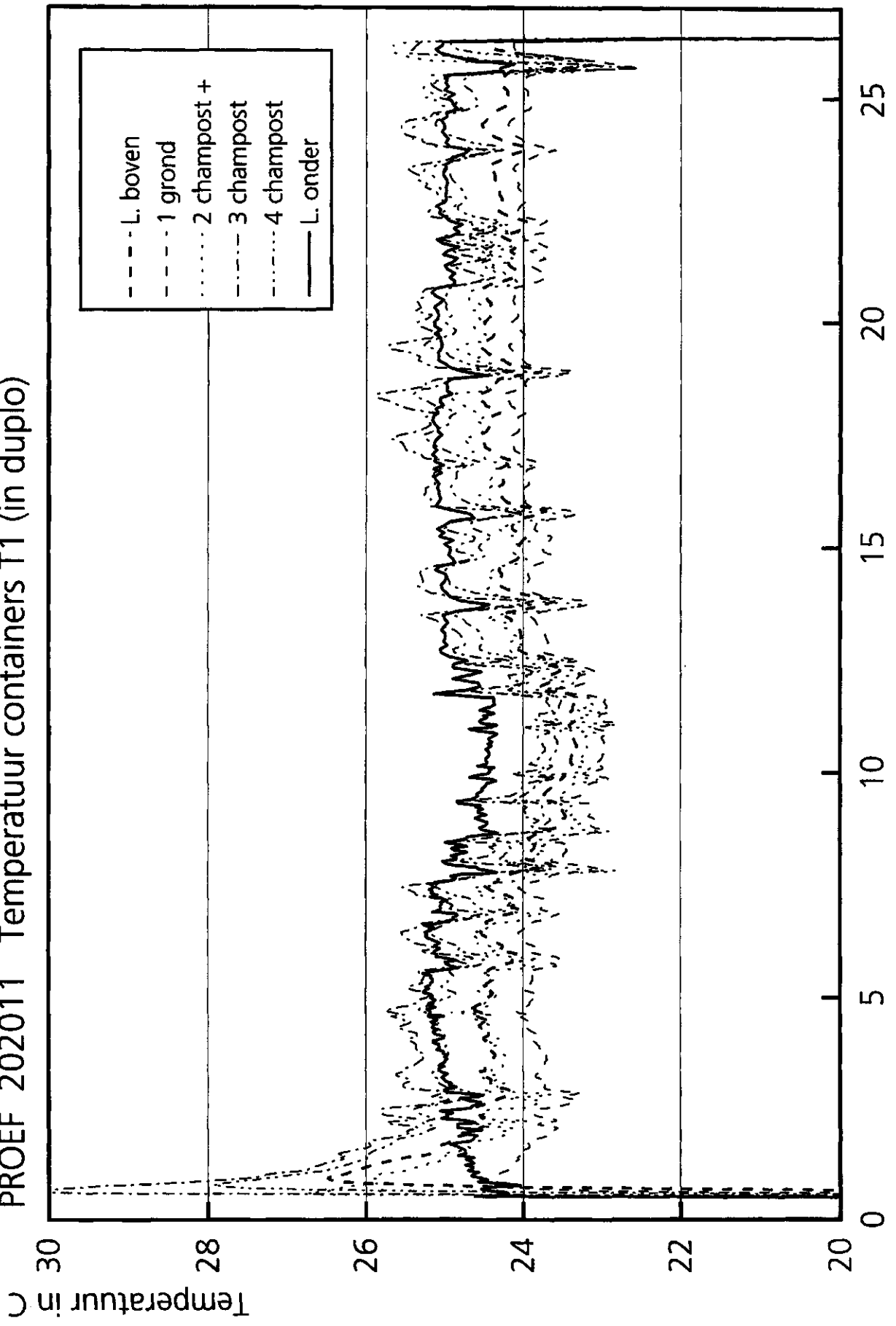
Aanhangsel 3 Temperatuur in de tunnels gedurende het experiment

Proef 20201

Gemiddelde temperaturen (met de standaardafwijking) van de verschillende meetpunten van 20.09 00.00 uur t/m 14.10 24.00 uur (n = 426)

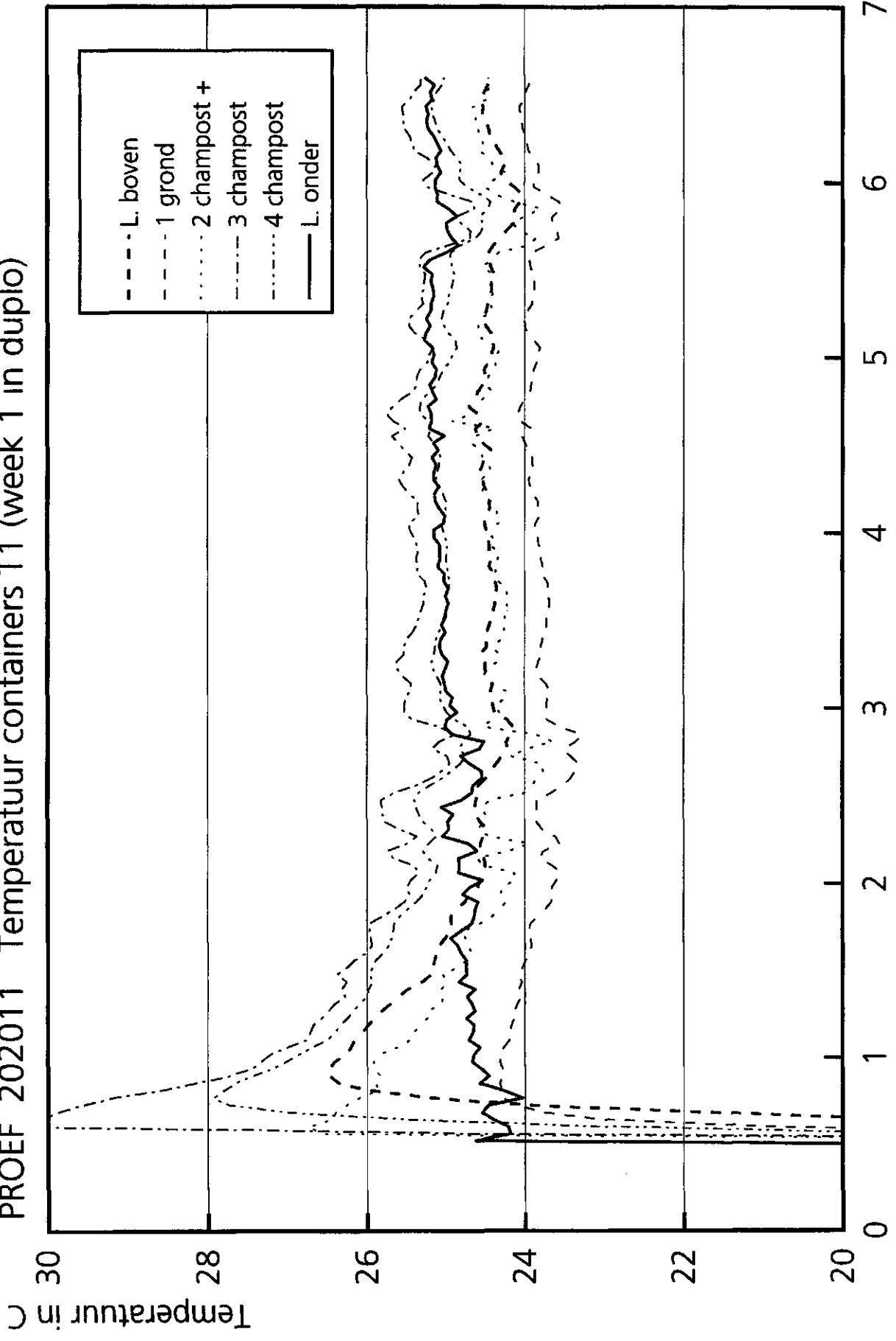
Behandeling	Tunnel 1	Behandeling	Tunnel 2
Lucht boven	24,2 ± 0,49	Lucht boven	23,9 ± 0,26
Container 1	23,8 ± 0,36	Container 5	23,8 ± 0,12
	23,6 ± 0,38		23,8 ± 0,13
1 gemiddeld	23,7 ± 0,37	5 gemiddeld	23,8 ± 0,13
Container 2	24,2 ± 0,70	Container 6	24,4 ± 0,27
	24,3 ± 0,55		24,3 ± 0,28
2 gemiddeld	24,2 ± 0,60	6 gemiddeld	24,3 ± 0,27
Container 3	25,0 ± 0,72	Container 7	24,6 ± 0,33
	24,9 ± 0,67		24,3 ± 0,32
3 gemiddeld	24,9 ± 0,69	7 gemiddeld	24,5 ± 0,33
Container 4	24,7 ± 0,64	Container 8	24,3 ± 0,30
	24,6 ± 0,62		24,4 ± 0,39
4 gemiddeld	24,7 ± 0,61	8 gemiddeld	24,3 ± 0,32
Lucht onder	24,4 ± 0,25	Lucht onder	22,8 ± 0,45
	25,3 ± 0,27		25,5 ± 0,15
L. gemiddeld	24,9 ± 0,25	L. gemiddeld	24,1 ± 0,24

PROEF 202011 Temperatuur containers T1 (in duplo)



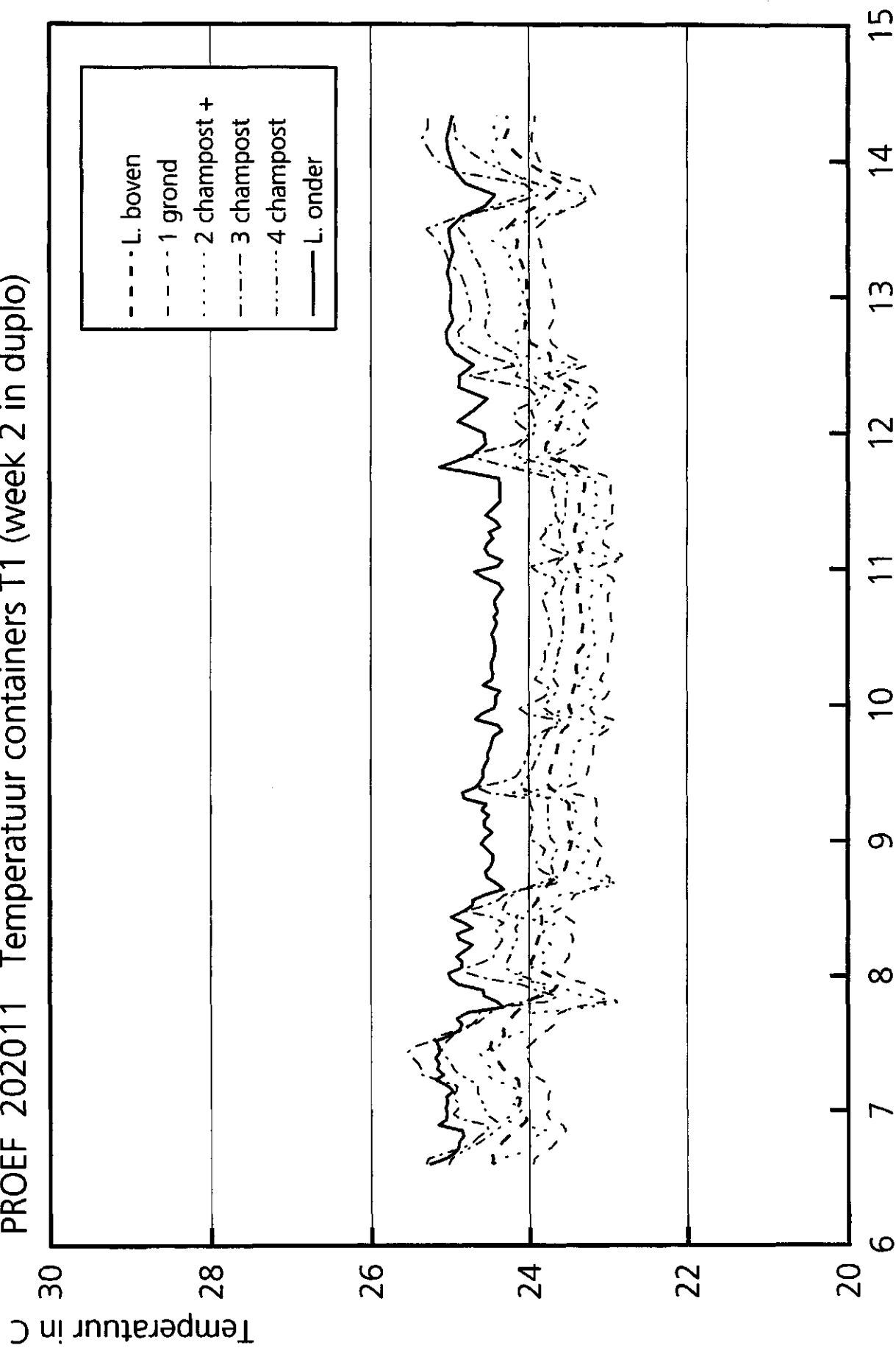
Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202011 Temperatuur containers T1 (week 1 in duplo)



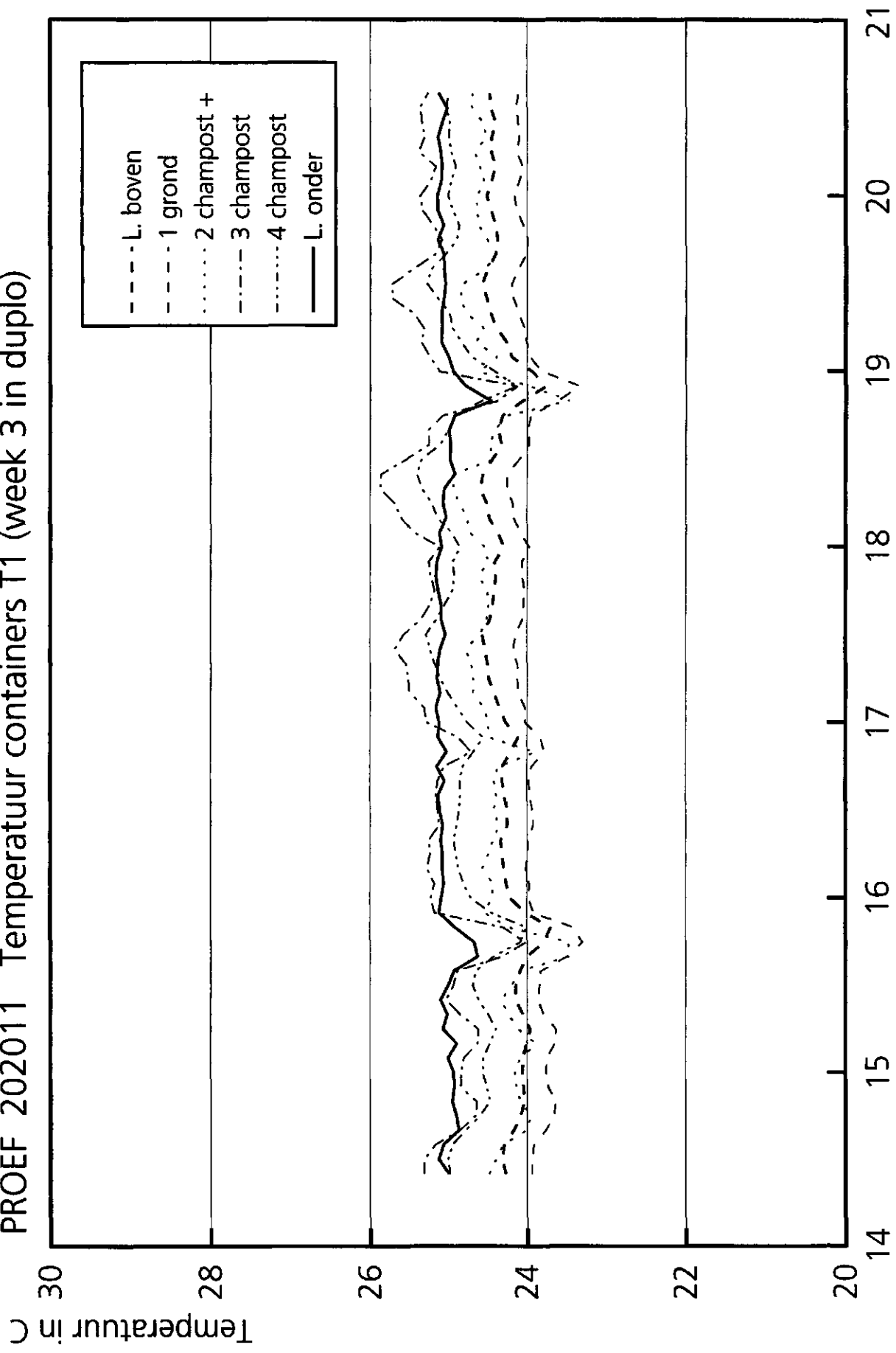
Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202011 Temperatuur containers T1 (week 2 in duplo)

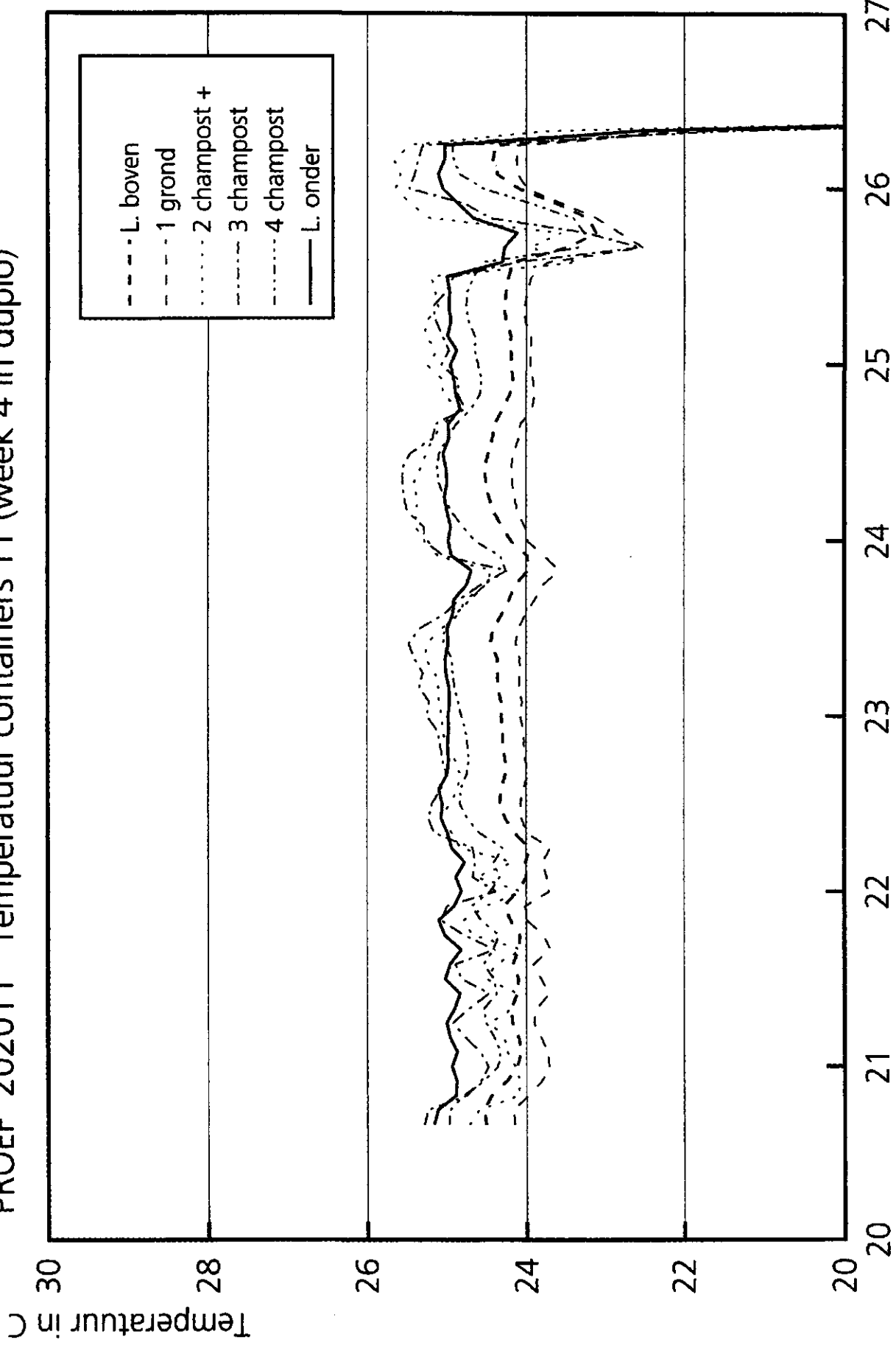


Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202011 Temperatuur containers T1 (week 3 in duplo)

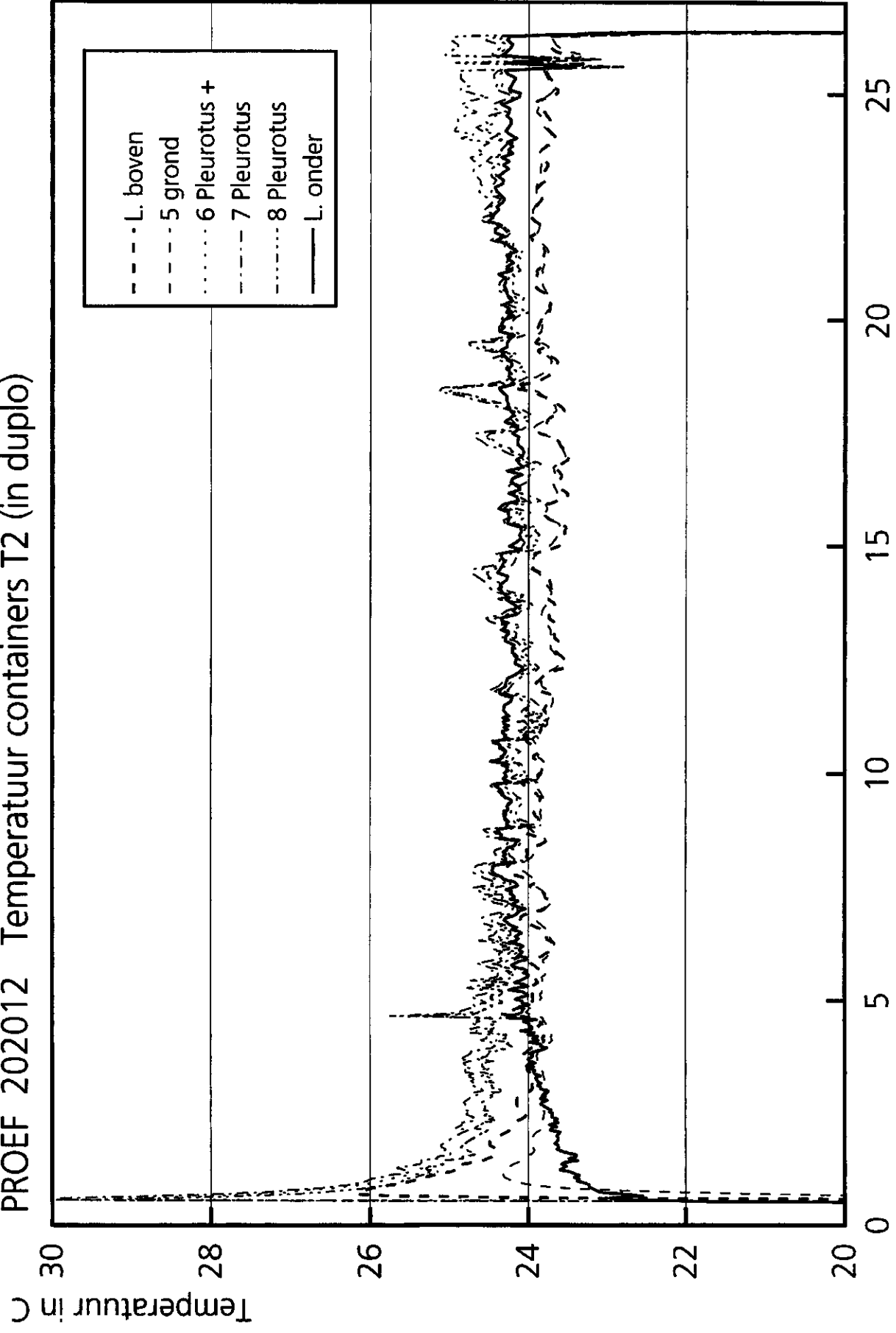


PROEF 202011 Temperatuur containers T1 (week 4 in duplo)

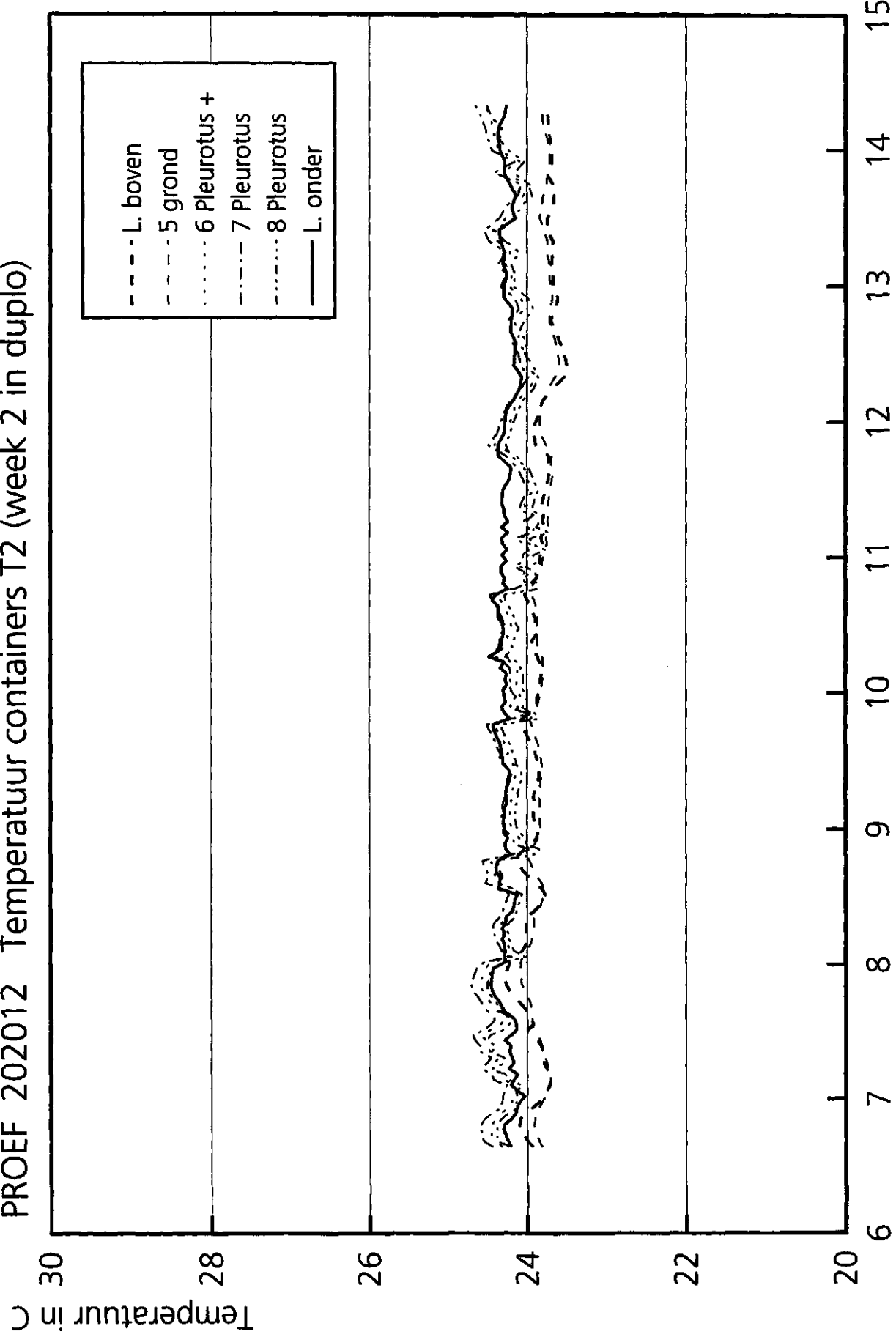


Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202012 Temperatuur containers T2 (in duplo)

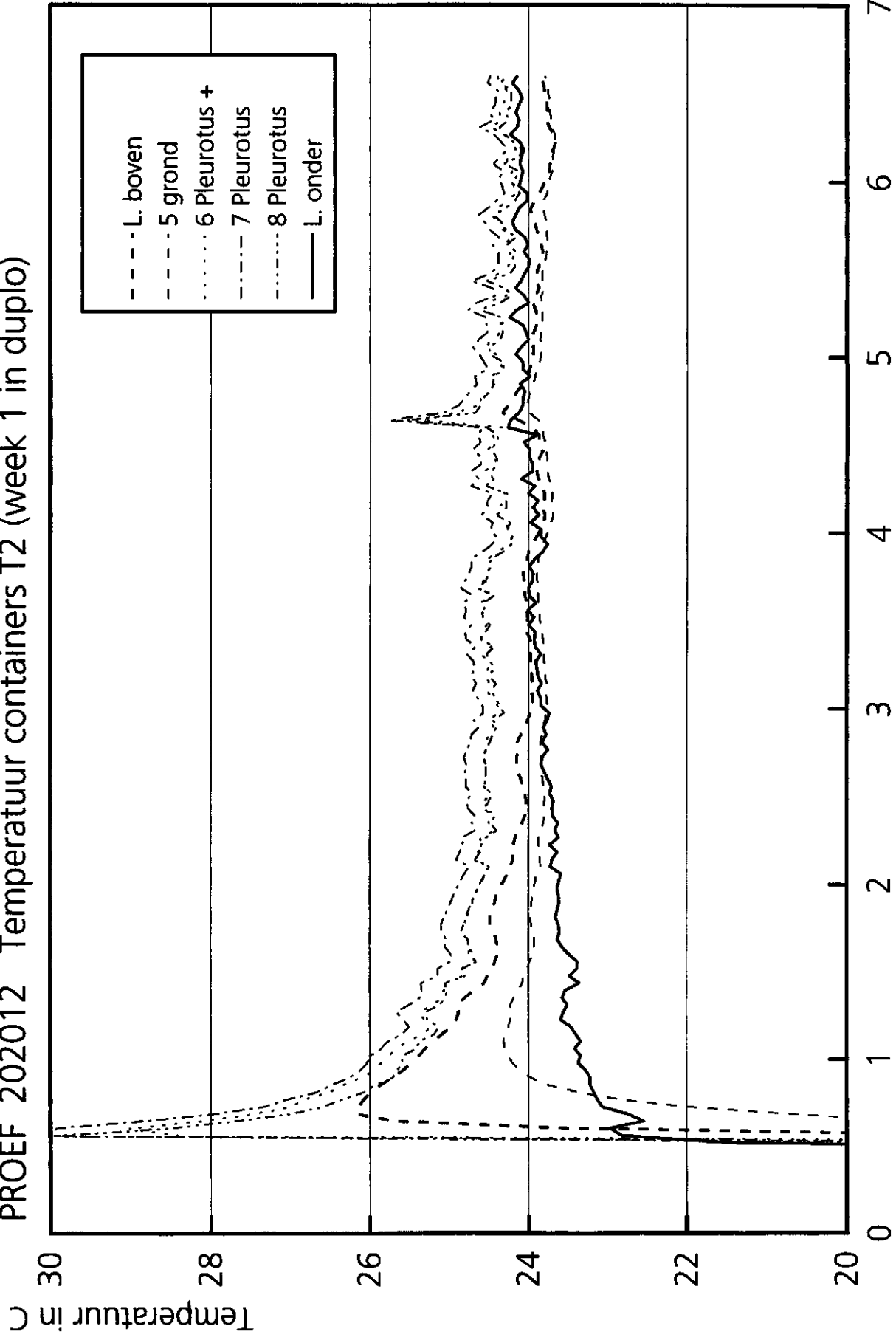


PROEF 202012 Temperatuur containers T2 (week 2 in duplo)



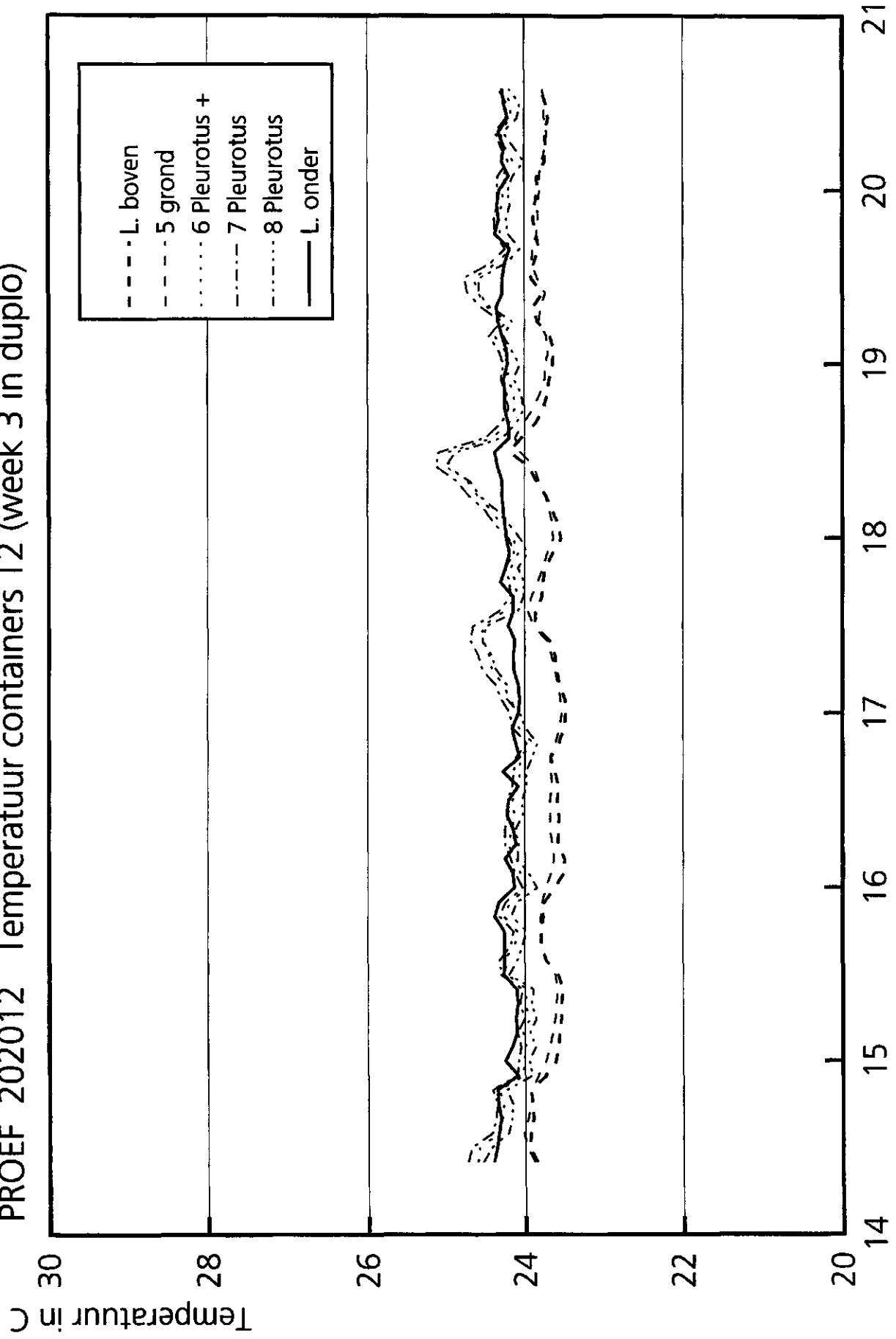
Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202012 Temperatuur containers T2 (week 1 in duplo)



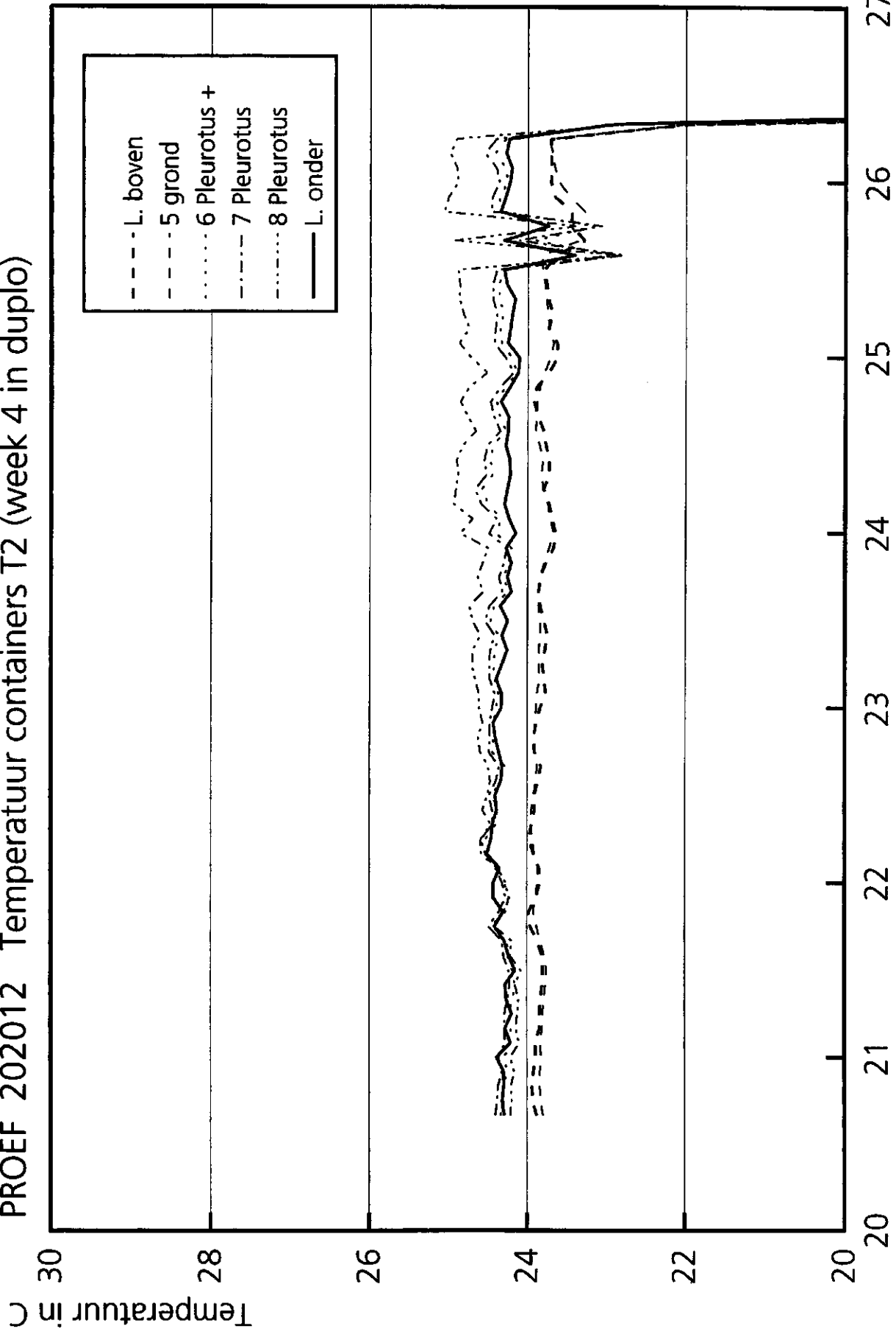
Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202012 Temperatuur containers T2 (week 3 in duplo)



Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

PROEF 202012 Temperatuur containers T2 (week 4 in duplo)



Tijd in dagen (dag 0 = 19.09.96)

**Aanhangsel 4 Resultaten van de metingen voor en na transport
en mengen met de hamermolen van de PH-specie**

monster	PH-specie voor vervoer				PH-specie na vervoer				PH-specie na mengen met hamermolen						
	PH 2	PH 4	PH 5	PH 8	PH 10	HPH 3	HPH 4	HPH 6	HPH 10	HPH 11	PH 2	PH 8	PH 9	PH 10	PH 11
droge stof	67.3	75.1	73.0	78.8	74.1	80.6	81.7	78.8	79.0	78.8	81.4	80.4	81.1	80.5	79.5
o.s.	6.30	7.62	7.26	6.20	2.24	6.98	5.61	6.08	6.26	6.26	5.82	6.37	6.15	6.12	6.53
o.s. na extractie						4.17	4.20	4.17	4.20	3.90	4.44	4.21	4.15	4.41	4.65
olie	3738	2972	3099	2793	3404	31	2539	3227	2720	3043	2526	2829	2983	3027	2958
fluoreen	1.39	1.19	1.42	1.66	1.48	0.78	0.78	1.03	0.97	1.03	1.00	0.90	1.14	1.08	1.10
fenantreen	3.45	2.77	4.27	4.34	4.06	2.74	3.04	3.47	3.56	3.75	3.48	3.01	4.28	4.23	3.55
antracene	2.59	1.42	1.83	2.93	1.92	1.35	1.33	2.44	1.95	1.90	1.98	2.12	1.85	1.76	1.82
fluoranteen	6.20	6.14	6.42	6.05	4.53	3.50	2.89	5.14	5.31	4.22	3.20	4.98	4.55	2.84	3.32
pyreen	3.16	2.98	3.43	3.45	3.47	2.86	2.70	3.94	4.49	3.93	3.06	4.18	3.93	3.13	3.08
benzoflurantheen	2.85	3.08	3.98	0.66	2.86	1.61	1.81	2.29	3.26	2.69	2.12	2.59	2.68	2.09	1.70
chryseen	4.88	5.36	6.55	6.13	5.07	2.68	3.00	3.64	4.64	4.17	3.56	4.02	4.10	3.64	3.07
benzofluoranteen	3.82	3.95	4.98	3.68	3.89	2.99	2.40	3.00	3.53	3.38	2.76	3.21	3.37	2.92	2.53
benzofluoranteen	1.83	1.84	2.24	1.80	1.75	1.02	1.06	1.38	1.69	1.57	1.24	1.44	1.48	1.28	1.08
benzoflapyreen	5.09	5.54	6.53	4.87	5.08	2.98	2.89	3.67	4.32	3.92	3.33	3.73	4.14	3.67	3.09
dibenzofluoranteen	0.90	1.00	1.18	0.84	0.87	0.53	0.51	0.61	0.68	0.65	0.55	0.59	0.62	0.55	0.49
benzofluoranteen	5.60	5.78	6.23	4.80	5.48	3.03	2.81	3.28	3.64	3.49	3.17	3.29	3.59	3.55	3.16
indeno[1,2,3-cd]pyreen	5.99	6.10	6.72	5.08	5.50	3.69	3.45	4.05	4.58	4.40	3.90	4.10	4.36	4.06	3.69
som 9 Staring	32.1	31.3	38.1	32.1	30.6	19.1	19.3	26.1	29.2	26.6	22.7	26.0	27.6	23.5	21.2

monster	na vervoer		%fout		na vervoer		na mengen	
	voor venv.	na vervoer	voor venv.	na vervoer	voor venv.	na vervoer	na mengen	
droge stof	79.7	79.8	80.6	5.7	1.6	0.9		
o.s.	5.92	6.12	6.20	36.3	5.0	4.4		
o.s. na extractie		4.13	4.37		3.1	4.6		
olie	3201	2912	2865	11.7	56.4	7.1		
fluoreen	1.43	0.92	1.04	11.8	14.0	9.0		
fenantreen	3.78	3.31	3.71	17.6	12.4	14.5		
antracene	2.13	1.79	1.90	26.8	25.8	7.6		
fluoranteen	5.87	4.21	3.78	13.0	24.7	24.6		
pyreen	3.30	3.58	3.48	6.6	21.5	15.4		
benzofluoranteen	2.67	2.33	2.24	44.9	28.6	18.0		
chryseen	5.60	3.63	3.68	12.7	22.4	11.2		
benzofluoranteen	4.06	2.94	2.96	12.9	18.1	11.4		
benzofluoranteen	1.89	1.35	1.31	10.3	22.1	12.4		
benzoflapyreen	5.42	3.58	3.59	12.3	16.3	11.3		
dibenzofluoranteen	0.96	0.60	0.56	14.5	12.4	8.4		
benzofluoranteen	5.57	3.26	3.35	9.3	10.3	6.2		
indeno[1,2,3-cd]pyreen	5.88	4.03	4.02	10.6	11.7	6.2		
som 9 Staring	32.8	24.1	24.2	9.2	19.2	10.6		

Aanhangsel 5 Resultaten van de gehalten aan PAK en minerale olie in volledig met schimmel doorgroeide kluiten

Aanhangsel 6 Berekeningen drogestof- en asgehalten in het tunnelproces

Proef 20201 Berekeningen tunnelproces

% droge stof % org. stof
 80.6 6.2
 34.1 61.2
 25.4 85.5

Samenstelling grondstoffen PH-specie
 Champost 34.1
 Pleurotus 25.4

	1		2		3		4		5		6		7		8	
	PH-specie	PH-specie	Champ+PH gestoomd	Champ+PH niet gestoomd	PH-specie	PH-specie	PH-specie	PH-specie	Pleur+PH gestoomd	Pleur+PH niet gestoomd	Pleur+PH gestoomd	Pleur+PH niet gestoomd	Pleur+PH gestoomd	Pleur+PH niet gestoomd	Pleur+PH gestoomd	Pleur+PH niet gestoomd
	T0	T24	T0	T24	T0	T24	T0	T24	T0	T24	T0	T24	T0	T24	T0	T24
Afgewogen hoeveelheden (kg)	Afgewogen hoeveelheden (kg)															
PH kg	314	300	296	296	285	285	285	285	301	305	301	305	305	305	305	305
Champ kg		112	116	122					76	75	76	75	75	75	75	75
Totaal kg	314	412	412	429	285	285	285	285	377	380	377	380	380	380	380	387
Vulgewichten per container	Vulgewichten per container															
Totaal kg	296	395	395	407	289	285	285	285	365	365	365	365	365	365	365	373
PH kg	296	288	284	291	289	289	289	289	291	293	291	293	293	293	294	294
Champ kg		107	111	116					74	72	74	72	72	72	79	79
DS%	80.6	68.0	67.5	67.4	80.6	80.6	80.6	80.6	69.5	69.7	69.5	69.7	69.7	69.7	68.9	68.9
Hoeveelheid DS, Org.stof en As in de PH specie (per container)	Hoeveelheid DS, Org.stof en As in de PH specie (per container)															
DS kg	238.6	231.8	228.7	234.8	232.9	232.9	232.9	232.9	234.9	236.1	234.9	236.1	236.1	236.1	236.9	236.9
Org.st. kg	14.8	14.4	14.2	14.6	14.4	14.4	14.4	14.4	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.7	14.7
As kg	223.8	217.4	214.6	220.2	218.5	218.5	218.5	218.5	220.3	221.5	220.3	221.5	221.5	221.5	222.2	222.2
Hoeveelheid DS, Org. stof en As in de Champost (per container)	Hoeveelheid DS, Org. stof en As in de Champost (per container)															
DS kg		36.6	37.9	39.5					18.7	18.3	18.7	18.3	18.3	18.3	20.1	20.1
Org.st. kg		22.4	23.2	24.2					16.0	15.6	16.0	15.6	15.6	15.6	17.2	17.2
As kg		14.2	14.7	15.3					2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9
Hoeveelheid DS, Org. stof en As in het mengsel (per container)	Hoeveelheid DS, Org. stof en As in het mengsel (per container)															
DS kg	238.6	268.4	266.7	274.2	232.9	232.9	232.9	232.9	253.6	254.4	253.6	254.4	254.4	254.4	257.0	257.0
Org.st. kg	14.8	36.8	37.4	38.7	14.4	14.4	14.4	14.4	30.5	30.3	30.5	30.3	30.3	30.3	31.9	31.9
As kg	223.8	231.7	229.3	235.5	218.5	218.5	218.5	218.5	223.0	224.1	223.0	224.1	224.1	224.1	225.2	225.2
Org.st. %	6.2	13.7	14.0	14.1	6.2	6.2	6.2	6.2	12.0	11.9	12.0	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4
%Champ	0.0	13.6	14.2	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	7.2	7.4	7.2	7.2	7.2	7.8	7.8