



Effect van leeftijd op de groeibevorderende eigenschappen van PVC-U en PE in contact met drinkwater

BTO 2013.037
JULI 2013

Effect van leeftijd op de groeibevorderende eigenschappen van PVC-U en PE in contact met drinkwater

BTO 2013.037
JULI 2013

© 2013 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave 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 enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Effect van leeftijd op de groeibevorderende eigenschappen van PVC-U en PE in contact met drinkwater

Opdrachtnummer

B111722

Rapportnummer

BTO 2013.037

Onderzoeksprogramma

Onderzoeksprogramma

Projectmanager

Niels Dammers

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger(s)

Paul van der Wielen

Auteur(s)

Ludmila A. Bereschenko

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Voorwoord

Het voorliggend rapport beschrijft de resultaten van het BTO-project '*Versterking van bacteriegroei door leidingen van kunststof*' dat door de Nederlandse waterleidingbedrijven aan KWR Watercycle Research Institute (KWR) is opgedragen en in 2012 - 2013 door de Microbiologische Waterkwaliteit & Gezondheid (MWG) kennisgroep is uitgevoerd. Het onderzoek was erop gericht vast te stellen of en in welke mate veroudering van kunststofleidingmateriaal (PVC-U en PE) invloed heeft op groeibevorderende eigenschappen van het materiaal.

In het kader van dit project zijn meerdere segmenten van kunststofleidingmateriaal uit het drinkwaterdistributiesysteem genomen. Met dank aan Geo Bakker (Vitens N.V.) en Marco Dignum (Waternet) voor het organiseren en coördineren van deze werkzaamheden. Zonder de inzet van alle betrokkenen van deze twee bedrijven had dit onderzoek niet tot stand kunnen komen.

De doelstellingen van het onderzoek zijn mede gerealiseerd dankzij de inspanning en professionele hulp van de collega's van KWR Watercycle Research Institute. Paul van der Wielen (MWG) wil ik bedanken voor het advies en de discussie rondom opzet, uitvoering en evaluatie van de verkregen resultaten uit het onderzoek; Edwin Kardinaal (MWG) en Meindert de Graaf (LMB) voor de hulp bij het verzamelen van de leidingsegmenten; Ronald Italiaander en Anke Brouwer-Hanzens (LMB) voor het coördineren en Anita van der Veen-Lugtenberg en Kimberly Learbuch (LMB) voor het uitvoeren van de microbiologische analyses. Dank is ook verschuldigd aan Niels Dammers en Edwin Kardinaal (MWG) voor het projectmanagement, Harry van Wegen (DWB) voor de hulp bij monsterbewerkingen en Nanda Berg (LMC), George Mesman (WIS) en Dick van der Kooi voor de praktische adviezen m.b.t. het schoonmaken van de verzamelde leidingstukken t.b.v. BPP-metingen.

Samenvatting

Bij distributie van drinkwater is het van belang dat de juiste materiaalkeuze voor leidingsystemen (buizen en fittingen) wordt gemaakt. Op dit moment bestaat meer dan de helft van het drinkwaternet (transport en distributie) in Nederland uit hard polyvinylchloride (PVC-U). Dit materiaal is vrijwel niet groeibevorderend. Daarnaast worden steeds vaker diverse typen polyetheen (PE) toegepast, met name voor dienstleidingen en aansluitingen naar de woning. Dit type leidingen kunnen onder bepaalde omstandigheden de groei van micro-organismen (aanzienlijk) versterken. Geïnduceerde groei van de micro-organismen aan het buiswandoppervlak kan uiteindelijk leiden tot kwaliteitsvermindering van het geleverde drinkwater. Beoordeling van de microbiologische groeipotentie van leidingmaterialen dient daarom deel uit te maken van de procedure voor de selectie van leidingmaterialen.

In BTO-verband en met subsidie door VROM, is een methode ontwikkeld om de microbiologische groeipotentie van leidingmaterialen te bepalen, namelijk de Biomassaproductiepotentie (BPP)-test. Deze test is door VROM geaccepteerd als standaardmethode en de beoordelingscriteria voor leidingmateriaal zijn inmiddels in ontwikkeling. De beoordeling van materialen op basis van de BPP-waarde is gebaseerd op het resultaat in een test met nieuwe materialen die 16 weken duurt. In de praktijk bedraagt de levensduur van leidingmaterialen echter meerdere decennia en worden reeds lange tijd PVC-U- en ook PE-leidingen in het Nederlandse drinkwaterdistributiesysteem gebruikt. Onduidelijk is in welke mate de groeipotentie van deze materialen verandert in de tijd. Het is mogelijk dat de groeipotentie vermindert door afnemende afgifte van afbreekbare stoffen. Het kan ook zijn dat de groeipotentie op den duur toeneemt door veroudering/aantasting van de materialen waardoor meer groeibevorderende stoffen voorkomen.

Het doel van dit onderzoek was het vaststellen in welke mate de leeftijd van PVC-U- en PE-leidingen in het drinkwaterdistributiesysteem de groeibevorderende eigenschappen van het betreffend materiaal beïnvloedt. Voor de studie zijn in overleg met Waternet en Vitens locaties in het drinkwaterdistributiesysteem geselecteerd waar waterleidingen van PVC-U- en PE-materiaal met een leeftijd van 1 tot 45 jaar aanwezig waren. Vervolgens zijn representatieve leidingstukken en het bijhorend water bemonsterd en actieve biomassaconcentratie van de verzamelde monsters gemeten en microscopisch onderzocht. Ten slotte werd het verzameld leidingmateriaal onderzocht door middel van de BPP-test.

Op basis van de in totaal 21 leidingsegmenten uit geselecteerde praktijksituaties (materiaaltype, leeftijd, watertype), is vastgesteld dat: (i) veroudering van PVC-U- en PE-materialen in het distributiesysteem leidt niet tot meer of minder afgifte van groeibevorderende stoffen en de groeibevorderende eigenschappen blijven dus ook tot minstens 45 jaar hetzelfde; (ii) PE zowel in de BPP-test als in de praktijksituatie meer groeibevorderende stoffen afgeeft aan het drinkwatermilieu dan PVC-U, wat leidt tot verhoogde biofilmconcentratie op de buisoppervlakte; (iii) de uitkomsten van de

statische BPP-test goed te vertalen zijn naar de dynamische condities van het drinkwaterdistributiesysteem. Daarnaast is gebleken dat de bepaling van het totaal aantal cellen m.b.v. microscopie onbetrouwbare gegevens opleverde. Op grond van de verkregen inzichten werd dan ook aanbevolen om de microscopische evaluatie van de biomassa in biofilms en watermonsters tot de kwalitatieve analyse te beperken. Om de mate van nagroei in het distributiesysteem te beperken werd aanbevolen om PVC-U in plaats van PE als leidingmateriaal toe te passen. Gebruik van de BPP-test is effectief om de mate van biofilmvorming op het materiaal in het drinkwaterdistributiesysteem te voorspellen.

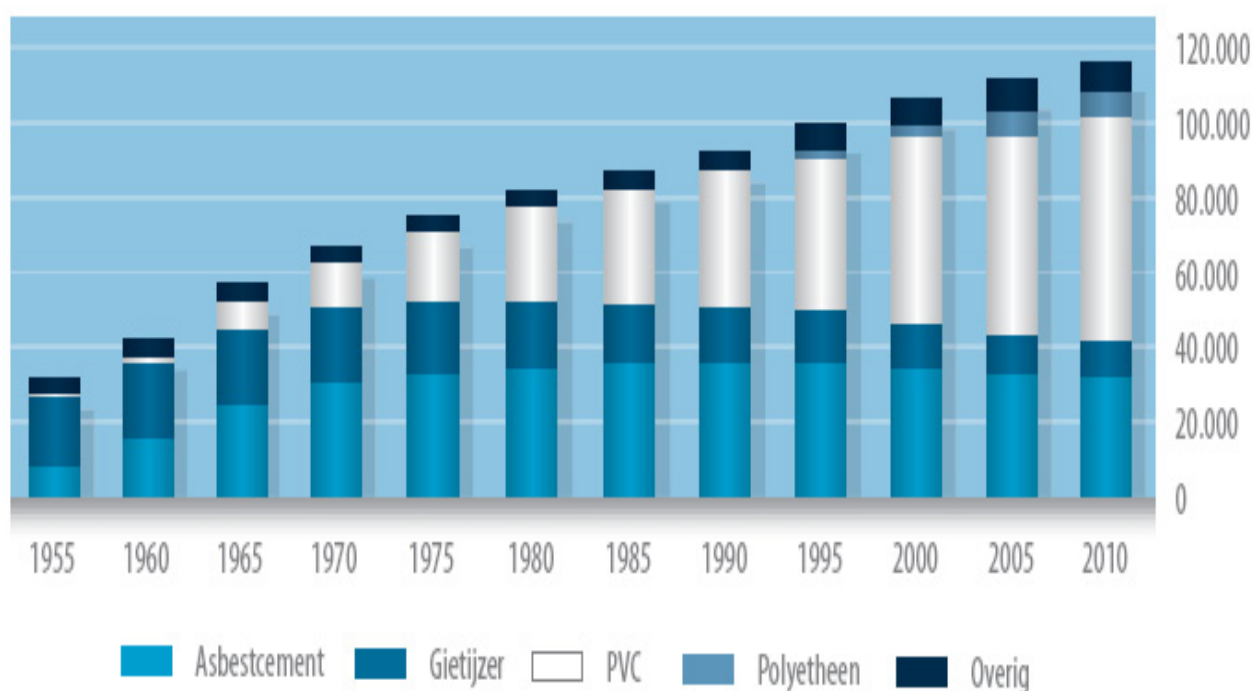
Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond van het project	7
1.2	Probleemstelling	9
1.2	Onderzoeksdoel	9
2	Materialen en Methoden	11
2.1	Monsterverzameling	11
2.2	Directe analyses op de verzamelde monsters	15
2.3	Biomassaproductiepotentie (BPP)-test	15
3	Resultaten en Discussie	17
3.1	Microscopische evaluatie	17
3.2	Concentratie actieve biomassa in de verzamelde monsters	19
3.3	BPP-test	22
4	Conclusies	25
5	Aanbevelingen	27
6	Referenties	29
7	Bijlagen	31
7.1	Biomassa groei in de BPP-test (Amersfoortseweg)	33
7.2	Biomassa groei in de BPP-test (Weesperkarspel en Leiduin)	39
7.3	Monstercodes	45

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van het project

Technologische vooruitgang in de afgelopen tientallen jaren heeft geleid tot een toename in toepassing van synthetische polymeren in verschillende aspecten van het menselijk leven. Deze materialen worden ook steeds vaker gebruikt in drinkwaterdistributiesystemen (Fig. 1). Op dit moment bestaat meer dan de helft van het drinkwaternet (transport en distributie) in Nederland uit hard polyvinylchloride (PVC-U) (Drinkwaterstatistieken 2012, VEWIN). Daarnaast worden steeds vaker diverse typen polyetheen (PE) toegepast, met name voor dienstleidingen en aansluitingen naar de woning. In transport en distributieleidingen wordt 'gewoon PE' (PE-40, PE-80 en/of PE-100) en in binneninstallaties 'cross-linked PE' (PEX-A, PEX-B en/of PEX-C) gebruikt.



Figuur 1. Ontwikkeling drinkwaternet 1955 - 2010 in kilometers (geadopteerd van "Drinkwaterstatistieken 2012", VEWIN).

Deze populariteit heeft kunststofleidingmateriaal te danken aan de aantrekkelijke verhouding tussen prijs, kwaliteit en functionaliteit. Bij de productie van PVC-U worden polymeren van het monomeer vinylchloride, smeermiddelen, weekmakers, kleurpigmenten, vulstoffen en metaalstabilisatoren gebruikt. Voor PE-waterleidingen vervaardigd uit gepolymeriseerd etheen worden roet, stabilisatoren en antioxidanten gebruikt (Saldivar-Guerra en Vivaldo-Lima, 2013). Door de additieven krijgen

kunststofleidingen verbeterde eigenschappen, o.a. een lange technische levensduur. Normaliter bedraagt de levensduur van kunststofleidingen meer dan 100 jaar. Zo heeft een jarenlang onderzoek van TNO Industrie (2002), in samenwerking met KIWA als vertegenwoordiger van de waterbedrijven, aangetoond dat drinkwaterleidingen van PVC-U, die reeds 50 jaar in gebruik waren, een restlevensduur van 50 jaar konden hebben (Stuurgroep PVC & Ketenbeheer, 2005). Bij de toepassing onder de juiste condities en zonder te hoge mechanische belasting van buitenaf, stijgt deze (rest)duurzaamheidverwachting naar 100 jaar en meer.

Hoewel goede mechanische eigenschappen van fundamenteel belang zijn, geven additieven in kunststofleidingmaterialen ook aanleiding tot discussie. Bij toepassing in drinkwatersystemen is het risico aanwezig dat organische en/of anorganische additieven door migratie in het drinkwater terecht komen. Deze migratie vindt plaats door diffusie van de chemicaliën vanuit het kunststofleidingmateriaal naar het water (Brocca et al., 2002). Uit eerder uitgevoerd BTO-onderzoek blijkt dat de mate van nagroei van micro-organismen in drinkwater die optreedt tijdens transport, opslag en/of distributie zonder desinfectiemiddel grotendeels afhankelijk is van de beschikbaarheid van biologisch afbreekbare verbindingen. Dergelijke verbindingen kunnen aanwezig zijn (in opgeloste vorm en/of als onderdeel van biomassa) in het water 'af pompstation' en/of afgegeven worden aan het gedistribueerde water door leidingmaterialen (Van der Kooij et al., 1995). Geïnduceerde groei van de micro-organismen aan het buiswandoppervlak kan uiteindelijk leiden tot kwaliteitsvermindering van het geleverde drinkwater. Deze kwaliteitsvermindering kan bijvoorbeeld plaatsvinden door de groei van ongewenste organismen zoals opportunistische pathogenen (bv *Legionella pneumophila*, non-tuberculeuze mycobacteriën, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus fumigatus*), dierlijke organismen die kunnen worden waargenomen met het blote oog of bacteriën die volgens het wettelijk meetprogramma moeten worden bepaald als indicatie voor nagroei (koloniegetal bij 22°C en *Aeromonas*). Beoordeling van de microbiologische groeipotentie van leidingmaterialen dient daarom deel uit te maken van de procedure voor de selectie van leidingmaterialen.

In BTO-verband en met subsidie van VROM, is de biomassaproductiepotentie (BPP)-test ontwikkeld om de microbiologische groeipotentie van leidingmaterialen kwantitatief te bepalen (Van der Kooij et al., 2001). Deze test is door VROM geaccepteerd als standaardmethode (VROM, 2001) en beoordelingscriteria voor materialen die in contact komen met drinkwater worden op korte termijn opgenomen in de Nederlandse wetgeving. Voor de meeste leidingmaterialen die op dit moment in distributiesystemen in Nederland worden gebruikt zijn BPP-waarden beschikbaar, die als leidraad kunnen dienen voor waterbedrijven bij de keuze van materialen in het drinkwaterdistributiesysteem.

1.2 Probleemstelling

De beoordeling van materialen met behulp van de BPP-test is gebaseerd op het testen van nieuwe materialen die 16 weken duurt. In de praktijk bedraagt de levensduur van leidingmaterialen echter meerdere decennia. Onduidelijk is in welke mate de groeipotentie van deze materialen verandert in de tijd. Het is mogelijk dat de groeipotentie vermindert door afnemende afgifte van groeibevorderende stoffen. Het is ook mogelijk dat de groeipotentie in de tijd toeneemt door veroudering/aantasting van de materialen waardoor meer groeibevorderende stoffen vrijkomen. Meer informatie hierover is wenselijk, zodat de drinkwaterbedrijven een betere afweging kunnen maken bij de vraag of PVC-U of PE als materiaal kan worden toegepast in het distributiesysteem. Daarnaast wordt de vraag beantwoord of materialen die de afgelopen decennia zijn toegepast de kwaliteit van het drinkwater aantasten.

1.3 Onderzoeksdoel

Het doel van dit onderzoek was het vaststellen in welke mate de leeftijd van PVC-U- en PE-leidingen in het drinkwaterdistributiesysteem de groeibevorderende eigenschappen van het betreffend materiaal beïnvloedt.

2 Materialen en methoden

2.1 Monsterverzameling

Selectie van leidingmateriaal

Voor de studie zijn twee typen kunststof leidingmaterialen geselecteerd: PVC-U en PE. Deze keuze is gebaseerd op het feit dat de PVC-U-leidingen volgens de “Drinkwaterstatistieken 2012” (VEWIN, 2012) representatief zijn voor wat er op dit moment in Nederland in drinkwaternet wordt toegepast en op het feit dat PE het tweede veelvuldig toegepaste kunststofleidingmateriaal in Nederland lijkt te worden.

Selectie van watertype

Voor de bemonstering zijn twee typen water geselecteerd: (i) drinkwater geproduceerd met oppervlaktewater bij pb Weesperkarspel en pb Leiduin (in beheer bij Waternet) en (ii) drinkwater geproduceerd met grondwater bij pb Amersfoortseweg (in beheer bij Vitens). Deze twee watertypen verschillen in mate van nagroei in het distributiesysteem (Weesperkarspel en Leiduin: relatief veel nagroei, Amersfoortseweg: relatief weinig nagroei).

Selectie van monsternamelocaties

In overleg met Waternet en Vitens zijn plaatsen in het distributiesysteem van beoogde productielocaties geselecteerd waar waterleidingen van PVC-U- en PE-materiaal met een leeftijd van 1 tot 45 jaar aanwezig waren. Het doel was om leidingen van verschillende leeftijd en van verschillend materiaal te vergelijken. Hierbij zijn leidingen van gelijke afmeting (diameter) en uit hetzelfde voorzieningsgebied, maar van verschillende locaties (replica's) verzameld, zodat watertype en bron gelijk waren. De keuze van locaties, leeftijd en diameter van te onderzoeken leidingen is uiteindelijk bepaald door de beschikbaarheid (Fig. 2 en Tab. 1).



Figuur 2. Monsternamelocaties (aangeduid met ballon “A” en gespecificeerd in Tab. 1) in het voorzieningsgebied van pb Amersfoort (links) en pb Weesperkarspel en pb Leiduin (rechts).

Monstercodes

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van monstercodes voor de aanduiding van de onderzochte leidingsegmenten en het bijbehorende water. Deze monstercode is als volgt samengesteld: M121702 (75PVC-U_1_A) betekent dat het monster onder code M121702 bij het LMB is geanalyseerd; dat het een PVC-U-leidingstuk betreft met de uitwendige diameter van 75 mm en dat dit leidingsegment afkomstig is uit een PVC-U-drinkwaterleiding die in 2011 in het distributiesysteem van pb Amersfoortseweg (A) is gelegd. Voor de monsters uit het distributiesysteem van pb Weesperkarspel en pb Leiduin zijn (W) en (L) als de eind-aanduiding in de codering gebruikt. De lijst met monstercodes voor de overige verzamelde monsters is te vinden in Bijlage 7.3.

Leidingstukken

De bemonstering van de kunststofleidingen is gestart in april en afgerond in september 2012. Gedurende maanden juni en juli is de bemonstering in het distributiesysteem van pb Amersfoortseweg uitgevoerd. De bemonstering in het distributiesysteem van pb Weesperkarspel en pb Leiduin vond plaats van april t/m september. Tabel 1 geeft een beknopt overzicht van de monsterlocatie en de type, leeftijd en diameter van de verkregen testmaterialen weer.

Tabel 1. Overzicht van de onderzochte kunststofleidingen, opgegraven in 2012 in het voorzieningsgebied van pb Amersfoortseweg (nr. 1 t/m 11), pb Weesperkarspel (nr. 12 t/m 19) en pb Leiduin (nr. 20 en 21). Waterleidingen van 1 jaar oud worden gebruikt als startpunt van de verouderingsreeks, omdat het vetlaagje op de nieuwe buizen dan is weggesleten.

Nr.	Datum	Plaats		Monster ¹	Leeftijd ²	D ³
1	13.06.2012	Appeldoorn	Orderparkweg 5	PVC-U	1	75
2	13.06.2012	Appeldoorn	Nijbroekseweg	PVC-U	1	160
3	20.06.2012	Appeldoorn	Regenteselaan 4	PVC-U	1	160
4	20.06.2012	Appeldoorn	Polkastraat	PVC-U	35	110
5	20.06.2012	Appeldoorn	Venkelstraat 87	PVC-U	41	75
6	27.06.2012	Appeldoorn	Gavottestraat	PVC-U	45	110
7	27.06.2012	Appeldoorn	Tannhauserstraat 26	PE100	3	50
8	27.06.2012	Appeldoorn	Koninginnenlaan 226	PE100	1	75
9	04.07.2012	Appeldoorn	Frambozenlaan 111	PE*	27	50
10	04.07.2012	Appeldoorn	Frambozenlaan 38	PE*	28	50
11	04.07.2012	Appeldoorn	Bloemheuvellaan 58C	PE*	28	50
12	25.04.2012	Amsterdam	J.H. Hisgenpad 17	PVC-U	44	315
13	27.06.2012	Amsterdam	Bezaanjachtplein 62	PVC-U	40	115
14	29.06.2012	Amsterdam	Bezaanjachtplein 2	PVC-U	2	250
15	17.07.2012	Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315
16	13.08.2012	Amsterdam	C. Kruyswijkstraat 8	PVC-U	2	315
17	13.08.2012	Amsterdam	C. Kruyswijkstraat 28	PVC-U	2	315
18	06.09.2012	Muiden	Dijkweg 2	PE80/SLA	2	125
19	05.09.2012	Amsterdam	Nieuwe gouw 35	PE*	19	125
20	17.07.2012	Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315
21	17.07.2012	Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315

¹ 30 cm lang leidingsegment; ² jaren onder grond; ³ uitwendige diameter (mm); * type polyetheen is niet bekend.

In totaal zijn er veertien PVC-U-drinkwaterleidingen, met de diensttijd in het veld van 1 (3x), 2 (3x), 5 (3x), 35 (1x), 40 (1x), 41 (1x), 44 (1x) en 45 (1x) jaar en zeven PE-drinkwaterleidingen, met de diensttijd in het veld van 1 (1x), 2 (1x), 3 (1x), 19 (1x), 27 (2x), en 28 (1x) jaar door de medewerkers van de waterbedrijven Vitens (Appeldoorn) en Waternet (Amsterdam) uitgegraven en door KWR-medewerkers als 30 cm lang leidingsegmenten voor het onderzoek bemonstert. De bemonsterde leidingen lagen in de zandbodems, op verschillende dieptes (1, 1,20 en 1,60 m). Volgens het geprinte opschrift op de bovenzijde van de meeste leidingen, zijn deze door Wavin (Vitens-monsters) en Dyka (Waternet-monsters) gefabriceerd en door Kiwa gecertificeerd. De wijze van bemonstering van de leidingsegmenten is digitaal gedocumenteerd en (gedeeltelijk) weergegeven in Figuren 3 en 7.



Figuur 3. Bemonstering van kunststofleidingen: via het opgraven en uitzagen van een 30 cm lang segment (locatie: Orderparkweg 5, Apeldoorn; monstercode: M121702 (75PVC-U_1_A)). Bij de bemonstering is ernaar gestreefd om contaminatie van buitenaf zoveel mogelijk te beperken.

Water

Tegelijk met de bemonstering van de leidingen zijn ook *in-situ* watermonsters genomen (ca. 1 L volumes), waarbij het water direct uit de afgebroken leidingen in een steriele monsterfles is opgevangen of bij de dichtstbijzijnde brandkraan vlak voor het afbreken van de leiding is bemonsterd (Fig 4). Bij deze bemonsteringen is ook de temperatuur van het water bepaald. Tabel 2 geeft beknopte informatie over de verkregen watermonsters.



Figuur 4. Verzameling van watermonsters: via de brandkraan (links, locatie Nijbroekseweg, Apeldoorn) en uit de afgebroken leiding (rechts, locatie Orderparkweg 5, Apeldoorn). Bij de bemonstering is er voor gewaakt dat de materialen niet met de handen werden aangeraakt om contaminatie van buitenaf te voorkomen.

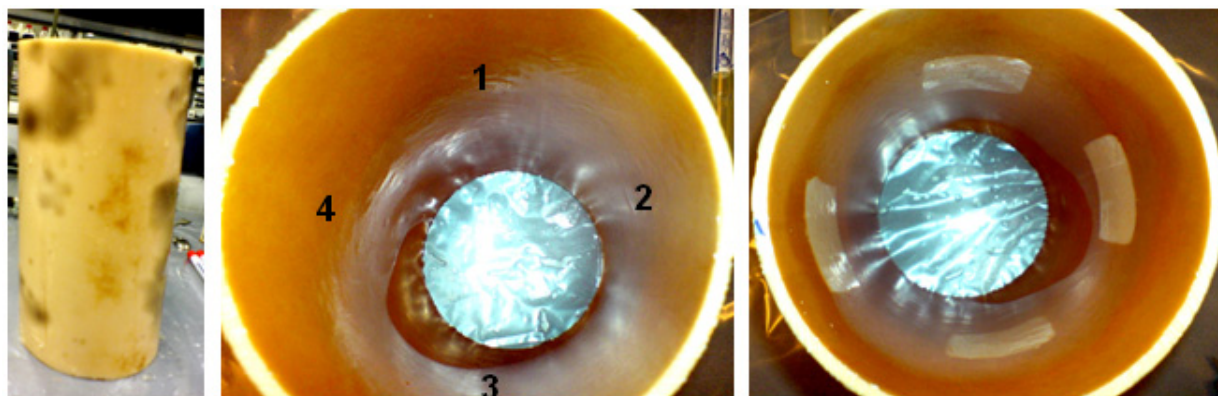
Tabel 2. Overzicht van de verzamelde watermonsters, afkomstig uit het distributiesysteem pb Amersfoortseweg (in de monstercode: A), pb Weesperkarspel (in de monstercode: W) en pb Leiduin (in de monstercode: L).

Monstercode	Verzameld ¹	Datum	Adres	T (°C)	Tijd ²
M121702 (75PVC-U_1_A)	direct uit leiding	13.06.2012	Orderparkweg 5	14.9	9:46
M121707 (160PVC-U_1_A)	150 m verder	13.06.2012	Nijbroekseweg	15.1	11:00
M121867 (160PVC-U_1_A)	50 m verder	20.06.2012	Regenteselaan 4	15.0	7:00
M121872 (110PVC-U_35_A)	50 m verder	20.06.2012	Polkastraat	15.1	7:45
M121877 (75PVC-U_41_A)	100 m verder	20.06.2012	Venkelstraat 87	15.3	9:00
M121950 (110PVC-U_45_A)	direct uit leiding	27.06.2012	Gavottestraat	16.4	10:25
M121940 (50PE_3_A)	direct uit leiding	27.06.2012	Tannhauserstraat 26	16.0	7:20
M121945 (75PE_1_A)	huis, bij de meter	27.06.2012	Koninginnenlaan 226	16.3	8:50
M122157 (50PE_27_A)	direct uit leiding	04.07.2012	Frambozenlaan 111	17.4	7:10
M122162 (50PE_28_A)	direct uit leiding	04.07.2012	Frambozenlaan 38	17.6	7:50
M122167 (50PE_28_A)	direct uit leiding	04.07.2012	Bloemheuvellaan 58C	17.5	8:27
M121092 (315PVC-U_44_W)	direct uit leiding	25.04.2012	J.H. Hisgenpad 17	13.4	10:00
M121955 (115PVC-U_40_W)	100 m verder	27.06.2012	Bezaanjachtplein 62	16.8	11:49
M122070 (250PVC-U_2_W)	100 m verder	29.06.2012	Bezaanjachtplein 2	17.0	10:00
M122611 (315PVC-U_2_W)	direct uit leiding	13.08.2012	C. Kruyswijkstraat 8	19.1	9:15
M122616 (213PVC-U_2_W)	direct uit leiding	13.08.2012	C. Kruyswijkstraat 28	19.3	9:35
M123042 (125PE/SLA_2_W)	huis, bij de meter	06.09.2012	Dijkweg 2	18.3	11:04
M123015 (125PE_19_W)	direct uit leiding	05.09.2012	Nieuwe gouw 35	18.1	10:15
M122345 (315PVC-U_5_L)	direct uit leiding	17.07.2012	Dortmuiden	18.3	8:00
M122346 (315PVC-U_5_L)	direct uit leiding	17.07.2012	Dortmuiden	18.7	8:30
M122347 (315PVC-U_5_L)	direct uit leiding	17.07.2012	Dortmuiden	18.6	9:15

¹ De locatie van de bemonstering, met "... m verder" wordt bedoeld de afstand tussen de plaats van de bijbehorende leidingsegmentbemonstering en een dichtstbijzijnde brandkraan; ² het tijdstip van de dag waarop de temperatuurmeting plaatsvond.

2.2 Directe analyses op de verzamelde monsters

Na monsternamen zijn leidingsegmenten en watermonsters direct op ijs geplaatst en naar KWR vervoerd. In het laboratorium werden de leidingsegmenten direct uitgepakt en de biofilm is op twee (in het geval van de uitwendige diameters van 50 en 75 mm) of vier (in het geval van de uitwendige diameters van 110 t/m 315 mm) representatieve locaties (Fig. 5) geswabt met behulp van een steriel wattenstaafje. De swabs met biofilmmonsters zijn in steriel leidingwater geplaatst en gebruikt voor de uitvoering van de ATP- en microscopieanalyses. Hierbij zijn alle werkzaamheden uitgevoerd conform het standaard voorschrift voor de betreffende methode (LMB-002 en -013). Het ATP-gehalte en het aantal cellen in de watermonsters zijn binnen 24 uur na aankomst bij het laboratorium bepaald met behulp van de LMB huisvoorschriften (LMB-002 en LMB-013).



Figuur 5. Bemonstering van de biofilm op de representatieve locaties (aangeduid met cijfers) op de binnenwand van het leidingsegment met een uitwendige diameter van 115 mm. De bemonsterde locaties zijn visueel zichtbaar als lichtgekleurde plekken (foto rechts). Het betreffende leidingsegment is een PVC-U leiding uit 1972, afkomstig van het distributiesysteem in het voorzieningsgebied van Waternet (locatie: Bezaanjachtplein 62, Amsterdam; monstercode: M121955 (115PVC-U_40_W)).

Na bemonstering van de representatieve biofilms is ieder segment zacht geborsteld, goed afgespoeld met leidingwater, gedroogd bij kamertemperatuur (ca. 18° C), ingepakt in een schone plastic zak en in het donker bij 18° C opgeslagen totdat de BPP-test is uitgevoerd.

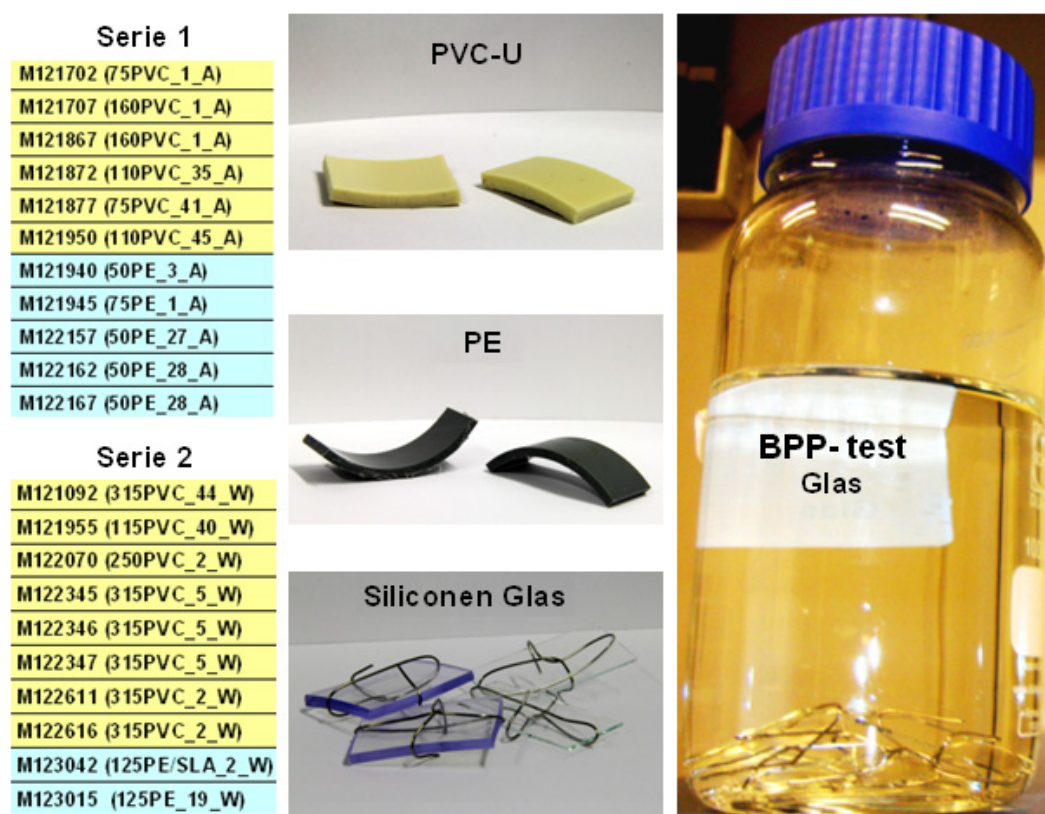
2.3 Biomassaproductiepotentie (BPP)-test

Het doel van deze onderzoeksfase was het bepalen van de BPP-waarden van het verzameld kunststofleidingmateriaal. Deze bepalingen zijn door LMB in periode van 15 mei t/m 15 september 2012 (serie 1: monsters uit voorzieningsgebied van Vitens) en van 15 september 2012 t/m 15 januari 2013 (serie 2: monsters uit voorzieningsgebied van Waternet) uitgevoerd conform het standaard voorschrift voor de BPP-test (LMB-

006_versie 3). De reinigingsstap van de testmaterialen is echter op een andere wijze uitgevoerd, dan in het voorschrift is beschreven. De reden hiervan was de aanwezigheid van biofilm (zoals in de fase 2.2 is bepaald) en anorganische aanslag op de binnenwand van de leidingsegmenten. Daarom werden de materialen op de volgende manier behandeld:

- 1) representatieve fragmenten (ca. 25 cm²) als testmonsters uit het te onderzoeken leidingmateriaal zagen;
- 2) het testmonster onderdompelen in 1% HCl-oplossing;
- 3) schoonswabben van het gehele oppervlak (voor- en achterzijde) van het testmonster met een steriel droog wattenstaafje;
- 4) indien het materiaal zichtbaar schoon is: overbrengen in Milli-Q water; is dit niet het geval, dan herhalen stap 2 en 3;
- 5) inzetten de BPP-test volgens protocol LMB-006_versie 3.

Figuur 6 laat de opzet van de test zien. Resultaten van de BPP-test zijn weergegeven in hoofdstuk 3 van dit rapport.



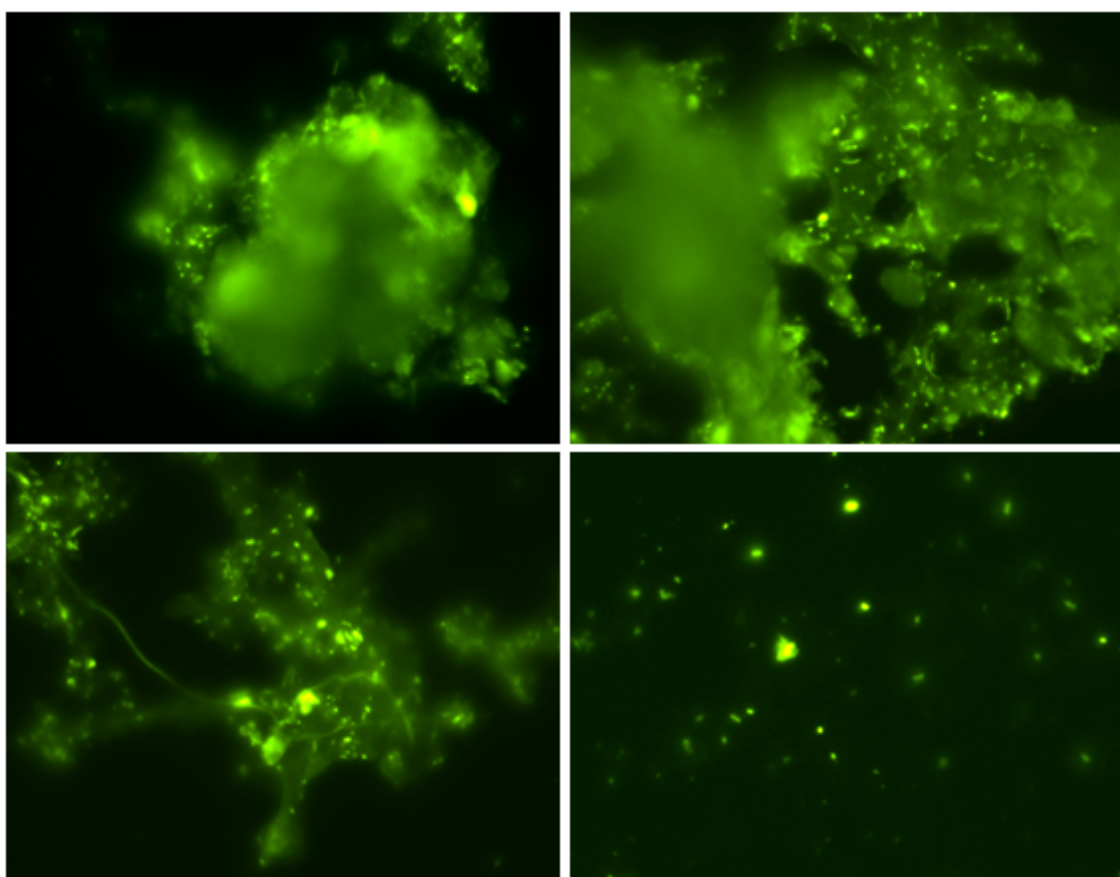
Figuur 6. BPP-test. Serie 1: testfragmenten van de PVC-U- en PE-leidingsegmenten uit distributiesysteem van pb Amersfoortseweg (in de monstercode: A). Serie 2: testfragmenten van de PVC-U- en PE-leidingsegmenten uit distributiesysteem van pb Weesperkarspel (in de monstercode: W). Het oppervlak van ieder testmonster in de flessen is ca. 35 ± 10 cm². Siliconenfragmenten zijn ingezet als positieve controle en glasfragmenten als negatieve controle. Per fles: 600 ml leidingwater (Tull en 't Waal, laboratorium KWR) en 6 fragmenten van ieder te testen materiaal. Incubatie: in het donker bij 25 ± 1 °C gedurende een periode van 16 weken.

3 Resultaten en discussie

3.1 Microscopische evaluatie

Microscopische evaluatie van de geprepareerde biofilm en watermonsters is uitgevoerd m.b.v. een epifluorescentiemicroscopie. Hierbij is gewerkt conform het LMB-standaard voorschrift (LMB-013). De representatieve resultaten zijn digitaal gedocumenteerd en (gedeeltelijk) weergegeven in Figuren 7 en 8. Tijdens deze evaluatie zijn er een aantal trends waargenomen.

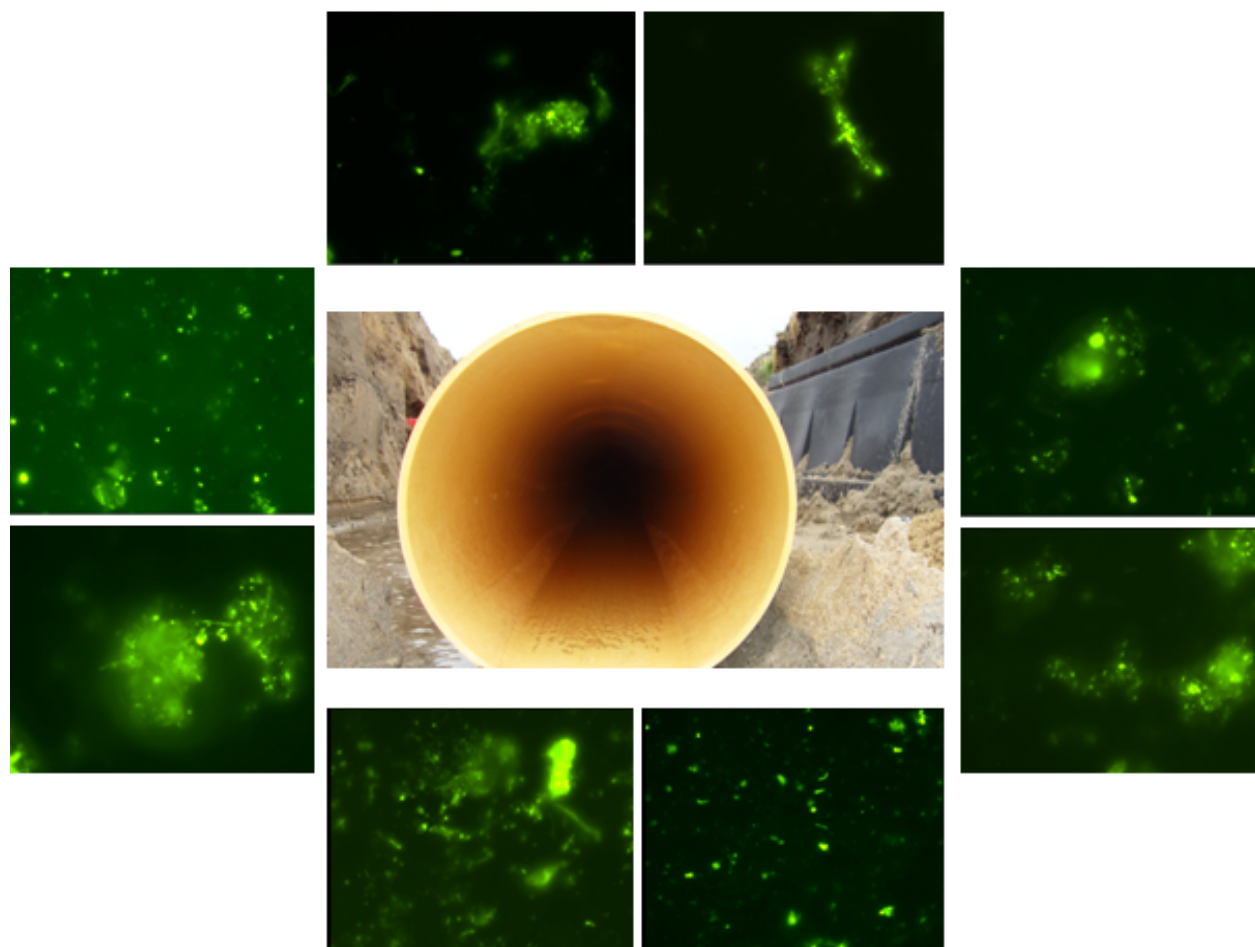
Ten eerste is gebleken dat de meeste watermonsters en alle biofilmmonsters veel vlokken of complexe celclusters in een EPS-achtige gelmatrix bevatten (Fig. 7 en 8). Deze vlokken waren in verschillende afmetingen en vormen waarneembaar. Hierdoor was het niet mogelijk om een nauwkeurige telling van de cellen in het preparaat uit te voeren. Biofilmmonsters en watermonsters zijn in verschillende verdunningen behandeld met ultrasonificatie (LES), maar dit heeft het probleem niet verholpen.



Figuur 7. Microscopische beelden van vlokken in watermonsters. Het betreffende water is bemonsterd uit een PVC-U leiding van het distributiesysteem in het voorzieningsgebied van Waternet (locatie: Bezaanjachtplein 62, Amsterdam; monstercode: M121955 (115PVC-

U_40_W)). De bacteriën zijn zichtbaar als groen fluorescerende cellen, meestal in combinatie met een EPS-achtige matrix.

Gebleken is ook dat op de zijkanten van de binnenwanden van de onderzochte PVC-U-materialen over het algemeen veel meer en dikkere vlokken en losse cellen waarneembaar waren dan op de boven- en onderzijde. In het geval dat de bovenzijde visueel meer vervuild was (Fig. 5), bleken de microscopische preparaten evenveel cellen en/of vlokken te bevatten. Dit was niet het geval bij de monsters met een duidelijk donkerder gekleurde streep op de bodem, zoals in de M121702 (75PVC-U_1_A) en M122350 (350PVC-U_5_W) leidingsegmenten. Beide vertoonden meer cellen en vlokken aan de onderzijde, zoals in Figuur 8.



Figuur 8. Concentratie van bacteriële cellen in biofilms. Midden: M122350 (350PVC-U_5_W), uitgenomen uit het distributiesysteem van pb. Weesperkarspel. Op de onderzijde van de leiding is een vuilstreep te zien die opmerkelijk donkerder gekleurd is dan de aanslag op de zijkanten en bovenzijde van de leiding. Microscopische beelden daaromheen (in duplo per locatie: boven-, beneden- en twee zijkanten) geven de biomassaconcentraties weer zoals waarneembaar onder de epifluorescentiemicroscop. Bacteriën zijn zichtbaar als groenfluorescerende cellen, meestal in combinatie met met EPS-achtige matrix.

(3) Verder bleken sommige cellen in de watermonsters opmerkelijk groter, zowel qua intensiteit van het fluorescentiesignaal als in afmeting dan de cellen in de bijbehorende biofilmmonsters. De meerderheid van de bacteriecellen in watermonsters was daarentegen over het algemeen veel kleiner dan de cellen in corresponderende biofilmmonsters.

(4) Vergeleken met PVC-U-biofilms, vertoonden de PE-biofilms in de regel hogere celdichtheden en hogere mate van EPS-achtige matrix. In het merendeel van de onderzochte PE-biofilmpreparaten waren bacteriën vooral in of in de buurt van het vlokkenmateriaal te zien.

Naar aanleiding van deze resultaten is bij deze onderzoeksstap besloten dat de bepaling van het totaal aantal cellen m.b.v. microscopie onbetrouwbare gegevens opleverde. Kwalitatieve microscopieanalyses, zoals gepresenteerd in dit hoofdstuk, zijn desondanks wel uitgevoerd voor een geselecteerd aantal monsters. Het nut van de kwalitatieve microscopische analyses valt te bediscussiëren, aangezien de evaluatie van de verkregen beelden tijdrovend is en geen betrouwbare kwantitatieve informatie bezorgt. Toch kunnen deze analyses op een redelijk snelle manier (binnen een uur nadat het monster aankomst in het lab) een indruk geven over het te onderzoeken materiaal en de problematiek daaromheen. Hierdoor kan een studie veel gerichter toegepast worden om een feit vast te leggen naar aanleiding van de verkregen resultaten met de kwalitatieve microscopieanalyses.

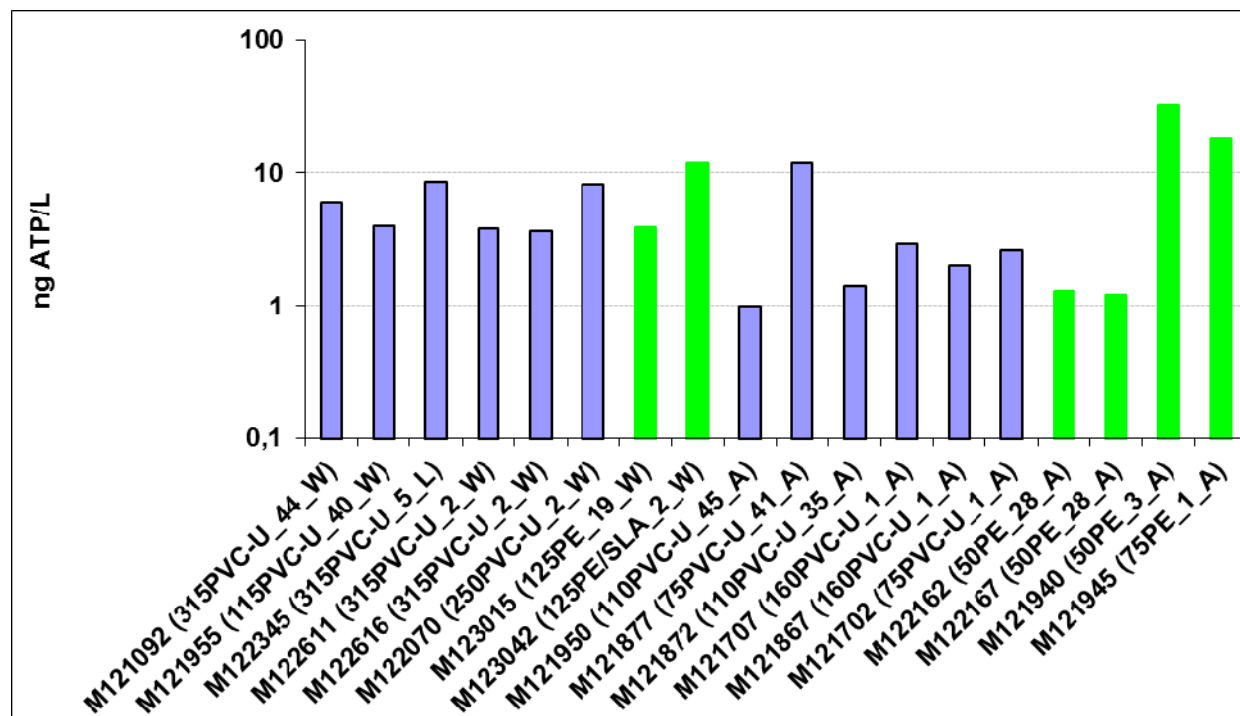
3.2 Concentratie actieve biomassa in de verzamelde monsters

De concentratie van actieve biomassa in het water en op de materialen is gemeten met behulp van de analyse van adenosinetrifosfaat (ATP). De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in Figuur 9 en Tabel 3.

Watermonsters

Het ATP-gehalte van het water in de jongere PE-leidingen op het moment van uitname uit het distributiesysteem van pb Amersfoortseweg was op twee plaatsen aanzienlijk hoger (M121945: 18 ng/L en M121940: 33 ng/L) dan het ATP-gehalte van het drinkwater in de oudere PE-leidingen (M122162 en M122167: ca. 1,3 ng/L). Het ATP-gehalte van het water in de 19 jaar oud M123015 (125PE_19_W) uit het distributiesysteem van pb Weesperkarspel was ook relatief laag (3,9 ng/L). In dit distributiesysteem is echter geen water uit PE-leidingen met een lage leeftijd getest. Ook bleek het ATP-gehalte van het water in de 1 jaar oude (M121867, M121702 en M121707) PVC-U-leidingen uit het distributiesysteem van pb Amersfoortseweg over het algemeen wat hoger (2 tot 2,9 ng/L) te liggen dan in de oudere (M121872 en M121950) PVC-U-leidingen (ca. 1,3 ng/L). Een uitzondering in deze trend in dit distributiesysteem vertoonde het water in de 41 jaar oud PVC-U-leiding (M121877: 12 ng ATP/L). In de watermonsters van het distributiesysteem pb Weesperkarspel was het verschil tussen de jongere (2 en 5 jaar oud) en oudere (40 jaar oud) PVC-U-leidingen aanzienlijk kleiner. Over het algemeen varieerde het ATP-gehalte van de

jongere (M122611, M122616, M122070 en M122345) leidingen tussen 3,6 en 8,5 ng/L en was het ATP-gehalte van de oudere (M121092 en M121955) leidingen 4 en 6 ng/L. Op basis van de bovenstaande resultaten is geconcludeerd dat er geen duidelijke trend zichtbaar is ten aanzien van ATP-gehalte in het water.



Figuur 9. ATP-gehalte van het water in de PVC-U- (blauwe kolommen) en PE-(groene kolommen) leidingen op het moment van uitname uit het distributiesysteem van pb Weesperkarspel (W) en pb Amersfoortseweg (A).

Biofilmmonsters

Het ATP-gehalte van de biofilms in de onderzochte PE-leidingstukken was over het algemeen hoger dan in de PVC-U-leidingstukken (Tab. 3). Deze waarneming komt overeen met een hogere BPP-waarde voor nieuw PE dan voor nieuw PVC-U (van der Kooij et al., 2003). Ook was het ATP-gehalte van de biofilms bemonsterd in de oudere leidingen hoger dan het ATP-gehalte van de biofilms in de jongere leidingen, ongeacht het type materiaal (PE of PVC-U). Dit zou erop kunnen wijzen dat naarmate het materiaal ouder wordt er meer afgifte van groeibevorderende stoffen plaatsvindt, maar ook andere factoren (sediment, ijzer en/of EPS) kunnen dit verschil hebben veroorzaakt. De plaats van de bemonstering (boven-, onder-, linker of rechter zijkant) van biofilms in de PE-leidingen liet kleinere verschillen in de actieve biomassaconcentratie onderling te zien dan dat het geval was met de bemonstering van biofilms in de PVC-U-leidingen. Deze trend was duidelijk hoger in de jongere PVC-U-leidingen dan in de oudere.

Tabel 3. Concentratie actieve biomassa in biofilms (ATP-gehalte). De monsters in de tabel zijn gerangschikt van de hoogste naar de laagste ATP-gehalte.

Monster*	ATP (pg /cm ²)	Monster*	ATP (pg /cm ²)
M123015 (125PE_19_W)	7205,4	M121950 (110PVC-U_45_A)	286,0
M123015 (125PE_19_W)	6067,7	M122345 (315PVC-U_5_L)	273,5
M123015 (125PE_19_W)	5856,5	M121950 (110PVC-U_45_A)	265,8
M123015 (125PE_19_W)	5759,8	M121950 (110PVC-U_45_A)	258,3
M122167 (50PE_28_A)	1960,0	M122070 (250PVC-U_2_W)	252,0
M122167 (50PE_28_A)	1934,3	M122070 (250PVC-U_2_W)	191,7
M122167 (50PE_28_A)	1250,0	M122616 (315PVC-U_2_W)	180,6
M121955 (115PVC-U_40_W)	1142,8	M122345 (315PVC-U_5_L)	163,9
M122162 (50PE_28_A)	1140,0	M122611 (315PVC-U_2_W)	129,7
M121955 (115PVC-U_40_W)	1083,6	M121945 (75PE_1_A)	128,6
M122157 (50PE_27_A)	1021,7	M122616 (315PVC-U_2_W)	120,3
M122157 (50PE_27_A)	1011,4	M122345 (315PVC-U_5_L)	118,4
M122162 (50PE_28_A)	1011,4	M122345 (315PVC-U_5_L)	100,5
M122162 (50PE_28_A)	1005,0	M121877 (75PVC-U_41_A)	96,1
M121955 (115PVC-U_40_W)	996,7	M121877 (75PVC-U_41_A)	88,0
M122167 (50PE_28_A)	883,5	M122611 (315PVC-U_2_W)	85,3
M122157 (50PE_27_A)	782,4	M121872 (110PVC-U_35_A)	85,0
M123042 (125PE/SLA_2_W)	755,2	M122611 (315PVC-U_2_W)	79,5
M121955 (115PVC-U_40_W)	746,1	M121872 (110PVC-U_35_A)	67,8
M122162 (50PE_28_A)	721,8	M121872 (110PVC-U_35_A)	61,9
M123042 (125PE/SLA_2_W)	696,8	M121877 (75PVC-U_41_A)	61,8
M123042 (125PE/SLA_2_W)	677,0	M121872 (110PVC-U_35_A)	55,1
M121945 (75PE_1_A)	649,0	M122611 (315PVC-U_2_W)	43,7
M122157 (50PE_27_A)	648,0	M122616 (315PVC-U_2_W)	42,7
M121945 (75PE_1_A)	500,1	M121877 (75PVC-U_41_A)	38,3
M121945 (75PE_1_A)	484,1	M122616 (315PVC-U_2_W)	29,7
M121940 (50PE_3_A)	475,9	M121867 (160PVC-U_1_A)	13,5
M121940 (50PE_3_A)	446,2	M121707 (160PVC-U_1_A)	12,0
M122070 (250PVC-U_2_W)	424,0	M121867 (160PVC-U_1_A)	11,3
M123042 (125PE/SLA_2_W)	419,5	M121867 (160PVC-U_1_A)	10,0
M122345 (315PVC-U_5_L)	383,9	M121867 (160PVC-U_1_A)	6,1
M121940 (50PE_3_A)	374,8	M121707 (160PVC-U_1_A)	4,0
M122345 (315PVC-U_5_L)	365,6	M121702 (75PVC-U_1_A)	3,3
M121950 (110PVC-U_45_A)	337,9	M121702 (75PVC-U_1_A)	2,3
M121940 (50PE_3_A)	335,8	M121707 (160PVC-U_1_A)	1,5
M121707 (160PVC-U_1_A)	325,0	M121702 (75PVC-U_1_A)	1,2
M122070 (250PVC-U_2_W)	289,4	M121702 (75PVC-U_1_A)	0,9

* Met dezelfde codering is de plaats van biofilm bemonstering aangegeven: op twee (in het geval van de uitwendige diameters van 50 en 75 mm) of vier (in het geval van de uitwendige diameters van 110 t/m 315 mm) representatieve locaties op de binnenwand van het betreffende leidingsegment.

3.3 BPP-test

De BPP-waarden voor de uitgenomen materialen zijn bepaald, nadat de materialen zijn schoongemaakt, zodat eventuele achtergebleven biofilm de uitkomst van de test niet beïnvloedt.

Biomassaproductie in Amersfoortseweg-leidingstukken

De BPP-waarden van de verschillende leidingmaterialen uitgenomen uit het distributiesysteem van pb Amersfoortseweg staan in Tabel 4.

Tabel 4. Resultaten BPP-test (pb Amersfoortseweg).

Test material	BPP (pg ATP/cm ²)	sd
PC (siliconen)	32924,2	4923,7
M122157 (50PE_27_A)	1841,7	58,0
M122162 (50PE_28_A)	1567,4	627,2
M121940 (50PE_3_A)	965,6	111,3
M121945 (75PE_1_A)	482,4	101,3
M121702 (75PVC-U_1_A)	302,9	30,3
NC (glas)	263,4	12,8
M121877 (75PVC-U_41_A)	258,2	28,3
M121707 (160PVC-U_1_A)	244,7	15,2
M122167 (50PE_28_A)	242,6	340,6
M121867 (160PVC-U_1_A)	242,6	35,6
M121950 (110PVC-U_45_A)	228,5	33,3
M121872 (110PVC-U_35_A)	227,3	20,0

De BPP van de PE-materialen varieerde tussen de 242 en 1842 pg ATP/cm². De laagste en hoogste BPP waarde is waargenomen bij het oudste PE-materiaal (28 jaar). De BPP van de PVC-U materialen varieerde tussen de 227 en 303 pg ATP/cm². Ook hier is geen effect van leeftijd op de BPP-waarde waargenomen.

Biomassaproductie in Weesperkarspel- en Leidingduin-leidingstukken

De BPP-waarden van de verschillende leidingmaterialen uitgenomen uit het distributiesysteem van pb Weesperkarspel en pb Leidingduin staan in Tabel 5. De BPP van de twee PE-materialen was 1597 en 2330 pg ATP/cm². De BPP van de PVC-U materialen varieerde tussen de 99 en 170 pg ATP/cm², waarbij de hoogste waarden zijn waargenomen bij de oudste materialen. Het verschil met de jongere materialen was echter zeer beperkt en de BPP-waarden van alle PVC-U materialen waren zeer laag.

Tabel 5. Resultaten BPP-test (pb Weesperkarspel en pb Leiduin).

Test material	BPP (pg ATP/cm ²)	sd
PC (siliconen)	26126,9	3081,8
M123042 (125PE/SLA_2_W)	2330,0	351,9
M123015 (125PE_19_W)	1597,1	170,4
NC (glas)	173,3	15,9
M121955 (115PVC-U_40_W)	169,1	33,6
M121092 (315PVC-U_44_W)	152,6	35,6
M122070 (250PVC-U_2_W)	139,6	26,1
M122345 (315PVC-U_5_L)	126,4	29,7
M122616 (315PVC-U_2_W)	122,9	40,7
M122346 (315PVC-U_5_L)	120,8	13,1
M122611 (315PVC-U_2_W)	117,0	1,6
M122347 (315PVC-U_5_L)	99,4	8,8

De resultaten laten zien dat de BPP-waarden van materialen weinig worden beïnvloed door de leeftijd van het materiaal. Over het algemeen liggen de BPP-waarden in de range van de BPP-waarden die zijn gevonden voor nieuw PVC-U en PE (van der Kooij et al., 2003). Veroudering van PVC-U en/of PE in het drinkwaterdistributiesysteem leidt dus niet tot meer of minder afgifte van groeibevorderende stoffen in het distributiesysteem. De resultaten laten ook zien dat de BPP-waarden van PVC-U lager zijn dan de BPP-waarden van PE. Tevens was de ATP-concentratie van de biofilm op PE hoger dan de ATP-concentratie van de biofilm op PVC-U, op het moment dat de leidingstukken werden uitgenomen. Dit duidt erop dat PVC-U beter in staat is om de groei van micro-organismen in het drinkwaterdistributiesysteem te beperken dan PE.

De biofilmconcentraties die zijn waargenomen op de PE- en PVC-U-leidingen in het distributiesysteem komen redelijk overeen met de biofilmconcentraties die worden waargenomen in de BPP-test van deze materialen. Deze resultaten laten dus ook zien dat de resultaten van de statische BPP-test zich redelijk goed laten vertalen naar de dynamische condities in het drinkwater-distributiesysteem.

4 Conclusies

- Veroudering van PVC-U- en PE-materialen in het distributiesysteem leidt niet tot meer of minder afgifte van groeibevorderende stoffen en de groeibevorderende eigenschappen blijven dus ook tot minstens 45 jaar hetzelfde;
- Zowel in de BPP-test als in de praktijksituatie geeft PE meer groeibevorderende stoffen af in het drinkwatermilieu dan PVC-U. Dit leidt tot hogere biofilmconcentratie op de PE-buisoppervlakte in het drinkwatermilieu;
- De uitkomsten van de statische BPP-test zijn goed te vertalen naar de dynamische condities van het drinkwaterdistributiesysteem.
- De kwaliteit van water speelt in de praktijksituaties een additionele rol bij de biologische vervuiling van PVC-U- en PE-leidingen.

5 Aanbevelingen

- Om de mate van nagroei in het distributiesysteem te beperken wordt aanbevolen om PVC-U in plaats van PE als leidingmateriaal toe te passen;
- Gebruik de BPP-test om de mate van biofilmvorming op het materiaal in het drinkwaterdistributiesysteem te voorspellen;
- Tijdens het onderzoek is ook gebleken dat de bepaling van het totaal aantal cellen m.b.v. microscopie onbetrouwbare gegevens opleverde; op grond van de verkregen inzichten wordt dan ook aanbevolen om de microscopische evaluatie van de biomassa in biofilms en watermonsters tot de kwalitatieve analyse te beperken.

6 Referenties

Brocca, D., E. Arvin en H. Mosbæk, (2002). Identification of organic compounds migrating from polyethylene pipelines into drinking water. *Water Res.*, **36** (15): 3675–3680.

Drinkwaterstatistieken 2012. De watercyclus van bron tot kraan. *Vewin*, **110**, 6259.

Saldivar-Guerra, E., en E. Vivaldo-Lima, (2013). Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing. *John Wiley & Sons*.

Stuurgroep PVC&Ketenbeheer, (2005). Onderzoek TNO Industrie: Verwachte levensduur PVC waterleidingen meer dan 100 jaar. Nieuwsbrief PVC, *LenoirSchuringSpelthuis bv, A'veen*, **17** (2).

Van der Kooij, D., H. S. Vrouwenvelder, and H. R. Veenendaal, (1995). Density and composition of biofilms in drinking water distribution systems in the Netherlands. AWWA Water Quality Technology Conference, Nov. 12±16, New Orleans, LA, pp. 1055±1062.

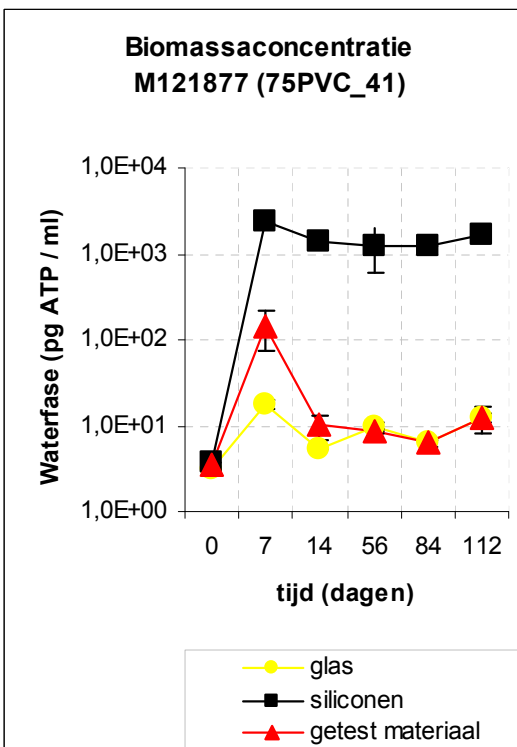
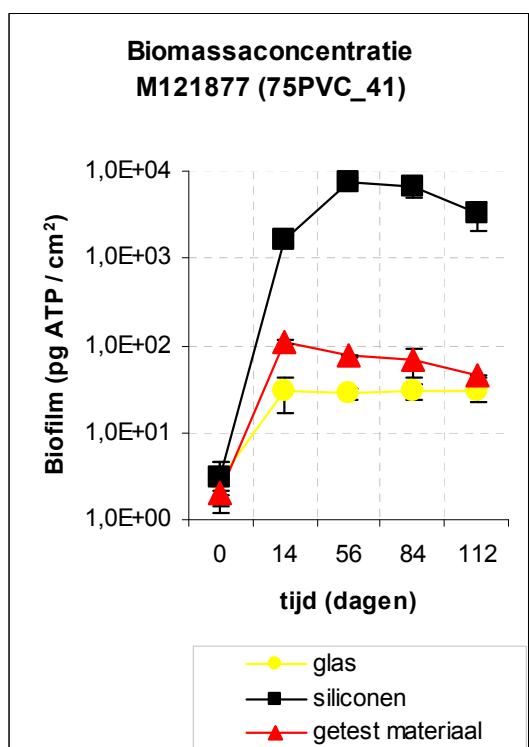
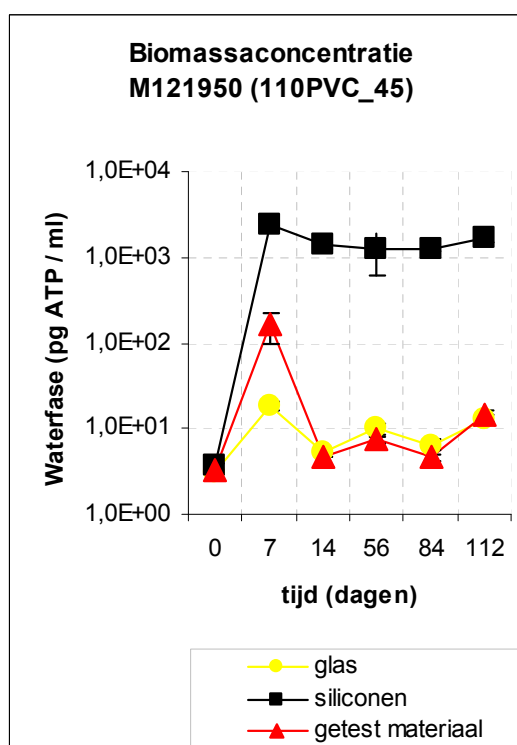
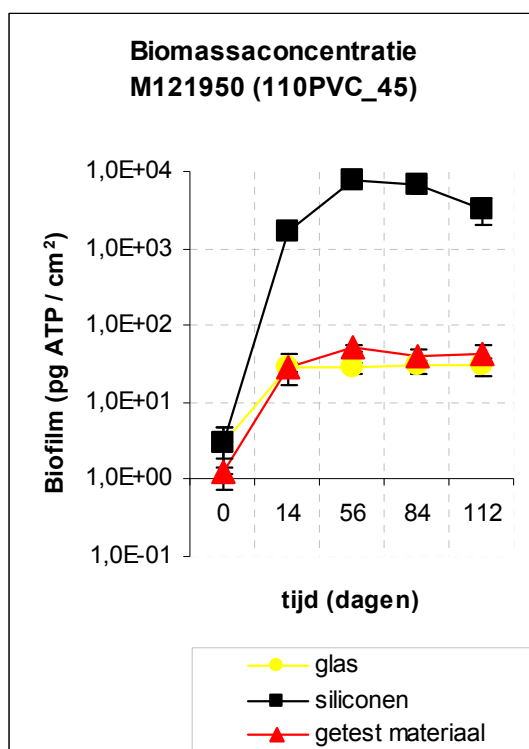
Van der Kooij, D., and H. R. Veenendaal, (2001). Biomass production potential of materials in contact with drinking water: method and practical importance. *Water Sci. Technol. Water Supply*, **1**(3): 39–45.

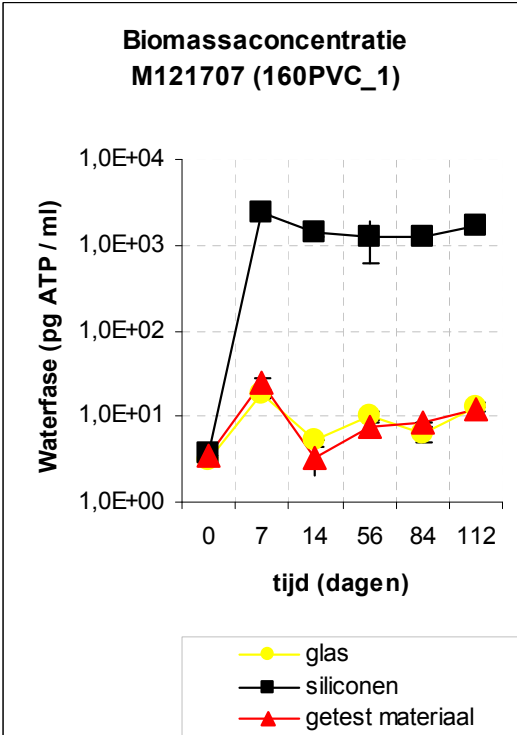
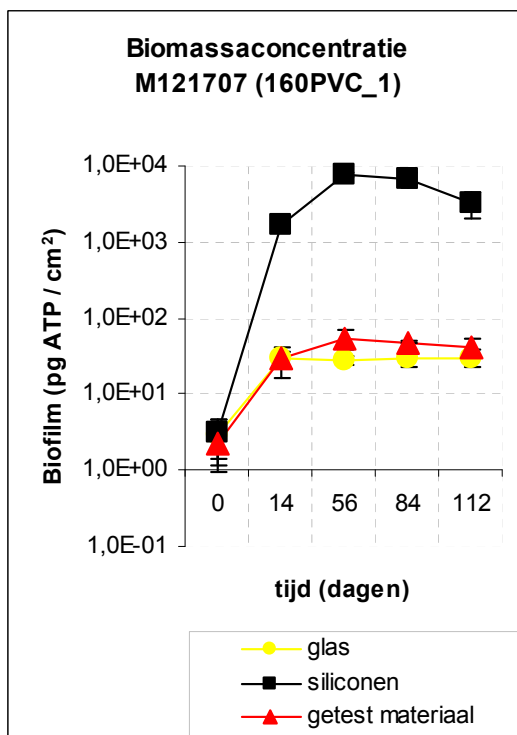
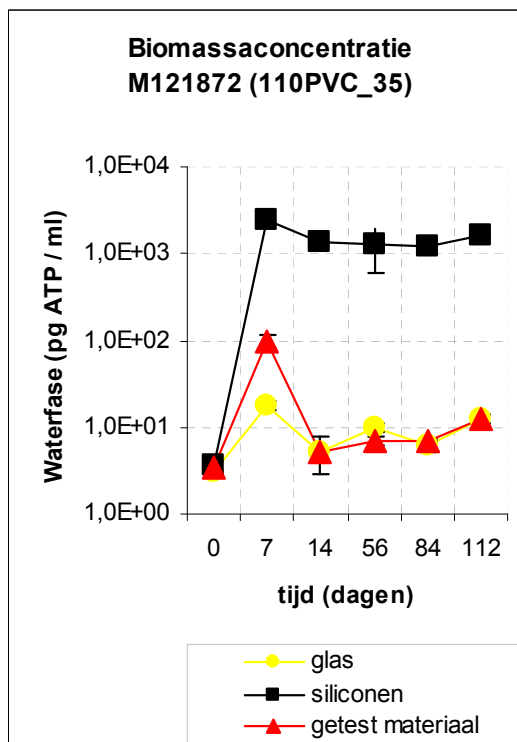
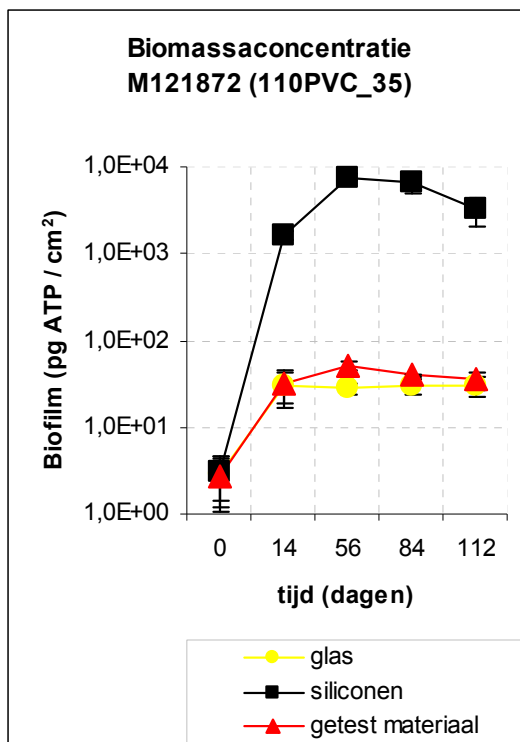
Van der Kooij, D., H. J. Albrechtsen, C. B. Corfitzen, J. Ashworth, I. Parry, F. Enkiri, B. Hambsch, C. Hametner, R. Kloiber, H. R. Veenendaal, D. Verhamme, and E. J. Hoekstra, (2003). CPDW project: Assessment of the microbial growth support potential of products in contact with drinking water. Report EUR 20832 EN.

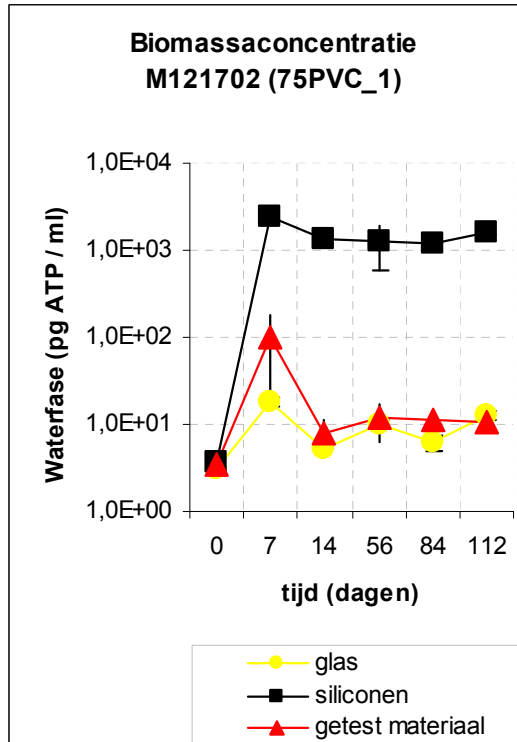
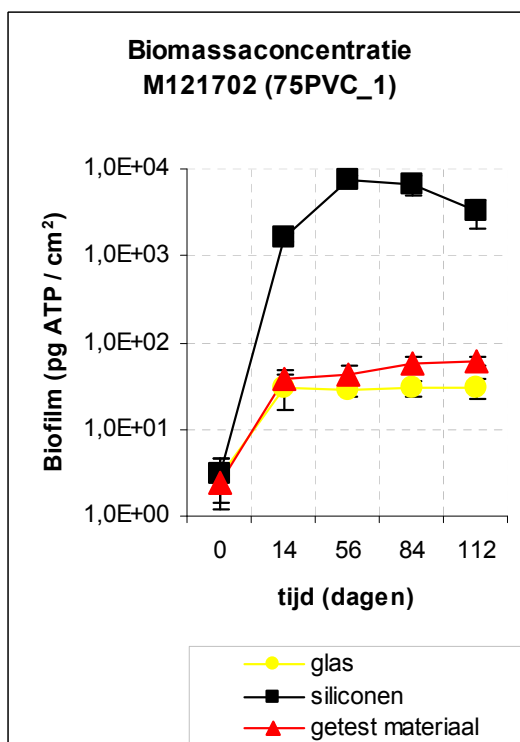
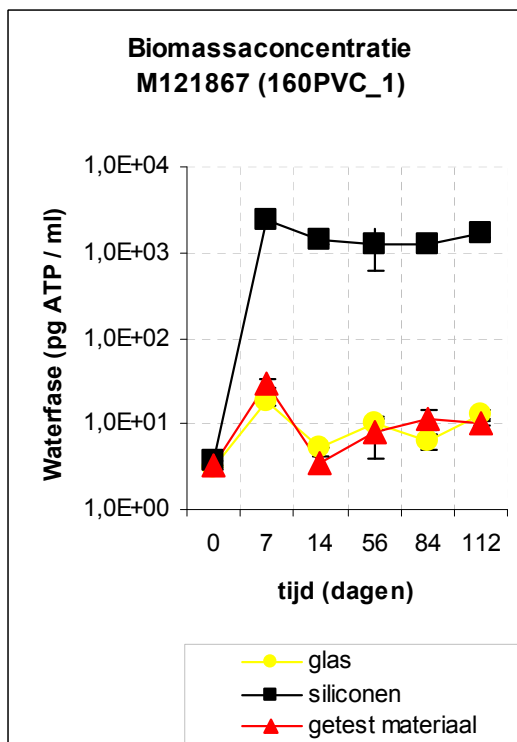
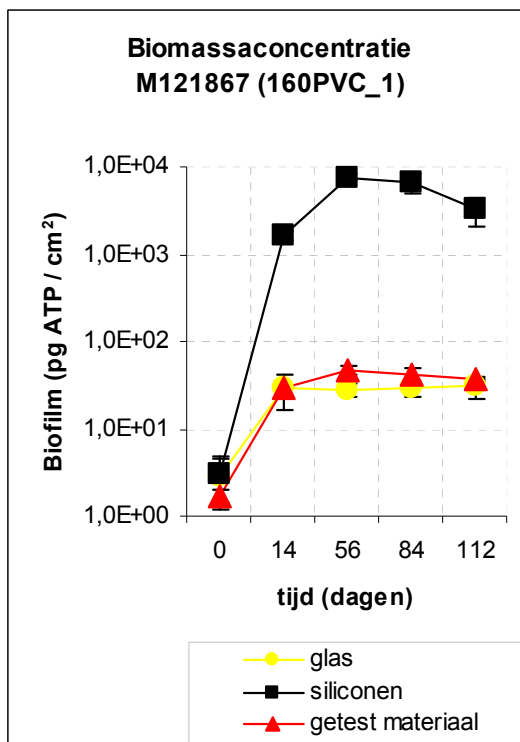
VROM, (2001). Besluit van 9 januari 2001 tot wijziging van het Waterleidingbesluit in verband met de richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water (Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment). *Staatsblad*, **31**, 1–26.

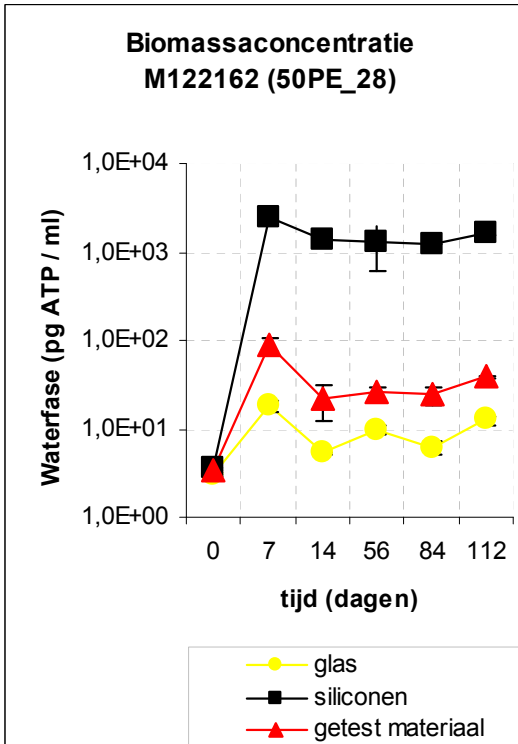
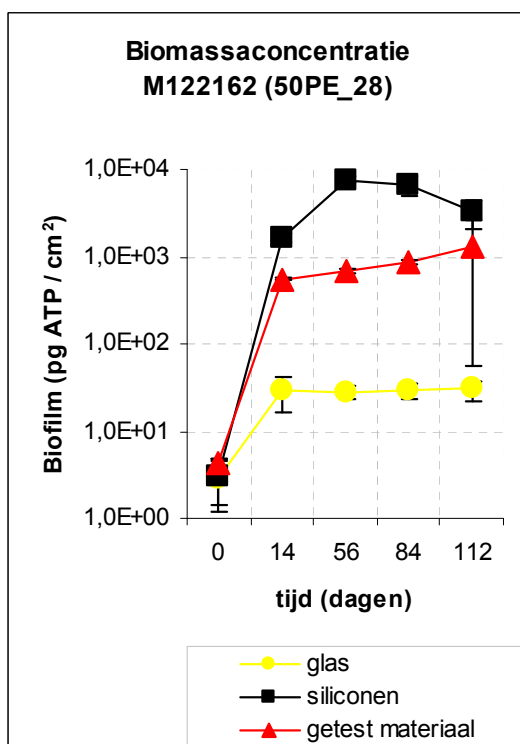
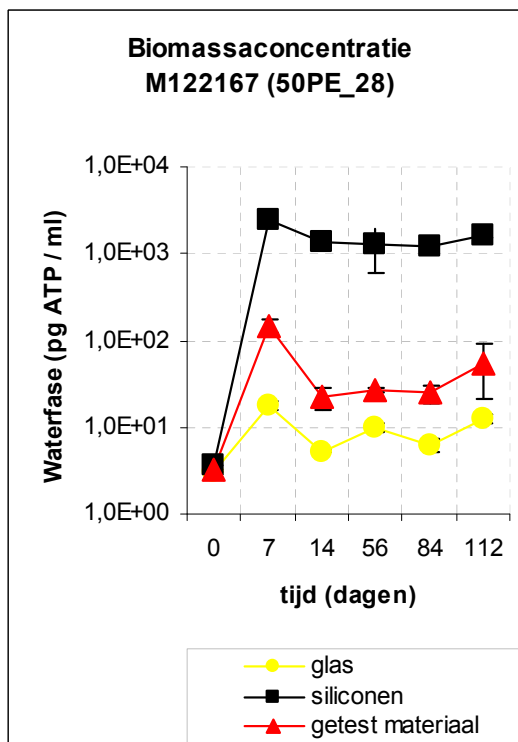
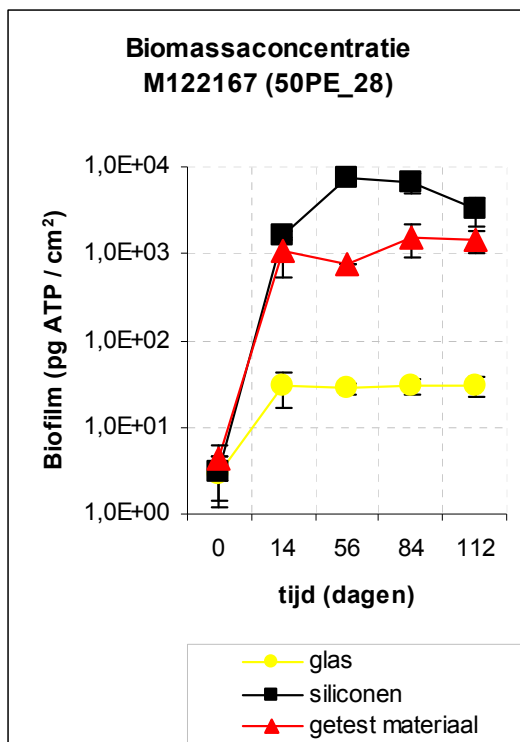
7 Bijlagen

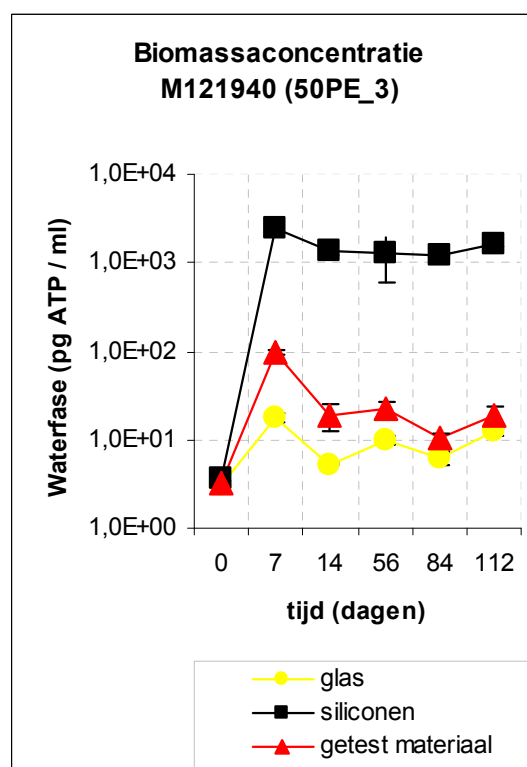
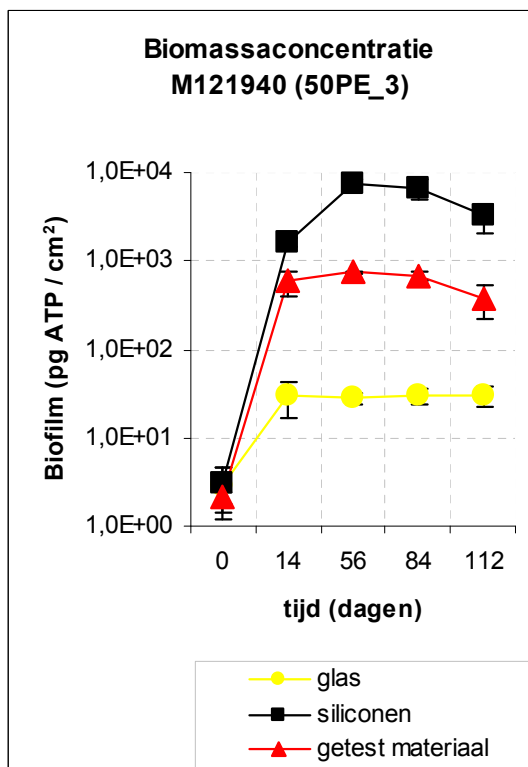
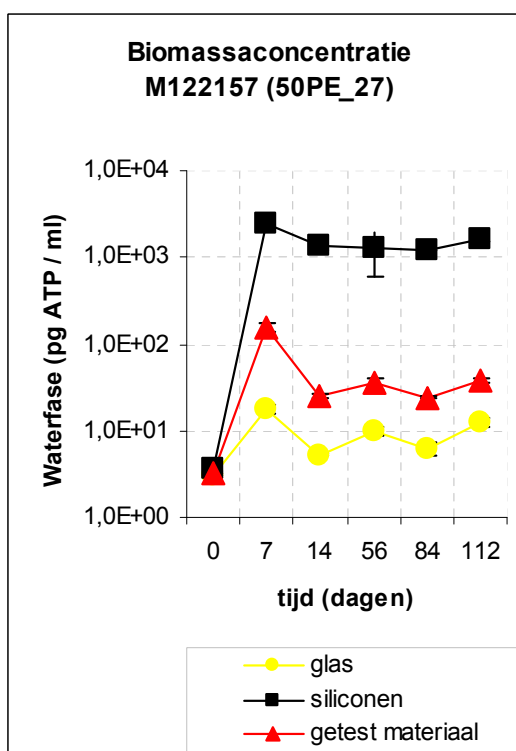
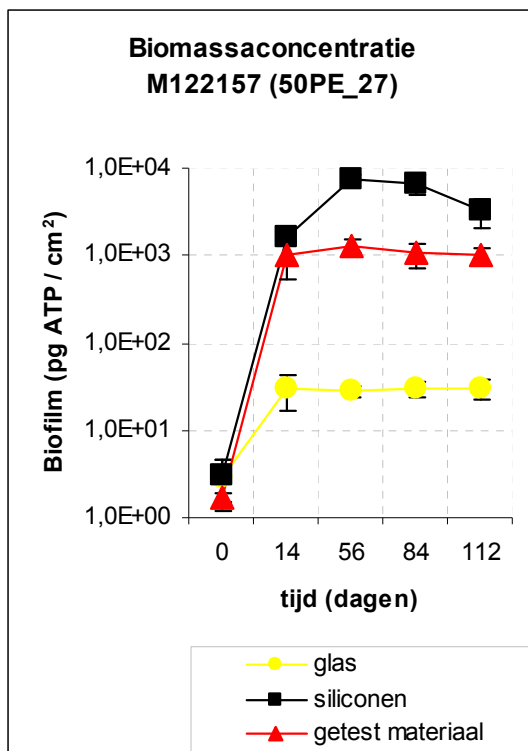
7.1 Biomassa groei in de BPP-test (ATP-gegevens) (Amersfoortseweg)

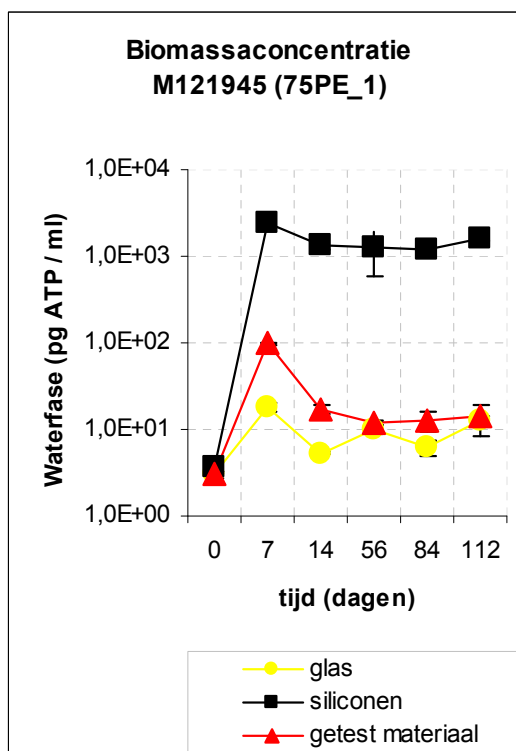
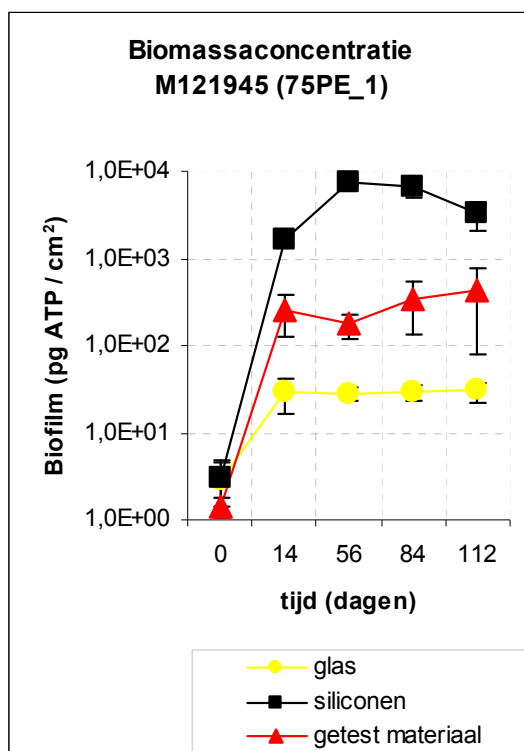




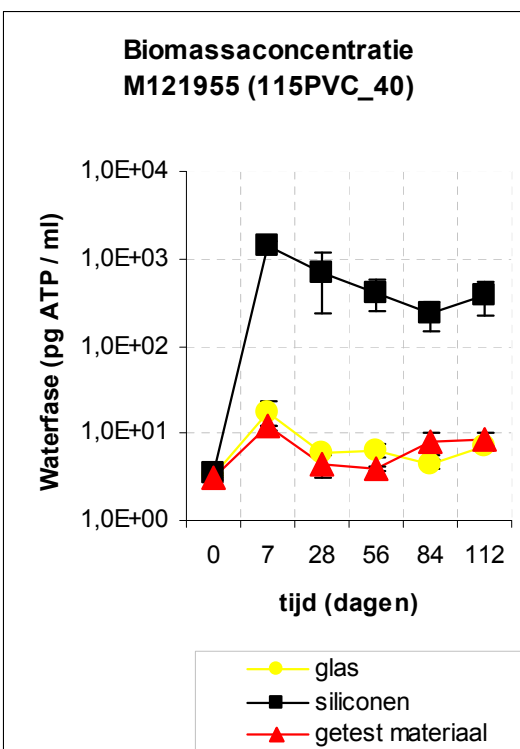
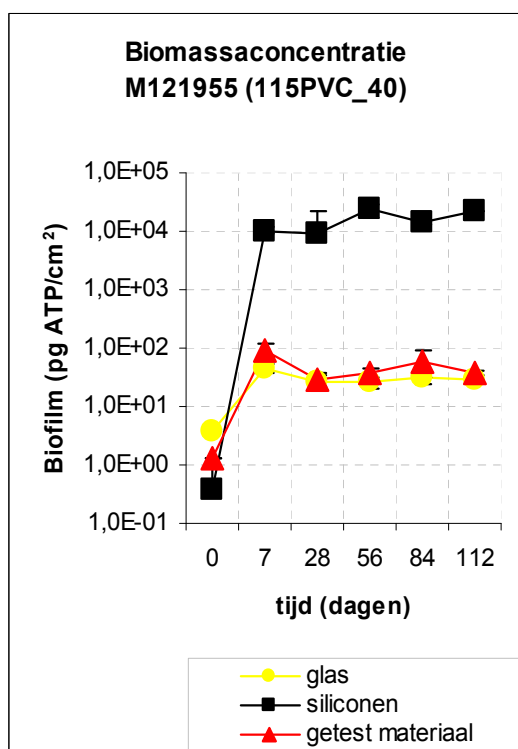
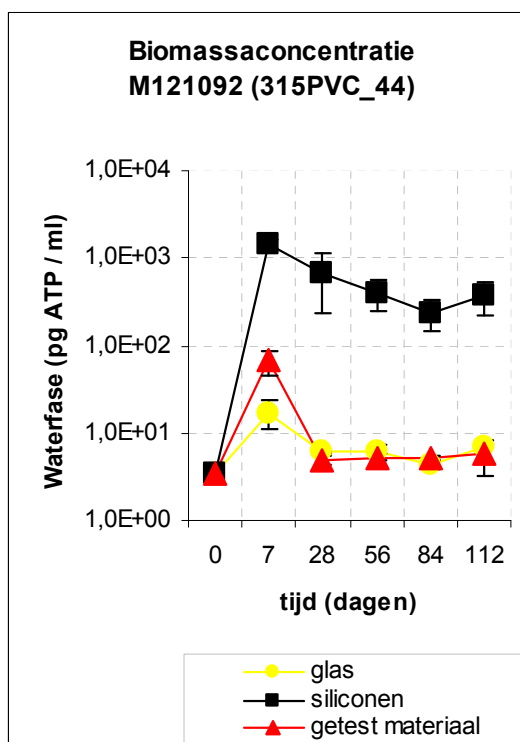
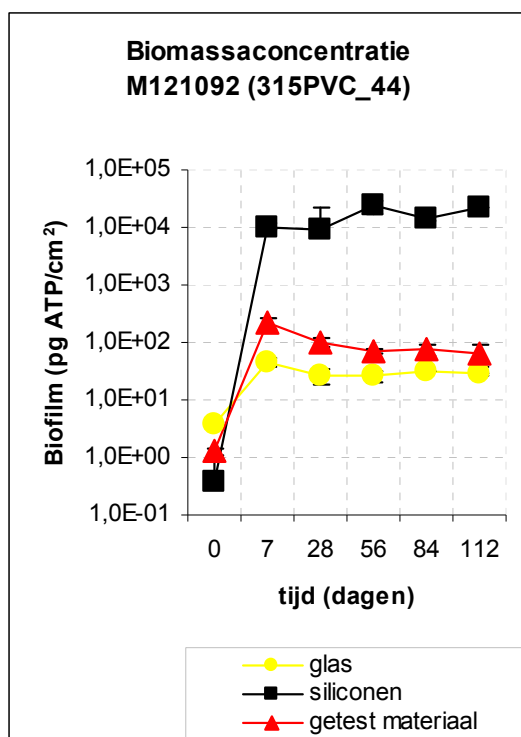


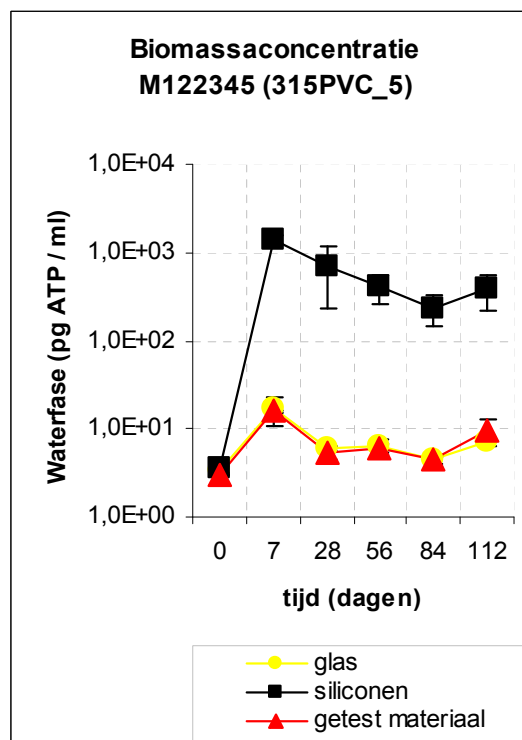
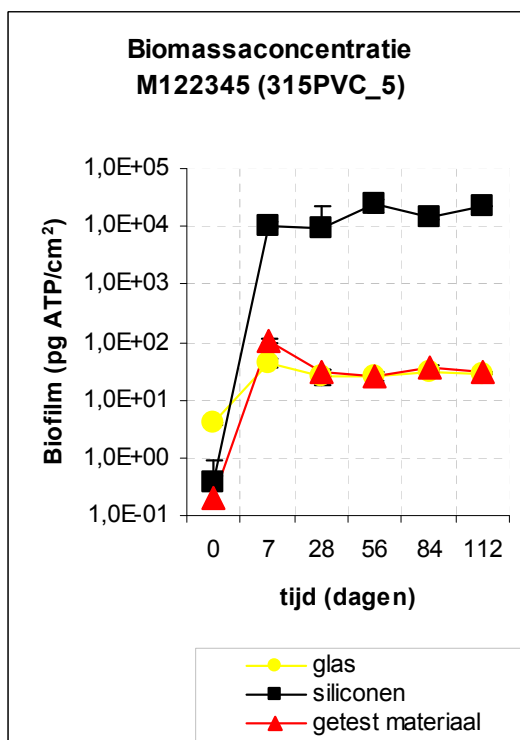
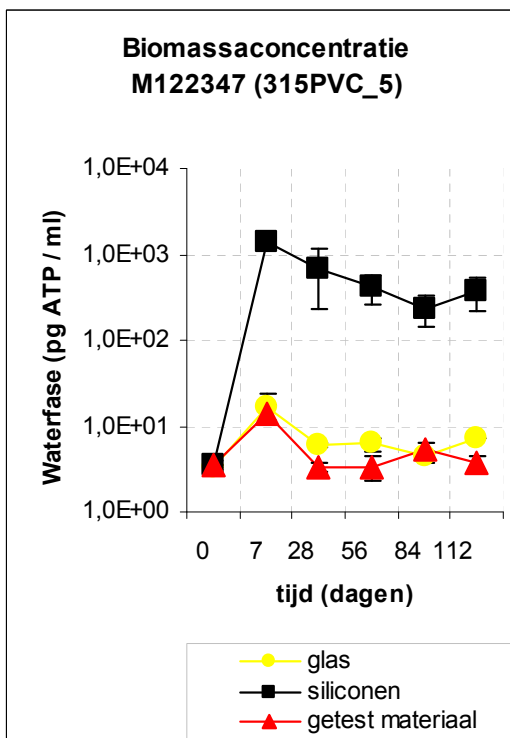
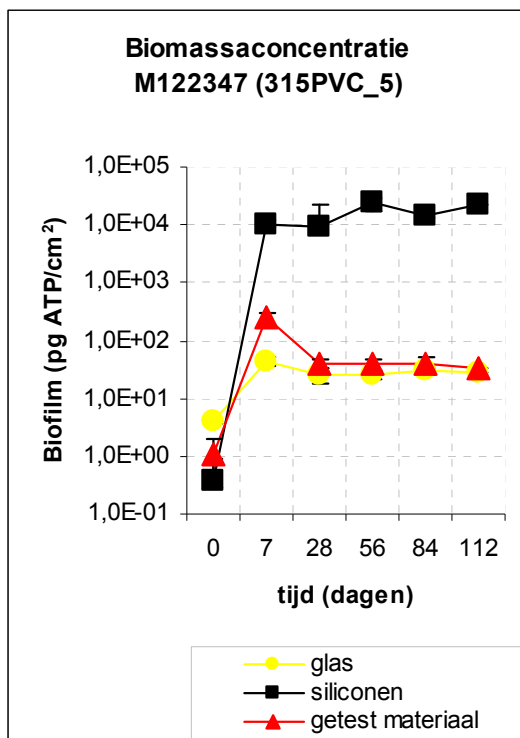


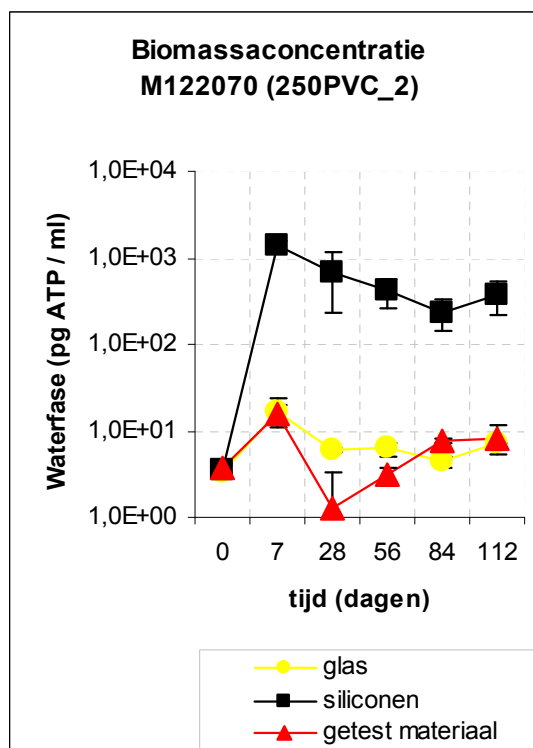
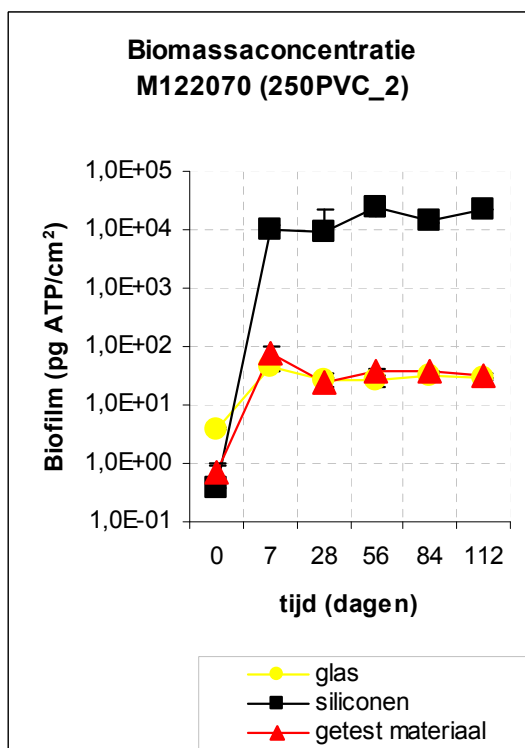
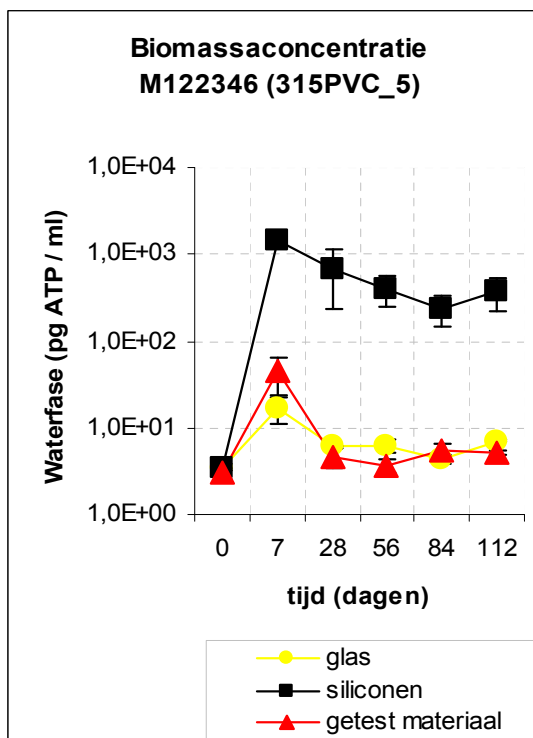
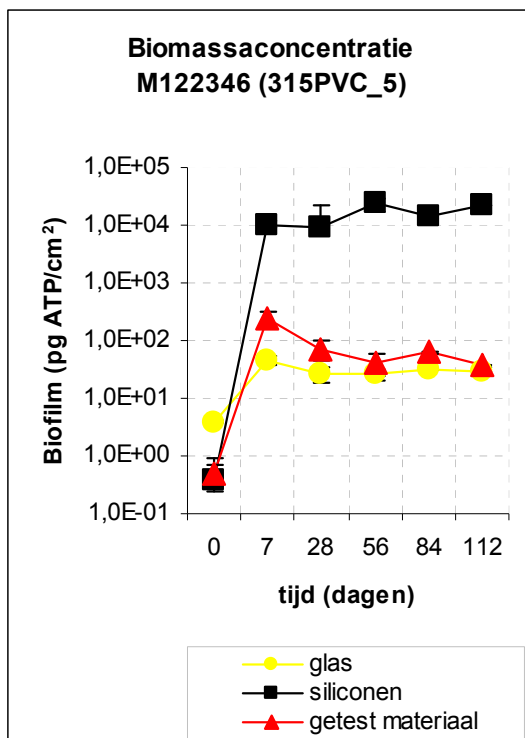


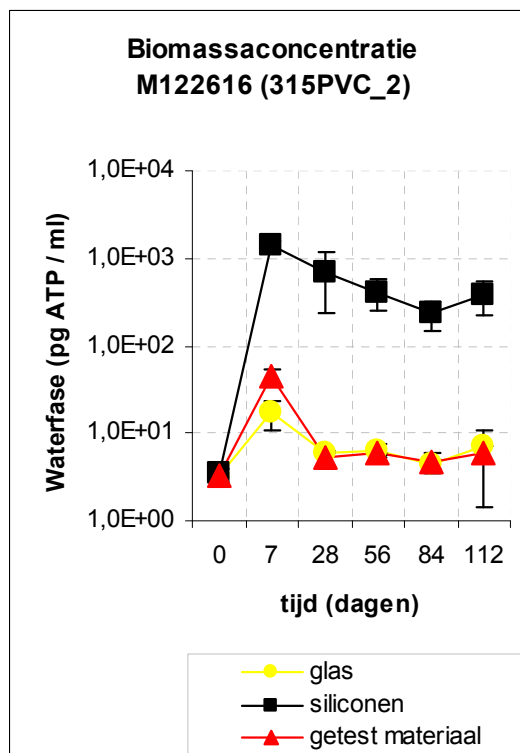
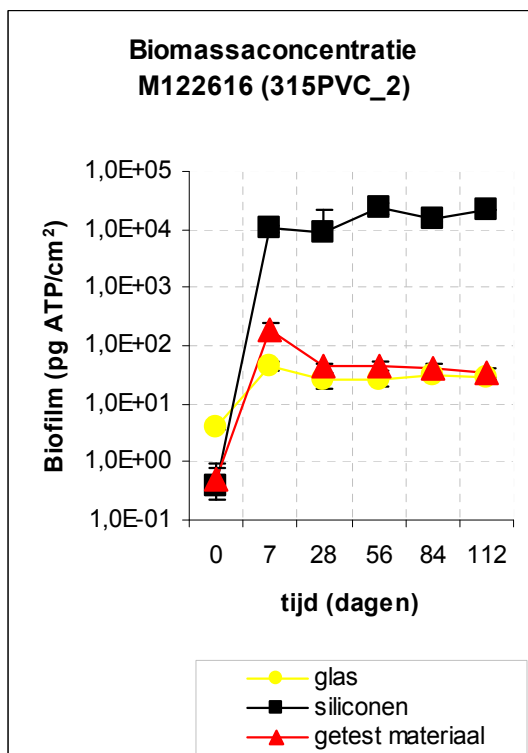
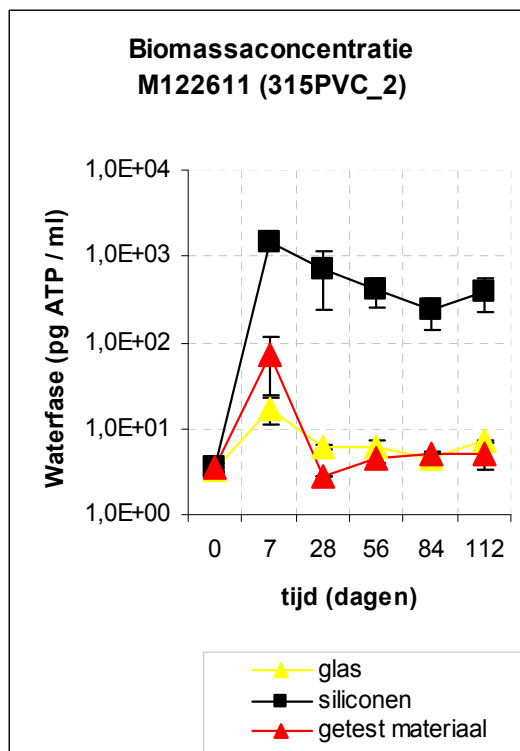
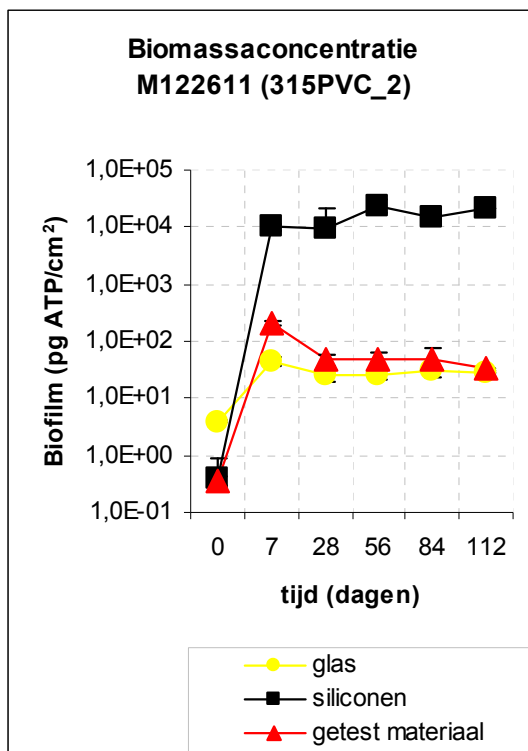


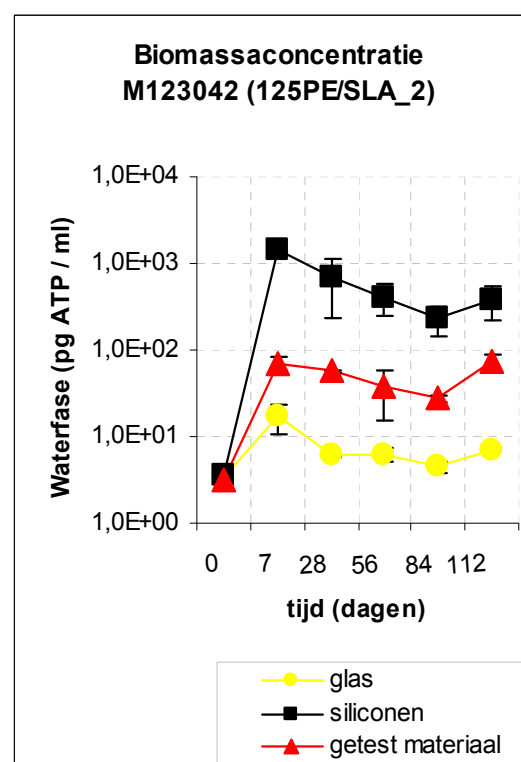
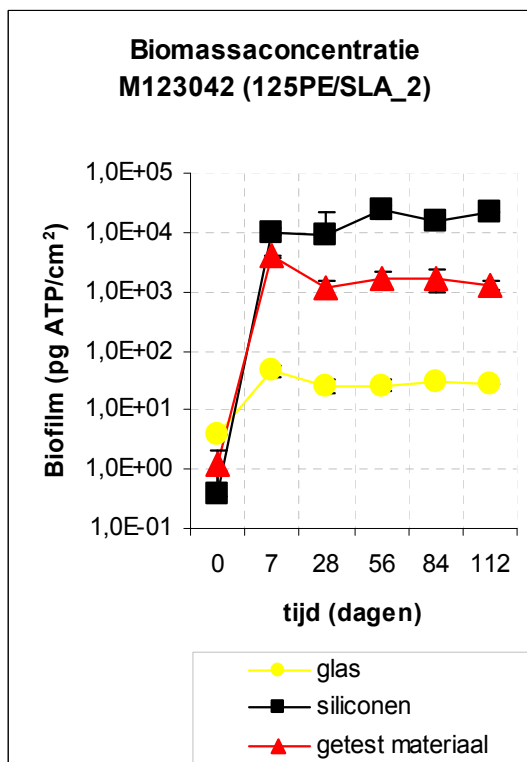
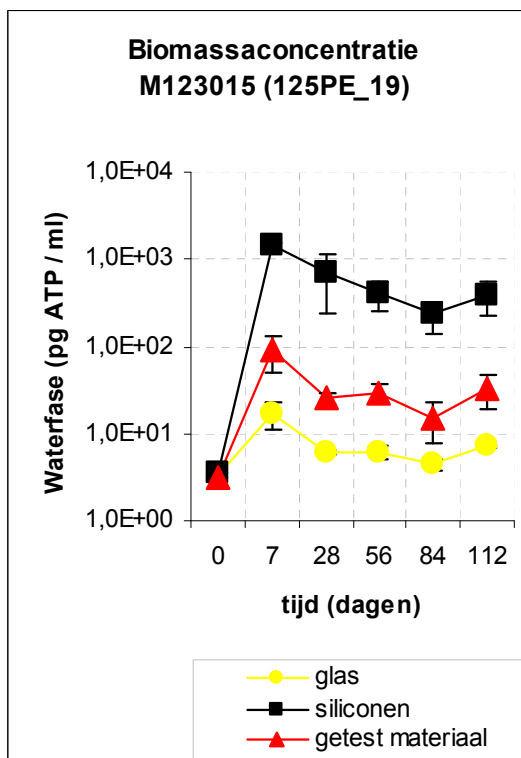
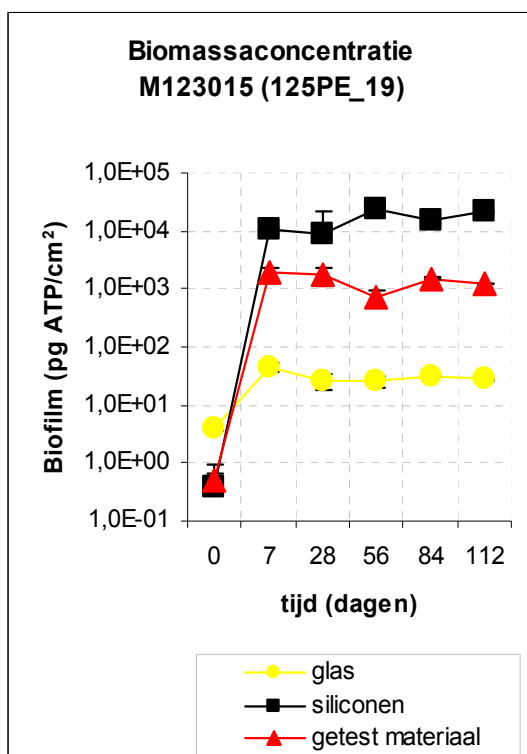
7.2 Biomassa groei in de BPP-test (ATP-gegevens) (Weesperkarspel en Leiduin)











7.3 Monstercodes

Plaats van bemonstering		Monster ¹	Leeftijd ²	Diameter ³	Code
Appeldoorn	Orderparkweg 5	PVC-U	1	75	M121702 (75PVC-U_1_A)
Appeldoorn	Nijbroekseweg	PVC-U	1	160	M121707 (160PVC-U_1_A)
Appeldoorn	Regenteselaan 4	PVC-U	1	160	M121867 (160PVC-U_1_A)
Appeldoorn	Polkastraat	PVC-U	35	110	M121872 (110PVC-U_35_A)
Appeldoorn	Venkelstraat 87	PVC-U	41	75	M121877 (75PVC-U_41_A)
Appeldoorn	Gavottestraat	PVC-U	45	110	M121950 (110PVC-U_45_A)
Appeldoorn	Tannhauserstraat 26	PE100	3	50	M121940 (50PE_3_A)
Appeldoorn	Koninginnenlaan 226	PE100	1	75	M121945 (75PE_1_A)
Appeldoorn	Frambozenlaan 111	PE*	27	50	M122157 (50PE_27_A)
Appeldoorn	Frambozenlaan 38	PE*	28	50	M122162 (50PE_28_A)
Appeldoorn	Bloemheuvellaan 58C	PE*	28	50	M122167 (50PE_28_A)
Amsterdam	J.H. Hisgenpad 17	PVC-U	44	315	M121092 (315PVC-U_44_W)
Amsterdam	Bezaanjachtplein 62	PVC-U	40	115	M121955 (115PVC-U_40_W)
Amsterdam	Bezaanjachtplein 2	PVC-U	2	250	M122070 (250PVC-U_2_W)
Amsterdam	C. Kryswijkstraat 8	PVC-U	2	315	M122611 (315PVC-U_2_W)
Amsterdam	C. Kryswijkstraat 28	PVC-U	2	315	M122616 (315PVC-U_2_W)
Muiden	Dijkweg 2	PE80/SLA**	2	125	M123042 (125PE/SLA_2_W)
Amsterdam	Nieuwe gouw 35	PE*	19	125	M123015 (125PE_19_W)
Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315	M122345 (315PVC-U_5_L)
Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315	M122346 (315PVC-U_5_L)
Amsterdam	Dortmuiden	PVC-U	5	315	M122347 (315PVC-U_5_L)

¹ 30 cm lang leidingsegment; ² jaren onder grond; ³ uitwendige diameter (mm); * type polyetheen is niet bekend; ** HDPE-buis met een aluminium beschermlaag.

