

Nieuwe methoden voor de verwerking van sanitair- en regenwater

Door Leo Bentvelzen
Van Hall Larenstein
2008

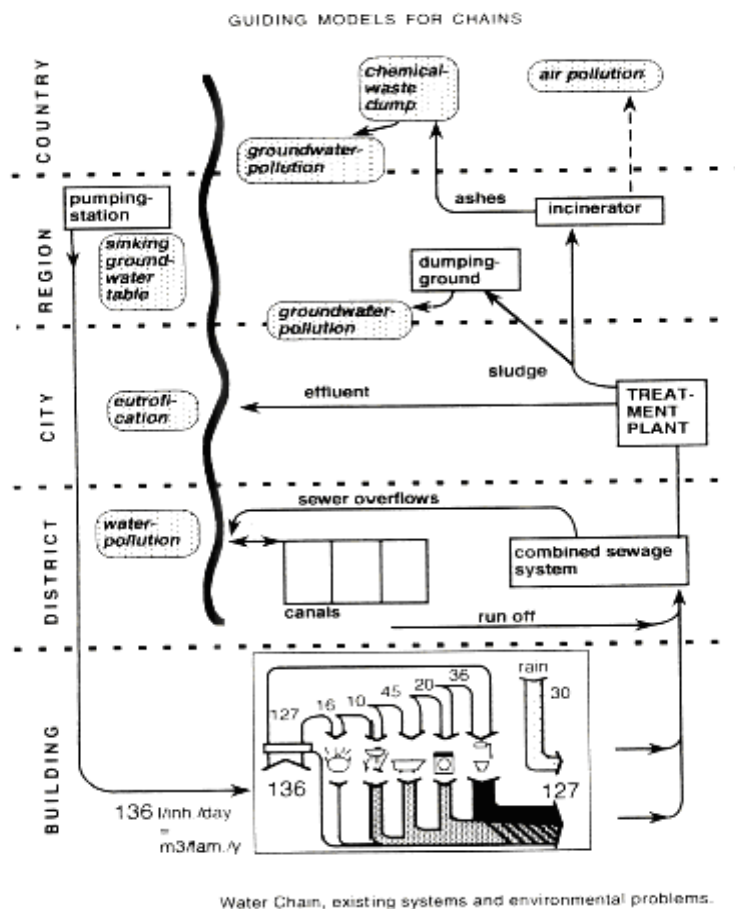
Hoofdstuk 1: Inleiding

‘Sanitatie’ staat hoog op de agenda van zowel politici als onderzoekers in de gehele wereld. In de meeste westerse landen, waaronder Nederland, vormen kosten en efficiëntie de grote drijfveer, maar ook de ecologische consequenties en de Kader Richtlijn Water (KRW) geven aanleiding het verwerken van ons afvalwater opnieuw onder de loep te nemen. De opkomende zorgen over een dreigend fosfaattekort, dat eerder verwacht wordt dan het opraken van fossiele brandstof, is recent een nieuwe impuls. In derde wereld landen is een gedegen invoering van het verwerken van afvalwater en het plaatsen van hygiënische toiletten een prioriteit. De UN hebben dit ook beschreven in hun Millennium Development Goals (MDG) als basis voor gezondheid, armoedebestrijding en positieve impuls voor alle andere doelen voor 2015 (McCann, 2008). Ook de duurzaamheidsgedachte, met het ultieme ‘*Cradle to Cradle*’ (C2C) –principe van Michael Braungart en William McDonough uit 1995, wint steeds meer aan aandacht. “Afval = voedsel” lijkt ook in het geval van afvalwater op te gaan.

Nederland is op het gebied van sanitatie al zeer georganiseerd. Met hygiëne en volksgezondheid als voornaamste uitgangspunten, is een rioleringsstelsel opgebouwd van vele kilometers ondergrondse buizen, waarbij de zuivering daarvan wordt gerealiseerd in veelal buiten de woonwijken gelegen Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI’s). In aanleg en onderhoud is dit een kapitaal-intensief stelsel. Ofschoon het riool al in de Romeinse tijd bekend was, heeft een vergaande invoering in Nederland pas rond 1920-1930 plaatsgevonden en is zuivering hiervan (voor lozing op het oppervlakte water) pas in de jaren ’60 van de 20^e eeuw geïnstalleerd.

Beschrijving huidige situatie

In onderstaande figuur 1 is te zien hoe het Nederlandse afvalwater wordt verwerkt. Tevens wordt aangegeven op welke plaatsen mogelijk milieuverontreiniging kan optreden.



Figuur 1: Het huidige systeem waarop afvalwater in Nederland wordt verwerkt en drinkwater wordt geproduceerd, onderverdeeld naar schaalniveau (Weeda, 1994)

1. probleemanalyse

De problematiek in Nederland op het gebied van sanities is divers.

Op de eerste plaats, leidt het huidige rioolstelsel, waar regenwater met het afvalwater wordt afgevoerd, tot problemen bij hevige regenval. Men verwacht als een gevolg van de klimaatverandering meer intensieve regenbuien. De riolering kan niet gedimensioneerd worden op de grootst mogelijke regenval in verband met kosten en ruimte. Momenteel moeten er op diverse plaatsen overstorten worden ingebouwd, waar het riool zijn overdruk kwijt kan, indien deze te hoog oploopt. Op deze plaatsen wordt (verdund) afvalwater direct op het oppervlaktewater geloosd, vaak met een aanzienlijke milieuschade. Daarnaast werkt een RWZI minder efficiënt, wanneer er grote hoeveelheden regenwater verwerkt moeten worden: de concentraties zijn lager, evenals

de verblijftijd in de zuiveringstanks, hetgeen leidt tot een lagere afbraak van de organische afvalstoffen, en een lagere verwijdering van nutriënten, vooral stikstof en fosfaat. Hierdoor neemt de druk van nutriënten toe op het oppervlakte water. Dit is in strijd met de Europese KRW. Gescheiden rioolstelsels kennen deze beide problemen niet, omdat het regenwater dan niet naar de RWZI wordt geleid, maar direct naar het oppervlaktewater of via infiltratie in de bodem, naar het grondwater. Gezien het feit dat in de nabije toekomst veel rioleringen moeten worden vervangen of gerepareerd, verdient het aandacht om na te gaan of de aanleg van gescheiden rioolstelsels voorkeur verdient.

Het toegenomen gebruik van medicijnen, begint ook in het ecosysteem merkbaar te worden; veel medicijnen, en vooral hormonen, worden in een RWZI slechts gedeeltelijk afgebroken

Het effect op vissen is reeds meetbaar (LOES, 2002). Deze medicijnen en hormonen zijn vooral terug te vinden in de urine. Tevens bevatten urine grote hoeveelheden nutriënten, die indien ze teruggewonnen kunnen worden grondstoffen kunnen vormen (meststoffen in de landbouw) en daarmee ook energie kunnen opleveren, omdat die niet gebruikt hoeft te worden voor de kunstmestproductie.

Een brongerichte aanpak lijkt in dit geval voor de hand te liggen.

Daarnaast is er behoefte om het energieverbruik binnen de waterzuivering te beperken, en is er op veel plaatsen ruimtegebrek. Met name fecaliën (evt. in combinatie met groente en fruitafval) hebben een potentie op energie op te leveren, wanneer deze door vergisting biogas produceren. Lokale units die afvalwater verwerken kunnen soms worden geïntegreerd op wijkniveau. Transport over grote afstanden kunnen zo voorkomen worden.

Waterverbruik op het huidige niveau kan leiden tot een gebrek aan, of een grote stijging van de kosten van, drinkwater. Het terugdringen van het verbruik en het gebruik van regenwater en hergebruik van grijswater (via direct gebruik of door infiltratie) biedt hier mogelijk een oplossing.

Veel redenen om op zoek te gaan naar innovatieve ideeën om met afvalwater en regenwater om te gaan.

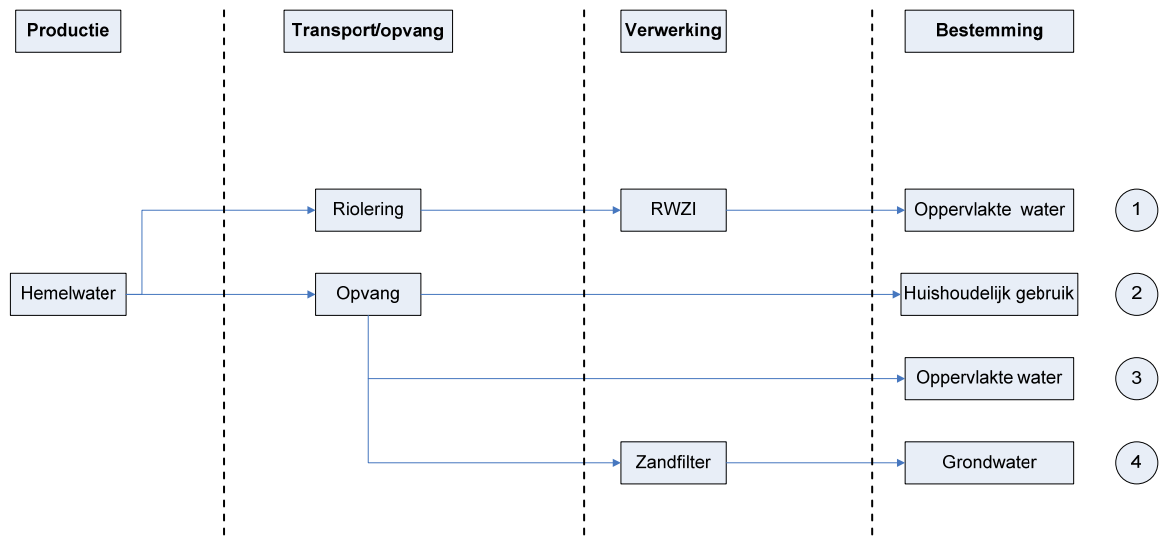
We dienen ons wel te realiseren dat een mogelijke verandering van het afvalwater verwerkingssysteem geen eenvoudige opgave is. Het vereist een transitie die in de hele maatschappij merkbaar zal zijn, en investeringen die niet op zeer korte termijn te realiseren zijn. Dergelijke veranderingen kunnen dertig tot veertig jaar in beslag nemen (Rotmans, 2003).

2. stand van zaken

De vraag blijft: wat is er technisch te realiseren, en welke technieken kunnen we slim inzetten. Deze twee gaan hand in hand, en theorie gaat maar kort voor praktijk uit. Proefprojecten zijn onontbeerlijk, maar gelukkig zijn er veel proefprojecten, waarin de praktische haalbaarheid van innovatieve ideeën worden getest. Momenteel gaan de verwerkingsmogelijkheden (=theorie) van de drie hoofdstromen als volgt:

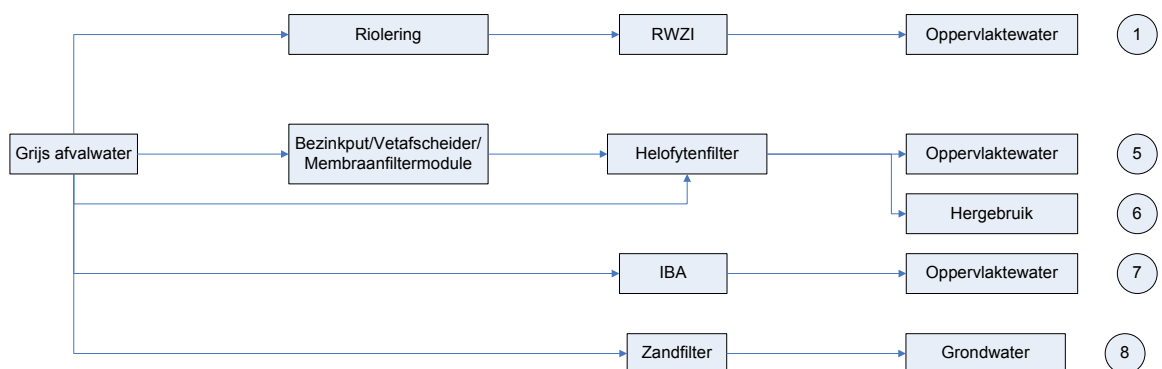
1)

Hemelwater:



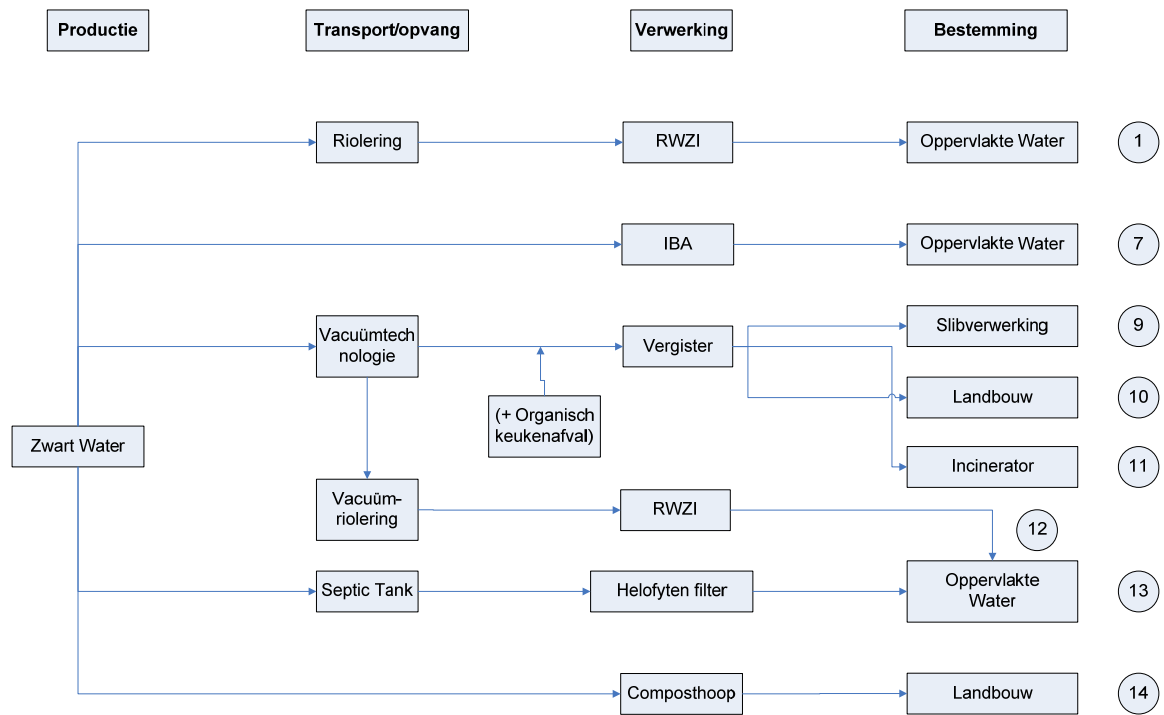
2)

Grijswater:

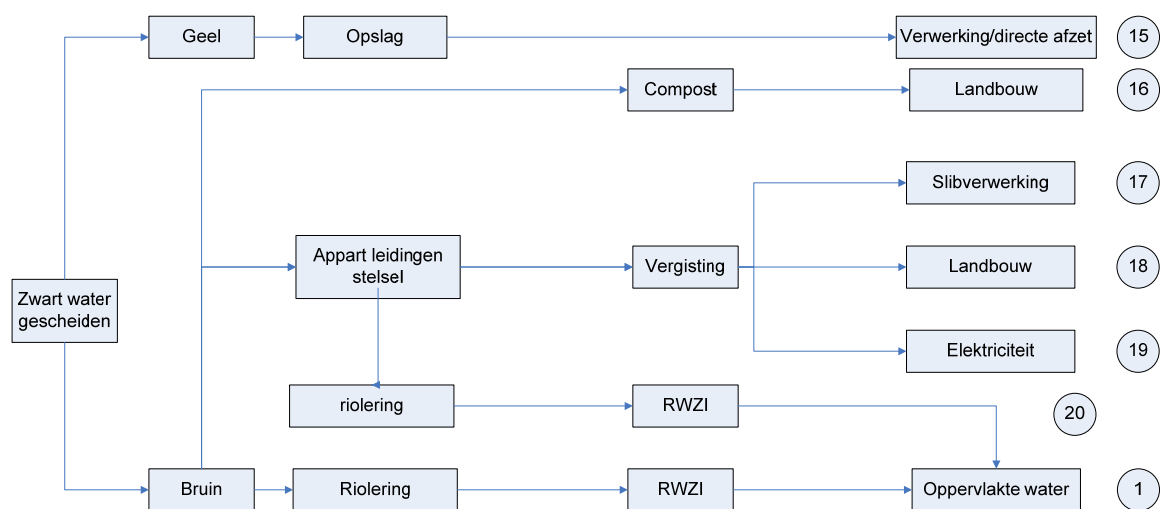


3)

Zwart water:



4) Zwart water gescheiden



Beschrijving van de technieken

Regenwater:

Regenwater kan kwalitatief vrijwel altijd direct op het oppervlaktewater worden geloosd of in de bodem geïnfiltreerd. Alleen wanneer regenwater afkomstig is van (intensief gebruikte) wegen dient het als afvalwater behandeld te worden, vanwege de mogelijke verontreiniging met PAK, minerale olie en/of zware metalen.

Regenwater is voor particulieren vrij eenvoudig op te werken tot gebruikswater. Vóór opslag (meestal ondergronds) is een eenvoudige zandfiltratie voldoende (in verband met mogelijke aangroei door bacteriën). Hiervoor zijn al verscheidene technieken in de handel. Het water is dan voor alle doelen geschikt, behalve als drink- en bad/douchewater.

Ook voor “afkoppeling” is de markt aanwezig: infiltratie is het meest gebruikelijke, soms is vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater het doel. Infiltratie kan plaatsvinden via wadi's of infiltratiesloten (zie foto 1). Ook kan via een ondergrondse infiltratie-unit gewerkt worden.

Veel wordt tegenwoordig gewerkt met infiltratiestenen: half doorlatende stenen, die soms zelf nog een bergingscapaciteit hebben. Deze laatste worden bijvoorbeeld gebruikt in de wijk Leidsche Rijn in Utrecht.



Foto 1a: Wadi in de wijk Leidsche Rijn te Utrecht

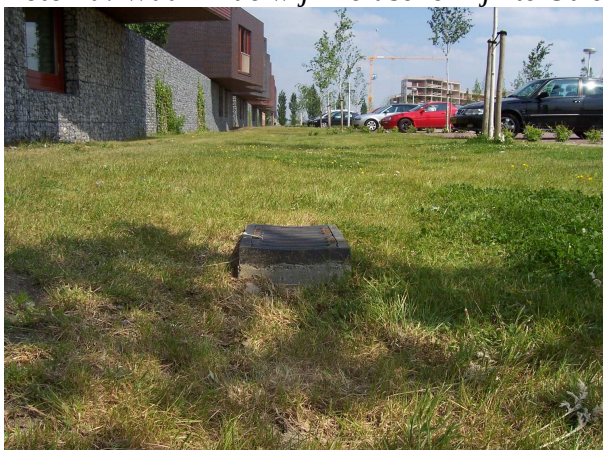
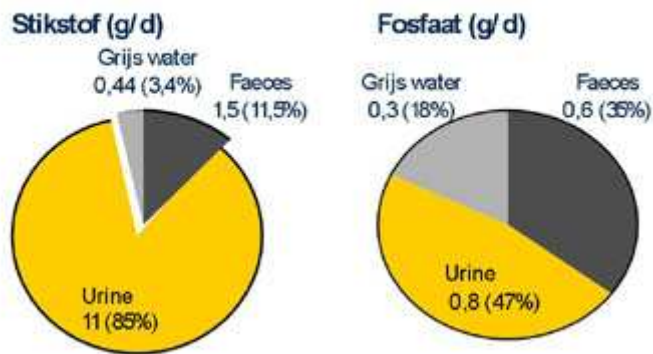


Foto 1b: Overloop voor regenwater tijdens intensieve buien

Afvalwaterscheiding

Het duidelijkste argument om in 'zwart water' (toilet water) 'geel' (urine) te scheiden van 'bruin' (fecaliën) wordt geïllustreerd door onderstaande figuur 2. Urine bevat 85% van alle stikstof en 47 % van alle fosfor die in zwart- en grijs water tezamen aanwezig is.

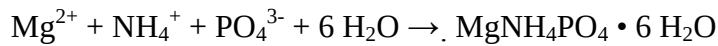


Figuur 2: Aandeel van resp. Urine (geel), Fecaliën (zwart) en Grijswater (grijs) in de totale vracht van stikstof en fosfaat. (bron: <http://www.netserver2.net/waterforum>)

Er wordt op dit moment zeer veel onderzoek gedaan op pilotschaal. Uitgangspunt vormen de scheidingstoiletten, waarvan in bijlage een overzicht wordt gegeven. Een aantal algemene kenmerken zijn hier reeds uit naar voren gekomen

- Het transport van urine naar een gebied waar het als meststof gebruikt kan worden is vanuit een ecologisch gezichtspunt tot 200 km acceptabel.
- Over de aanwezigheid van geneesmiddelen en andere milieuvreemde stoffen in de urine is in Zweden nog (te) weinig bekend.
- Het schoonhouden van de toiletten is vergelijkbaar met conventionele toiletpotten.
- Bij verstopping van de urineafvoer kan mechanisch gereinigd worden en chemisch met een zure oplossing.
- De urineafvoer moet een gelijmde of gelaste afvoer zijn, rubber ringen mogen niet gebruikt worden voor de onderlinge afsluitingen
- De urineleiding moet onder vrij verval van minimaal 1%, bij voorkeur 2%, aangelegd worden, waarbij de verzamelde urineafvoerpijp een diameter van meer dan 70 mm, bij voorkeur 110
- In de afvoerleiding zijn inspectie gaten heel erg handig.
- De urine wordt gescheiden ingezameld in centraal gelegen urinetanks. Men heeft niet direct een afzetmogelijkheid maar zoekt deze in de landbouw (verwerking m.b.v. SHARON mogelijk) (Roorda, 2005)

Fosfor (P), dat in hoge concentraties in urine wordt gevonden, is een uitputtende stof. Over 20~100 jaar zijn de natuurlijke reserves uitgeput. Fosfaat kan uit urine opgewerkt worden en gebruikt worden in plaats van de natuurlijk beschikbare fosfor. Winning uit urine vindt meestal plaats door struviet kristallisatie, volgens de volgende reactie:



Deze reactie vereist dat de concentraties fosfaat en ammonium in urine molair gelijk zijn. Dit is niet het geval. Vaak wordt daarom extra fosfaat toegevoegd aan de urine om de struviet precipitatie te optimaliseren. Bij een uitputting van mineraal fosfaat kan dit problemen opleveren.

Een andere mogelijkheid is om het 'overschot' aan ammonium te verwijderen via speciale technieken als 'Sharon' (biologische omzetting naar stikstofgas), of door striptechnieken, waarbij de gestripte ammonium door zwavelzuur wordt geleid, waarbij ammoniumsulfaat wordt gevormd, de grondstof voor kunstmest.

Bij toediening van urease gaat de neerslag van fosfaat 3x sneller, terwijl de vorming van ammonium (uit ureum) ook 3x sneller gaat (Gethke et al., 2006)

Om de nutriënten uit urine in de landbouw te kunnen toepassen zijn er zo een aantal opties:

1. Directe toepassing van urine in de landbouw
2. Winnen van struviet (als $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ of $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) uit urine.
3. Indampen van urine tot 90% van het oorspronkelijke volume
4. Winning van ammoniak uit urine (de Bruijn, 2006)

Jenneke van Vliet (2006) stelt in haar proefschrift dat naast de grootste voordelen niet alleen liggen in het hergebruik van nutriënten, maar daardoor ook de netto productie van energie, en tevens de hoge kwaliteit van het effluent, dat de nieuwe normen van de Europese Kaderrichtlijn water gemakkelijk kan halen. Daarnaast zal het de opschaling van RWZI's uitstellen en zullen kosten worden bespaard.

De redenen voor de toepassing van zo'n alternatief sanitatieconcept kunnen zijn:

- Voor toepassing in afgelegen gebieden, in deze gebieden kan je niet rioleren maar wordt wel afvalwater geproduceerd. Daar moet je dus een oplossing voor bedenken: bijvoorbeeld scheidingstoiletten met vergisting van faeces en lokale behandeling van grijs water;
- Snelle bevolkingsgroei in ontwikkelingslanden waar riolering geen optie is. Andere sanitatie concepten kunnen daar lokaal een probleem helpen voorkomen;
- Voor toepassing in landen waar een tekort aan water is. Waterloze toiletten zijn dan gewenst;
- Duurzame ontwikkeling, ook in landen en gebieden waar bovenstaande redenen niet opgaan;

Een bijkomend probleem echter wordt gevormd door de medicijn- en hormoonresten in urine. Over de biologische verwijdering hiervan is zeer weinig bekend (Larsen *et al.*, 2004). Uit eerste onderzoek blijkt de halfwaarde tijd van natuurlijke hormonen in een biologische reactor 15 minuten is. Het is onduidelijk wat dit in (biologisch afbreekbare) urine, (o.a. ureum) betekent. Uit ervaringen met huishoudelijk afvalwater (100 maal verdunde urine) blijkt dat de helft van de geneesmiddelen ongewijzigd door een RWZI heen gaan en in het effluent terechtkomen (Ternes, 2005).

Bij de toepassing van technieken voor de behandeling van urine, zoals voorgesteld in STOWA (2005), lijkt de verwijdering van de medicijnresten een goede nageschakelde stap te kunnen zijn. In STOWA (2005) is een overzicht gegeven van:

- Struviet precipitatie (*niet biologisch*). Daarbij komt een vaste stof vrij, die vrij is van medicijnresten. In de vrijkomende waterstroom bevinden zich de medicijnresten. Er wordt geen afbraak van medicijnresten verwacht.
- Biologische N verwijdering. Daarbij wordt ammonium en nitraat/nitriet omgezet in stikstofgas dat vervluchtigt. In de overblijvende waterstroom bevinden zich de medicijnresten. Deze worden door de korte verblijftijden in het systeem naar verwachting nauwelijks afgebroken. Wel vindt verwijdering plaats door adsorptie aan het slib. De retentie van slib in biologische systemen om urine af te breken is vele malen hoger dan in rioolwaterzuiveringsinstallaties (Larsen *et al.*, 2004; STOWA, 2005). Medicijnresten die aan het slib geadsorbeerd zijn, worden met het afgevoerde slib (de hoeveelheid is dus beperkt) verwerkt middels indikking, (vergisting,) ontwatering en verbranding.

Kästner *et al.* (2004) heeft onderzocht wat de afbraak is van nonylphenol en bisphenol A. Deze hormoonverstorende stoffen (die overigens niet in urine voorkomen) breken binnen 5-7 dagen tot bijna 90% af tijdens een gesimuleerde bodempassage. Voor andere hormoonverstorende stoffen en ook medicijnen wordt op grond van vergelijkbare chemische eigenschappen een dergelijke afbraak verwacht. Uit een groot EU-project POSEIDON is gebleken dat ruim 80% van de geneesmiddelen uit RWZI-effluent voor meer dan 90% afbreken en adsorberen aan de bodem. Desondanks worden een aantal belangrijke geneesmiddelen (carbamazepine en sulfamethoxazole) **niet** verwijderd en daarom teruggevonden in het grondwater (Ternes, 2005).

Naast biologische verwijdering van medicijnen uit afvalwater is er nog een aantal oxidatieve en fysisch chemische methoden.

- Dosering van chloor is onvoldoende effectief om alle medicijnen en hormonen volledig te oxideren (Ternes, 2005).
- Ozon is selectief voor medicijnresten en wordt in gedoseerde vorm toegepast. Een verwijdering tot 60% is aangetoond (Pronk *et al.*, 2004), waarbij de andere organische stoffen (ureum) slechts deels werden afgebroken. Als nabehandeling van een biologische methode wordt verwacht dat ozonisatie nog effectiever is (Larsen *et al.*, 2004). In effluent wordt een vergaande reductie van een deel van de stoffen gevonden bij ozonbehandeling (Joss, 2004).
- Met UV-behandeling is veel ervaring als methode voor desinfectie. Als referentie voor afvalwaterbehandeling is literatuur beschikbaar, voor urine is nog geen ervaring opgedaan.
- Onder geavanceerde oxidatie (AOP) wordt verstaan een combinatie zoals UV/H₂O₂, Ozon/UV, Ozon/H₂O₂. Het voordeel van deze technologiecombinatie is dat bij een juist ontwerp geen schadelijke bijproducten ontstaan. Er is geen ervaring met AOP voor verwijdering van medicijnresten uit urine. Bij rwzi's is een verwijdering van meer dan 90% gemeten voor medicijnen (Ternes, 2005).

- Vluchtige medicijnresten zouden door middel van strippen verwijderd kunnen worden. Vooralsnog wordt dit niet realistisch geacht voor de behandeling van urine.

Verdergaande technieken hebben een wisselend resultaat:

- Membraanfiltratie is een scheidingsmethode op grond van deeltjesgrootte (micro- en ultrafiltratie) en op grond van molecuulgewicht (nanofiltratie en reverse osmosis). Geneesmiddelen zullen door micro- en ultrafiltratie niet worden tegengehouden. Nanofiltratie en reverse osmosis zijn wel in staat om een groot gedeelte van de medicijnresten tegen te houden. Bijzondere vormen van membraanfiltratie zijn bijvoorbeeld electrodialyse, waarbij scheiden plaats vindt op basis van lading van moleculen.
- Pronk *et al.* (2004, 2004a) beschrijft onderzoek naar de verwijdering van aan urine gedoseerde ethinylestradiol, propranolol, ibuprofen, diclofenac en carbamazepin. Van deze stoffen werd 92%-98% door het membraan tegengehouden. Ureum werd volledig door het membraan doorgelaten, ammonium voor meer dan 50% en fosfaat werd tegengehouden. Hierbij blijven twee stromen over:
 1. Geconcentreerde stroom met fosfaat en medicijnresten. Fosfaat kan verwijderd worden door struviet te vormen, waarbij geneesmiddelen **niet** in de struvietmatrix worden opgenomen.
 2. Stikstofrijke waterstroom waaruit de stikstof geconcentreerd kan worden tot meststof.
- Bij elektolyse worden geladen componenten uit de urine gebonden aan het geladen membraan. Daarbij wordt de urine opgeconcentreerd. Het concentraat kan biologisch verwerkt worden, in combinatie met struvietvorming voor P-verwijdering. De medicijnresten zullen in het restproduct overblijven (Pronk *et al.*, 2004). Het lijkt erop dat de zouten in oplossing blijven (concentraat) en de medicijnresten adsorberen aan de electrodialyse membranen.
- Adsorptie aan actief kool kan door dosering van poederkool of doorstromen van een korrelkool reactor (Granular Activated Carbon, GAC). Voor medicijnresten kan een vergaande reductie worden behaald (Joss, 2004). Uit rwzi-effluent tot meer dan 90% (Ternes, 2005). Voor zover bekend, is er met de behandeling van urine geen ervaring opgedaan.
- Een combinatie van technieken kan waarschijnlijk zeer effectief zijn. Daarbij wordt gedacht aan combinaties als AOP en actief kool, of actief kool en nanofiltratie (ANF, Roorda *et al.*, 2004).

Literatuur

Bruijn, B. de, (2006): *Milieubelasting van 3 alternatieve sanitatiemogelijkheden vergeleken met het spoeltoilet, Bij toepassing in nieuwbouw*, Waste, Gouda

Bruijne, G. de (2003): *Riolering op de schop*, in: Neerslag 2003/V: 41-44

Gethke, K., H. Herbst, D. Montag, D. Bruszies en J. Pinnekamp (2006): *Phosphorus recovery from human urine*, Institute of Environmental Engineering, RWTH Aachen University, Water Practice & Technology Vol. 1 No 4, IWA Publishing 2006

Joss, A. (2004): *Arzneimittel in Wasser und Abwasser Schlussfolgerungen von POSEIDON*. Kooperationsforum Innovation der Wasserwirtschaftsinitiative NRW und der WEDECO AG „Arzneimittelrückstände und endokrin wirksame Stoffe in Trink- und Abwasser - Herausforderungen, Lösungen und Kosten

Kärstner, M., Müller, J., Kappelmeyer, U., Richnow, H.H. en Kusch, P. (2004): *Analyse des mikrobiellen Abbaus von organischen Spurenstoffen in Anlagen zur Abwasserbehandlung – Schicksal hormonell wirksamer Substanzen in bewachsenen Bodenfiltern*, in: Proceedings Bremer Colloquium Produktionsintegrierte Wasser-/ Abwassertechnik 2004, 'Pharmazeutische Reststoffe in Abwässern – Vorkommen – Gefährdungspotenzial – Techniken zur Eliminierung'. 13.-14. September 2004.

LOES, (2002): *'Hormoonontregeling boven water'*, RIZA/RIKZ-rapport 2002.001

McCann, B., (2007): *"Success with Sanitation?"*, Water21, Magazine of the International Water Association, October 2007, p 56-57.

Pronk, W., H. Palmquist, M. Biebow and M. Boller (2006): *Nanofiltration for the separation of pharmaceuticals from nutrients in source-separated urine*, Water Research, 40(7), 2006, 1405-1412

Roorda, J., N. C. Wortel en R. van Dalen (2004): *New process for treatment of organically fouled water: experiences with WWTP effluent*, in: Desalination Volume 178, Issues 1-3, 10 July 2005, Pages 141-148, Membranes in Drinking and Industrial Water Production

Roorda, J. (2005): *Verslag excursie 'Het Nieuwe Plassen' Toiletten met urinescheiding – de ervaringen in Zweden en Duitsland*

Rotmans, J. (2003) *Transitiemanagement: sleutel naar een duurzame samenleving*, van Gorcum uitgeverij, Assen

Stichting RIONED (2001): *Schoon uit het riool – af- en niet aankoppelen in de praktijk*, Veenman, Ede

STOWA (2005): *Afvalwaterketen ontketend*, Rapportnr. 2005-12, Utrecht

STOWA (2006): *Anders omgaan met huishoudelijk afval water*, Rapportnr. 2006-18, Utrecht

Ternes, T. (2005): *Assessment of technologies for the removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCP) in sewage and drinking water facilities to improve the indirect potable water reuse*. EU-project POSEIDON-project

Vliet, J. van (2006): *Trans(h)ition? Exploring the actor-networks constituting the arena for a transition in Dutch Sanitation*, WUR, 2006:

Weeda, R. (ed), 1994, *Ecological Strategies for Cities*, Municipality of Dordrecht, Dordrecht

Internetsites:

<http://themas.stowa.nl/Themas/Projecten.aspx?mID=7216&rID=852&aID=1620>

Bijlage 1: Proefprojecten

1. EET, Sneek

Achtergrondinformatie “Eet-project”

Het project in een woonwijk in Sneek wil aantonen dat decentrale zuivering werkt. Door waterbesparing, energieproductie en terugwinning van nutriënten kunnen gangbare rioolwaterzuiveringsinstallaties worden ontlast. Decentrale zuivering kan laten zien dat twintig of dertig keer geconcentreerd afvalwater energie oplevert in plaats van verbruikt

Van 32 woningen wordt toiletwater (zwart water) met behulp van een vacuümsysteem ingezameld en gescheiden van het overige huishoudelijk afvalwater (grijs water) afgevoerd. Dit wordt gedaan met behulp van een vacuümtoilet. Het toilet verbruikt 85% minder water dan een gangbaar toilet. Het zwarte water maakt het mogelijk menselijke messtoffen als stikstof en fosfaat opnieuw te gebruiken en als energie terug te winnen. Het zwarte water wordt onder vacuümdruk uit het toilet weggezogen. Er is daardoor nog maar één liter water per spoelbeurt nodig om urine en fecaliën door te spoelen in plaats van zeven liter of meer.

Voor de genoemde huizen is aansluiting op het riool niet nodig. Het zwarte water komt samen in een vacuümstation en in een vergistingsinstallatie gebracht. Daarbij ontstaat biogas. Biogas kan in een gasmotor verstoekt worden om elektriciteit op te wekken. Tevens wordt aan de vergistingsinstallatie magnesium toegevoegd waarmee stikstof en fosfaat worden gebonden. Op deze manier ontstaat struviet wat een vervanger is voor kunstmest.



Het project in Sneek is de eerste in de wereld waarbij afvalwater in een woonwijk wordt gezuiverd tot een kwaliteit gelijk aan een gangbare afvalwaterzuivering.

Voorlopige onderzoeksresultaten.

Bij 18 van de 32 huishoudens, die het zwart water op deze wijze inzamelen, is een enquête afgenomen. Hieruit is gebleken dat slechts 3 van de 18 huishoudens graag een conventioneel toilet hadden gewild in plaats van het vacuümtoilet. Door 4 van de 18 huishoudens is aangegeven dat zij het vacuümtoilet preferen boven het conventioneel toilet indien het geluid, dat het toilet maakt, gereduceerd wordt. Bij 10 van de 18 huishoudens speelt het geluid geen rol en deze huishoudens zouden, hoe dan ook, een vacuümtoilet willen en geen conventioneel toilet. Bij 1 huishouden is er twijfel. Verder is in november de waterstand van ca. 70% van de woningen opgenomen en is het gemiddelde waterverbruik per persoon per dag berekend. Dit komt neer op gemiddeld 67

liter drinkwater per persoon per dag. Dit is bijna 50% reductie ten opzichte van het landelijke gemiddelde. Deze vermindering is der mate hoog dat het niet enkel aan het toilet toe geschreven kan worden. Er is berekend dat door toepassing van het vacuümtoilet het waterverbruik zou worden gereduceerd naar 90 liter per persoon per dag: een besparing van 25%. Kennelijk heeft er bij deze mensen dus ook een 'instellingsverandering' plaatsgevonden, dat er voor zorgt dat er zorgvuldiger met water wordt omgegaan, waardoor nog meer water wordt bespaard.
(<http://themas.stowa.nl/Themas/Projecten.aspx?mID=7216&rID=852&aID=1620>)

**2. De Schoel in Sleen (Dr): 25 senioren woningen met urinescheidende toiletten
(oplevering 2008)**

3. Van nonolet tot compost: de kringloop hersteld (juli 2003 – april 2005) *SenterNovem projectnummer 0351-03-03-11-004)*

Beschrijving van de technologie

De Twaalf Ambachten heeft een klein, waterloos, reukloos en hygiënisch toilet ontwikkeld als alternatief voor een spoeltoilet, een nieuwe, aangepaste vorm van het gft-toilet, genaamd het 'nonolet' (afgeleid van het latijnse 'non olet', wat 'stinkt niet' betekent. Van het nonolet bestaan vier uitvoeringen, te weten:

- het nonolet voor in huis;
- het nonolet maritiem (een nonolet voor op een boot);
- het nonolet recreatie (voor caravan en buitenhuisje);
- het nonolet zorg (voor in ziekenkamer van een zorginstelling).

Het nonolet werkt volgens een heel simpel en niet eerder toegepast procédé, waarbij het vaste materiaal en het vocht gescheiden worden; het vaste materiaal droogt en blijft aëroob en reukloos.

Het nonolet heeft de vorm van een toilet met daarin een speciaal ontworpen emmer met een urinedrainagesysteem. In deze emmer wordt een composteerbare plastic zak gehangen, waarin zich de pre-compost vormt. Elke grote boodschap wordt bedekt met een paar velletjes extra papier en aangedrukt door een presse-papier, waarbij een vrijwel droog papier maché-achtig pakket ontstaat. De urine loopt weg langs het papierpakket en wordt door perforaties onderin de zak en een drainagetrechter onderin de emmer afgevoerd, afhankelijk van de situatie, naar het riool of een opslagtank.

Een tweepersoonshuishouden doet, bij dagelijks gebruik, tenminste twee weken met de plastic zak, voordat deze vol is. De in de emmer verzamelde fecaliën kunnen, met het gebruikte papier, meegegeven worden met het gft-afval.

Het nonolet is een eenvoudig te installeren toilet met een lage aanschafprijs. Indien nodig kan geurontwikkeling worden voorkomen door het aanbrengen van een kleine ventilator met een zeer laag vermogen (12 volt, 1 watt).

De haalbaarheid van de introductie in de GFT-keten wordt getest (van toilet tot compostkorrel) in Noord-Brabant.

Wat zijn nu de voor- en nadelen van het GFT-toilet?

Voordelen:

- beperkt het (drink-) watergebruik;
- minder belasting van de waterzuivering;
- reductie van het zuiveringsslib van de RWZI's;
- kan rioolvervangend werken;
- in te zetten als geen riolering aanwezig is, zoals bij evenementen, campings, schepen;
- de uit het GFT-toilet afkomstige compost kan kunstmest vervangen;
- deze compost heeft plantenziektewerende eigenschappen;
- draagt indirect bij aan beperking CO₂-uitstoot.

Nadelen:

- imago en onbekendheid van het GFT-toilet;
- handeling met fecaliën noodzakelijk;
- is alleen een totaaloplossing in combinatie met helofytenfilter voor behandeling van de afvalwaterstromen en dit filter betekent een extra ruimtebeslag;
- nog veel vraagtekens bij implementatiemogelijkheden.

Het nonolet is een verbeterde versie van het eerder ontwikkelde GFT-toilet, waarbij de compostering niet in huis plaatsvindt. Bij het GFT-toilet waren klachten over lichte geurontwikkeling en vliegjesoverlast van zijn voorganger, het composttoilet, al verholpen. Met het nonolet is verdere winst geboekt vanwege de beperkte ruimte die dit type toilet inneemt.

Een aantal combinaties:

Verrijkte compost

Orgaworld heeft een alternatief compostproduct ontwikkeld ten behoeve van de duurzame landbouw. Het product verbetert de bodem en functioneert tevens als bemester. Het wordt ook al geleverd aan de landbouw, zij het nog niet als korrel.

Het product van Orgaworld bestond al als product van gecomposteerd gft-afval. In dit project zijn de mogelijkheden onderzocht of gft-afval ook gecombineerd met faecaliën gecomposteerd kunnen worden. En dat blijkt mogelijk te zijn.

Het nu ontwikkelde product is de eerste in een reeks van alternatieve compostproducten die Orgaworld in de naaste toekomst op de markt zal brengen. Het bedrijf is er in geslaagd een uitzonderlijk hoge concentratie geselecteerde micro-organismen in dit compostproduct te ontwikkelen. Deze compost verkrijgt door de sterke aanwezigheid van deze micro-organismen extra verhoogde bodemvruchtbaarheidseigenschappen. Dit werkt groeibevorderend en daardoor "biostimulerend" in verschillende teelten.

(Eindrapportage project 'Haalbaarheid introductie GFT-keten: van toilet tot compostkorrel beginnende in Noord-Brabant', april 2005. 10)

Het kamerplantenfilter

De Twaalf Ambachten heeft gedurende de looptijd van het project een kamerplantenfilter t.b.v. afvalwaterzuivering (van urine en grijs water) ontwikkeld dat bruikbaar is in woonhuizen, woonboten, caravans. Het is gebaseerd op het begin jaren 80 bedachte vloeikassysteem, destijds door De Twaalf Ambachten ontwikkeld in samenwerking met de onderzoekers Lindström en Rockefeller. Ook is er sprake van grote verwantschap met het eerder ontwikkelde helofytenfilter.

Het kamerplantenfilter is een systeem, waarbij het vuile water via een door aarde afgesloten en met schelpengrit gevulde taps toelopende goot/geleideschot in een retentielaag terecht komt. Het water wordt vastgehouden in een door plantenwortels doorgroeide laag schelpengrit en aarde. Zodra de vastgehouden hoeveelheid water een bepaald niveau overstijgt, loopt het reeds deels gezuiverde water (het schelpengrit in de toeleidingsgoot is het eerste filter) over via een sleuf en vloeit via geperforeerde kanaalplaten uit over een tweede filtersubstraat, bestaande uit steenwol- en polystyreenkorrels.

Het kamerplantenfilter regenereert zichzelf. Dat houdt in dat bacteriën die het water in het filter zuiveren, gevoed worden door koolstof die vrijkomt bij het afsterven van plantenwortels.

Combinatie van vergisting en compostering

Bij Orgaworld wordt het aërobe composteringsproces voorafgegaan door een (anaëroob) vergistingsproces. Deze combinatie levert twee voordelen op:

1. duurzame energie in de vorm van methaangas dat door middel van een warmtekrachtkoppelinginstallatie gewonnen wordt uit gft, eventueel vermengd met faecaliën. Zo genereert Orgaworld groene electriciteit voor het net en warmte voor intern gebruik.

2. een dubbele hygiënische borging voor verwerking van faecaliën. De anaërobe hygiënische borging vindt plaats onder invloed van de in het anaërobe proces geproduceerde vluchtige vetzuren; de aërobe hygiënische borging komt tot stand door een temperatuurpiek tijdens de compostering van 55 – 75 graden Celsius, gedurende vier uur. Alle ziektekiemen verdwijnen volgens dit procédé.

In een experiment met luierinzameling volgens dit procédé in Almere, waarvoor Orgaworld een tijdelijke ontheffing is verleend, is dat aangetoond. Onderbouwing volgt in

het onderzoeksrapport van Orgaworld dat in augustus 2005 gereed zal zijn. Voor resten van hormonen en medicijnen is nog niet vastgesteld of die door dit procédé ook zodanig kunnen worden verwerkt dat ze verdwijnen dan wel onschadelijk gemaakt worden.

Gezien

de hoge temperatuur tijdens het verwerkingsproces en de combinatie van een aërobe en anaërobe bewerking kan dit proces qua hygienisatie de vergelijking met de techniek van rioolwaterzuivering goed doorstaan; er is minstens sprake van een vergelijkbaar resultaat.

4. Living Machine

Een Living Machine is een waterzuiveringsinstallatie waarbij afvalwater op een ecologische wijze wordt gezuiverd. Een Living Machine gebruikt en versnelt het proces van de natuur om water te zuiveren.

Met behulp van zonlicht en een beheerst milieu met daarin planten en organismen worden de verontreinigingen verteerd en afgebroken. Dit gebeurt in elkaar opvolgende stappen in cilindervormige reservoirs.

De afzonderlijke cilinders zijn met elkaar zijn verbonden zoals ook de ecosystemen in de natuur met elkaar verbonden zijn of de cellen in organismen. De cilinders worden dan ook wel aangeduid als cel.

Het afval dat wordt geproduceerd door de organismen in de ene cilinder stroomt met het afvalwater via een buis naar de volgende en is daar vervolgens voedsel voor een volgend organisme. De diverse micro-organismen, algen en verschillende soorten planten, slakken en vissen hebben zo een wisselwerking in cilinders en biofilters.

Het grote voordeel van een Living Machine is dat het (eventueel met nazuivering over een helofytenfilter) oppervlaktewaterkwaliteit als effluent heeft, weinig slib produceert en erg robuust is.

Afhankelijk van het klimaat kan een Living Machine worden geplaatst in de open lucht, een broeikas of onder een lichtdoorlatend dak (zie foto 2).

Projecten vinden op een aantal plekken in Nederland plaats (Emmen, dierentuin; Bolsward) en zijn op een aantal plaatsen in ontwikkeling (Duurzame Kennis Campus, Leeuwarden; EVA-Lanxmeer, Culemborg)



Foto 2: De Living Machine in de dierentuin te Emmen

Bijlage 2
Overzicht scheidingstoiletten

Plaatjes en beschrijving van urine-scheidingstechnieken

(Deels overgenomen uit: *Verslag excursie 'Het Nieuwe Plassen'*

Toiletten met urinescheiding – de ervaringen in Zweden en Duitsland, Jelle Roorda, 2005)



Foto 3: Opslag voor urine in de kelder

Soorten scheidingstoiletten

Dubbletten



De Dubbletten heeft geurproblemen en is niet echt gebruiksvriendelijk. Urine is altijd verontreinigd met faeces

- nadeel: ecologisch concept
- voordeel: door het afwijkende formaat
- “art-deco-achtig”
- pot voor gelovigen
- wijkt te veel af van bestaande toiletpot
- geurproblemen (Kullon)
- wordt veel vervangen door Gustavsberg

Gustavberg



Een waterslot in de urineleiding (via een verhoogde S-vorm urine leiding) is wel een voorwaarde, anders kan het gaan stinken. De aannemer (in Zweden) is al helemaal gewend met dit type potten te werken en houdt er al in vroeg stadium van de bouw rekening mee. De ruwe bouwsom wordt ongeveer 2000 euro hoger, bij de plaatsing van 2 toiletten per woning.

- toepasbaar in de normale situatie
- praktischer dan de Roediger (het drolplak-gedrag)
- door het pijpje gaat de urine (educatie)
- pijpje is makkelijk te repareren
- duidelijk en logisch toilet
- het pijpje oogt high-tech
- deze pot oogt modern
- de pot is inmiddels het derde model en is goed uitgewerkt

Wost Man Ecology

Deze pot heeft alleen nadelen: slechte scheiding, onpraktisch, lelijk



Roediger



Ingenieus systeem voor scheiding van de urine. Als de toiletbril wordt ingedrukt gaat de urineafvoer opstaan. Bij opstaan en doortrekken sluit deze vanzelf, waardoor de urine onverdund wordt afgevoerd. Dit type toiletpot is nog maar enige jaren op de markt.

- lijkt het meest op de gebruikelijke toiletten
- nadeel: lomp, het palletje kan vies worden
- geweldige technische vinding
- de laatste tijd veel verkocht (Oostenrijk)
- nog steeds het eerste model, er vindt nog geen optimalisatie plaats

Waterloze urinoirs



Foto 4: Waterloos urinoir in Gent

Er zijn twee verschillende types waterloze urinoirs: met een geurslot bestaande uit een *rubberen klep*, en met een geurslot bestaande uit een *vloeistof*. De rubberen klep opent als er vocht is en sluit terug als er geen urine/water meer komt. De klep moet periodiek vervangen worden.

Types met een vloeistof als geurslot werken volgens het principe dat de vloeistof lichter is dan water. De urine zakt naar onder en de vloeistof houdt alle geuren tegen. Deze vloeistof moet ook periodiek vervangen worden.

Sommige waterloze urinoirs worden gemaakt van glasvezelversterkte kunststof. Dit heeft als voordeel dat de urinoirs erg sterk en goed reinigbaar zijn. De stad Gent in België heeft voor haar openbare urinoirs gekozen voor de waterloze urinoirs van De Melker.

Ondertussen zijn er her en der 36 geplaatst en naar alle tevredenheid in gebruik.

Ifö Cero



Waterloos Urinoir

Uridan



Waterloos Urinoir

Lema (Laufen)



Laufen ontwikkelde Lema; een urinoir dat is voorzien van een van boven uitneembare sifon. Dit biedt vooral voordelen bij het onderhoud van openbare toiletten waar normaal tijdrovende demontagewerkzaamheden nodig zijn in geval van verstoppingen. Naar keuze is het urinoir beschikbaar met een 1 liter waterbesparende spoeling of als waterloos urinoir. De laatste uitvoering is volledig geurvrij en maakt geen gebruik van chemische ontstoppingsmiddelen.