



Karin Teunissen, TU Delft, thans Duinwaterbedrijf Zuid-Holland
 Anneke Abrahamse, Kiwa Water Research
 Harry Leijssen, Vitens
 Hans van Dijk, TU Delft

De wonderde wereld van de deeltjes in het pompstation

In de klassieke zuivering worden beluchting en snelfiltratie toegepast om onder meer ijzer uit het water te verwijderen. Bij onvolledige ontijzering wordt het leidingnet nog belast met opgelost ijzer en ijzerdeeltjes, waardoor klachten over bruin water kunnen ontstaan en van tijd tot tijd spuicaties nodig zijn. In samenwerking met Vitens en de TU Delft is op pompstation Harderbroek van Vitens Flevoland onderzoek uitgevoerd naar de processen en parameters die van belang zijn bij de verwijdering van ijzer. Het uiteindelijke doel van het onderzoek is het streven naar 'deeltjesvrij' water af pompstation, in het kader van Q21. Hierbij bleek dat operationele ingrepen als het terugspoelen en het schakelen van een filter een significante invloed hebben op de totale deeltjesconcentratie na snelfiltratie. Is de zuivering dan toch de bron van deeltjes? Deeltjestellingen geven antwoord. Bij kolomexperimenten werd een verrassend hoge ijzer(II)concentratie gemeten in het cascade-effluent. Komt de oxidatie wel op gang? Kolomexperimenten geven mogelijkheden voor optimalisatie.

Bij de bereiding van drinkwater uit grondwater is de ijzerverwijdering vaak het belangrijkste proces. Maar deze verwijdering verloopt lang niet altijd volledig. IJzer is de primaire oorzaak voor gekleurd water. IJzerdeeltjes zorgen voor verschillende esthetische en operationele problemen, zoals slechte smaak, kleur, sedimentatie en incidentele resuspensie van deeltjes in het distributienet. Jan Vreeburg sprak in 'De wonderde wereld van de deeltjes in drinkwater' al het vermoeden uit dat de pompstations een grote bron zijn voor deeltjes in het leidingnet⁵⁾. Daarnaast kan

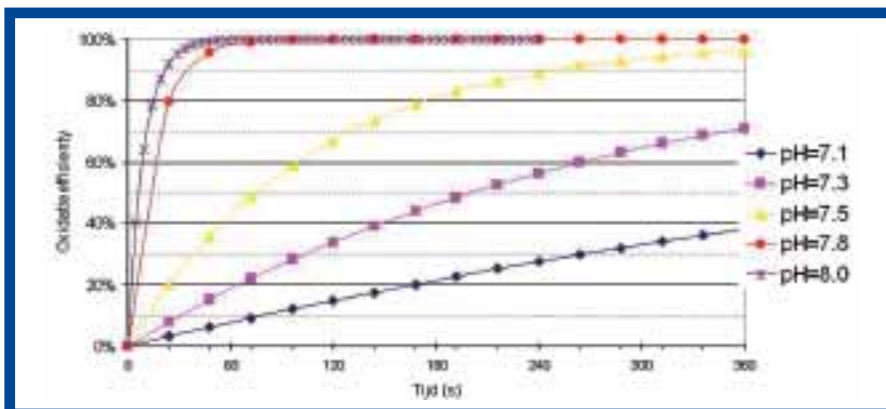
opgelost ijzer in het reine water in het net alsnog uitvlokken en voor een extra deeltjesbelasting zorgen. Het is dus van belang om beide te verwijderen: ijzerdeeltjes en opgelost ijzer. In Nederland geeft de drinkwaterwet een norm voor totaalijzer in het reine water van 200 µg/l. Verberk¹⁾ liet zien dat zelfs een ijzerconcentratie van 10 µg/l al tot uitvloeking in het net kan leiden. Binnen het BTO-project 'Klassieke zuivering' is onderzoek gedaan naar de ijzerverwijdering bij grondwaterpompstation Harderbroek (Vitens Flevoland) met als doel de ijzerconcentratie in het reine water verder te

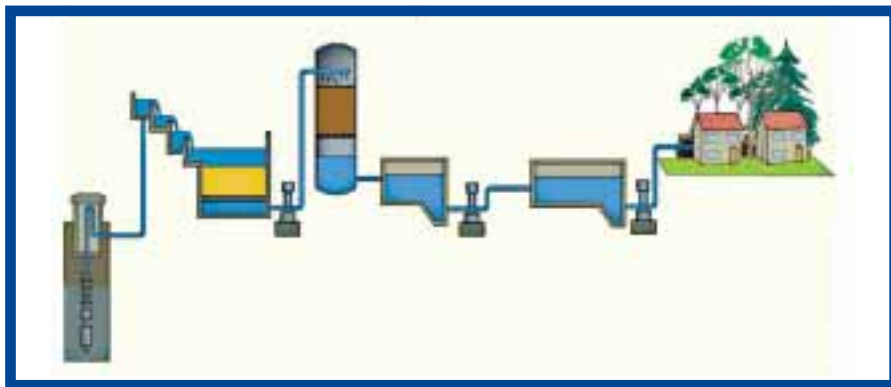
verminderen en te streven naar 'deeltjesvrij' water. Hierdoor kan de spui-frequentie worden verlaagd. Daarnaast is een opzet gemaakt voor een ijzerverwijderingsmodel, zodat de kennis op meer locaties kan worden gebruikt.

IJzerverwijdering

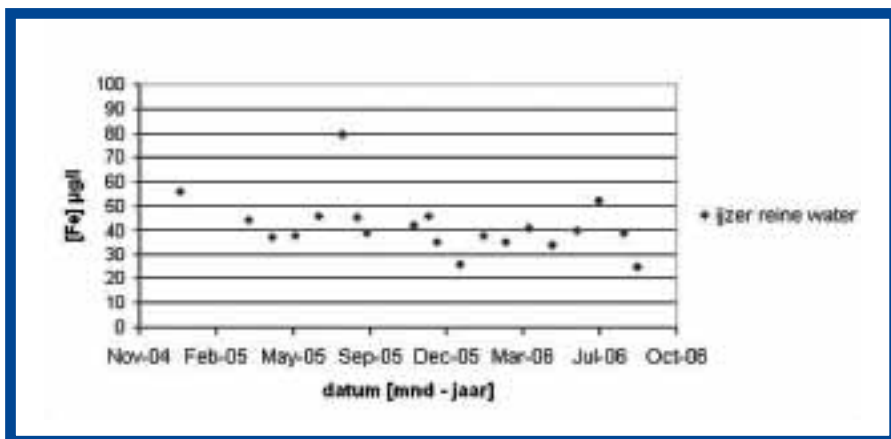
Binnen de klassieke grondwaterzuivering wordt ijzer verwijderd door het anaëroob grondwater te beluchten en te filtreren. In de filters kunnen verschillende mechanismen een rol spelen: vlokingsfiltratie, adsorptieve en biologische ontijzering. Welke van deze mechanismen dominant is hangt sterk af van de grondwaterkwaliteit en de procescondities²⁾. In de praktijk verlopen deze processen parallel en is het lastig om de verschillende mechanismen te kwantificeren. IJzer komt in anaëroob grondwater voor als opgelost ijzer(II). Door de oxidatie van ijzer(II) met zuurstof ontstaat ijzer(III). De oplosbaarheid van dit ijzer(III) is zo laag dat het geoxideerde ijzer(III) snel precipiteert in de vorm van ijzer(III)hydroxidedeeltjes. Deze kleine deeltjes kunnen vervolgens verder uitgroeien tot filtreerbare vlokken. De reactie is sterk pH-afhankelijk. Een lage pH verlaagt de reactiesnelheid. Afbeelding 1 laat de relatie zien tussen de pH en de snelheid van oxidatie. De vlokvorming hangt af van de menging en de verblijftijd.

Afb. 1: Oxidatie van ijzer als functie van de pH³⁾.





Afb. 2: Zuiveringsschema pompstation Harderbroek.



Afb. 3: IJzerconcentratie (totaal ijzer) in het reine water van Harderbroek.

Onderzoek

Bij vlokingsfiltratie worden de gevormde ijzerhydroxidevlokken verwijderd in een snelfilter. Bij adsorptieve ontijzering wordt het opgeloste ijzer(II) geadsorbeerd aan het oppervlak van de zandkorrels. In contact met zuurstof oxideert dit geadsorbeerde ijzer en vormt daarbij weer nieuwe plekken voor adsorptie. Deze mechanismen zijn in Stimela (Matlab/Simulink) gemodelleerd en in de literatuur zijn waarden gevonden voor kalibratieparameters. Omdat tijdens deze fase van het onderzoek slechts een beperkt aantal procescondities is getest, kon het model nog niet verder worden gevalideerd. Met het uitvoeren van een deeltjesfingerprint is een vinger gelegd op de wonder wereld der deeltjes. Een relatie wordt gelegd tussen operationele ingrepen in de zuivering en deeltjesdoorslag door het snelfilter. En met kolomexperimenten is het inzicht in de ontijzering te pompstation Harderbroek aanzienlijk vergroot, maar heeft ook vragen opgeroepen voor verder onderzoek. Dit gaat gebeuren op proeffilterschaal. Het uiteindelijke doel, het produceren van deeltjesvrij water om de schoonmaakfrequentie van het leidingnet omlaag te brengen, komt dichterbij.

Pompstation Harderbroek

De zuivering op pompstation Harderbroek bestaat uit cascadebeluchting, zandfiltratie, torenbeluchting en de reinwaterkelders (afbeelding 2).

De maximale productiecapaciteit van het pompstation bedraagt 1.800 kubieke meter per uur en de gemiddelde productie 800 kubieke meter per uur. Het reine water van

Harderbroek voldoet aan de wetgeving voor drinkwater. Toch is Vitens niet tevreden met de troebelheid en ijzerconcentratie. Het drinkwaterbedrijf wil door het verlagen van deze parameters de spulfrequentie verminderen en klachten over bruin water voorkómen. De gemiddelde ijzerconcentratie is 40 µg/l (zie afbeelding 3).

Overall deeltjes

Om inzicht te krijgen in de vorming en verwijdering van (voornamelijk) ijzerdeeltjes, is op verschillende plaatsen in de zuivering het water gekarakteriseerd met deeltjestellingen en chemische analyses. Hiermee is de 'nulsituatie' vastgelegd en is een deeltjesfingerprint van het proces verkregen. De resultaten hiervan verschijnen binnenkort⁴⁾. In het hier beschreven onderzoek is met name gekeken naar de deeltjesdoorslag van de snelfilters, omdat deze bepalend zijn voor de deeltjesbelasting van het distributienet. Voor dit onderzoek zijn de metingen in het filtereffluent gebruikt. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het vóórkomen van deeltjes tijdens stabiele (constante) bedrijfsvoering en vlak na operationele ingrepen. Twee operationele ingrepen zijn bekeken: een schakeling tussen filters en het terugspoelen van filters.

De deeltjesgrootteverdeling is gemeten met een 8 kanaals deeltjesteller in de deeltjesgrootterange van 1 tot 100 µm. De deeltjestellingen zijn omgerekend naar deeltjesvolumes om de bijdrage van operationele ingrepen aan de deeltjesbelasting van het distributienet te kwantificeren. Deze omrekening is uitgewerkt in het kader.



Deeltjesteller in bedrijf.

Na spoelen en schakelen nog veel meer deeltjes

De resultaten van de deeltjestellingen zijn in de afbeeldingen 4 en 5 weergegeven, waarbij de aantallen zijn omgerekend naar volume. Direct na het schakelen en het terugspoelen van een filter is een duidelijke toename in het aantal deeltjes en deeltjesvolume te zien. De piek na het schakelen van een filter duurde 30 minuten. De gemiddelde deeltjesconcentratie tijdens de piek is 19 (volume)ppb, terwijl dit 3 ppb is tijdens stabiele zuivering. Wanneer een filter eens per dag wordt geschakeld, is de deeltjesbelasting in dat halve uur (twee procent van de tijd) 15 procent van de dagelijkse deeltjesbelasting.

Het volume van een gemiddeld deeltje wordt bepaald met behulp van de nominale diameter d_g .

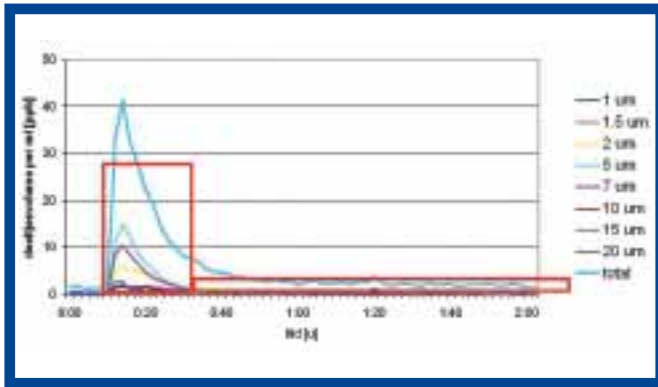
$$\text{volume } V_{(p)} = \frac{1}{6} \rho d_g^3$$

Het totale volume aan gemeten deeltjes is dan:

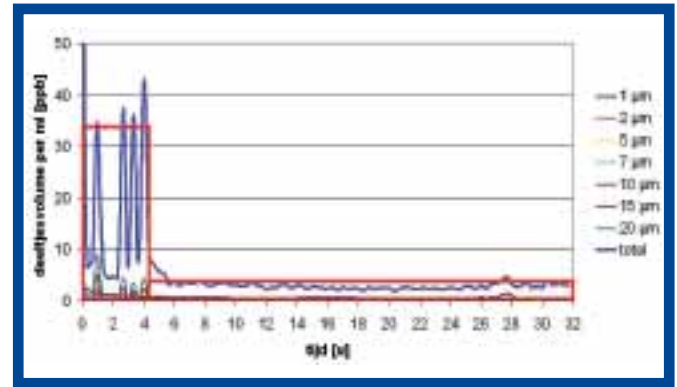
$$\begin{aligned} V &= N * V_p \quad (\mu\text{m}^3/\text{m}) \\ 1 \mu\text{m}^3 / \text{ml} &= 10^{-18} \text{m}^3 / \text{ml} \\ &= 10^{-18} \text{m}^3 / 10^{-6} \text{m}^3 \\ &= 10^{-12} \text{m}^3 / \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$1 \text{ ppb} = 10^{-9} \text{m}^3 / \text{m}^3$$

$$1 \text{ ppb} = 1000 (\mu\text{m})^3 / \text{ml}$$



Afb. 4: Deeltjesvolume in filtereffluent tijdens het schakelen van het filter.



Afb. 5: Deeltjesvolume in filtereffluent na het terugspoelen van het filter.

Daarnaast is een duidelijke piek in deeltjesvolume te zien gedurende de eerste vier uur nadat het filter is teruggespoeld (afbeelding 4). De totale filterlooptijd bedraagt 32 uur. Met een deeltjesconcentratie in de piek van bijna 20 ppb zorgt het eerste filtraat na het terugspoelen van een filter in 13 procent van de tijd (vier uur) voor 45 procent van het deeltjesvolume.

Hiermee is dus voor het eerst experimenteel bewezen dat Jan Vreeburg gelijk had met zijn stelling dat incidenten verantwoordelijk zijn voor het grootste deel van de deeltjesbelasting⁵. Om de bijdrage van deze pieken te verminderen wordt aanbevolen de zuivering zo vlak mogelijk te bedrijven en na het terugspoelen van een filter het eerste filtraat te recirculeren.

Minder deeltjes leiden tot schoner net en minder spuien

De situatie op pompstation Harderbroek (A) is vergeleken met de resultaten van eerder onderzoek bij een ander pompstation van Vitens (B): een pompstation met anaëroob grondwater met veel organische stof met als laatste stap snelfiltratie (zie tabel). Op Harderbroek bedraagt de gemiddelde deeltjesconcentratie in het reine water 5 ppb. Het distributienet bij pompstation Harderbroek moet nu eens per drie jaar worden schoongemaakt. Op pompstation B is de deeltjesconcentratie in het drinkwater 15 ppb. Daar ligt de reinigingsfrequentie ook hoger: ieder jaar. In een deel van het distributienet van pompstation B is een proef uitgevoerd waarbij de zuivering is uitgebreid met ultrafiltratie. De deeltjesconcentratie werd hierdoor verlaagd naar minder dan 1

Relatie deeltjesconcentratie in volume ppb in rein water en schoonmaakfrequentie distributienet.

pompstation	gemiddelde deeltjesconcentratie in rein water (ppb)	schoonmaakfrequentie distributienet
B	15	eens per jaar
A	5	eens per drie jaar
B + UF	1	eens per tien tot twaalf jaar (verwachting)

ppb. Metingen in het distributienet, dat voor het uitvoeren van de proef schoongemaakt was, geven een verwachte schoonmaakfrequentie van eens in de tien tot twaalf jaar. Hieruit lijkt de verwachting bevestigd dat een duidelijke relatie bestaat tussen de deeltjesconcentratie in het reine water en de schoonmaakfrequentie van het distributienet. Om de schoonmaakfrequentie van het distributienet daadwerkelijk omlaag te krijgen, zouden drinkwaterbedrijven zich moeten richten op een gemiddelde deeltjesconcentratie in het reine water van minder dan 1 ppb.

Oxidatie tweewaardig ijzer heel traag

Met vier kleine kolommen (diameter 9 cm, hoogte 40 cm) is de filtratiestap nagebootst. De kolommen waren voor 25 cm gevuld met materiaal uit de zandfilters (grind 0,8-1,25 mm). Op deze manier konden parameters snel gevarieerd worden. De toegepaste filtratiesnelheid was net als in de praktijkfilters 10,4 m/h. De kolommen zijn gevoed met ruw water, waarbij de voorbehandeling steeds wisselde. Elk experiment duurde vier uur, waarbij na één en na vier uur het influent en effluent van de kolommen zijn geanalyseerd op troebelheid, deeltjes en Fe²⁺ en totaal ijzer. Na elk experiment zijn de kolommetjes teruggespoeld met kraanwater. Hierbij

bedroeg de expansie van het filterbed 20 tot 28 procent.

Eerst is onderzoek verricht naar de invloed van de vlokvorming en -breuk in de cascades. G-waarde, verblijftijd, beluchting en ijzer(II)concentratie zijn gevarieerd. Daarna is de filtratiestap in twee van de vier kolommen gewijzigd: natronloog is aan het influent toegevoegd en bij enkele kolommen is het filtermateriaal vervangen door marmor (Juraperle korrels 1,1-1,8 mm) (zie foto). Als eerste zijn de experimenten uitgevoerd waarbij de G-waarde, de verblijftijd, de ijzer(II)concentratie en de beluchting gevarieerd zijn. De verschillende experimenten leverden echter geen significant verschil op in het filtereffluent. Wel viel op dat in het influent het ijzer voornamelijk in opgeloste vorm (niet-geoxideerd ijzer(II)) voorkwam (afbeelding 6). De oxidatie is dus helemaal niet op gang gekomen. pH-metingen (<7,5) gaven reden een trage oxidatie aan te nemen.

Snellere oxidatie na pH-verhoging

Om dit fenomeen verder te onderzoeken is het experiment uitgevoerd met natronloogdosering, tot een pH van 8,0. Daarnaast is in een experiment het filtergrind vervangen door marmor. Beide experimenten zorgen voor een afname van

Kolomopstelling met marmorfiltratie en filterzand Harderbroek.



de ijzer(II)concentratie in het filtereffluent (afbeelding 7). Met de pH-verhoging wordt de oxidatie dus aanzienlijk versneld. De concentratie totaal ijzer in het filtereffluent veranderde echter nauwelijks door een toename van de ijzer(III)concentratie. Een hogere pH zorgt dus voor een betere ijzeroxidatie en ijzer(II)verwijdering, maar optimalisatie van vlokvorming en -verwijdering is nog nodig om de totale ijzerverwijdering te verbeteren. Het is echter de verwachting dat met een hoger filterbed (twee meter in plaats van de kolommen van 30 cm) het ijzer(III) beter verwijderd zal worden.

Met de kolomexperimenten werd de sterke invloed van de pH op de ijzeroxidatie bevestigd. In afbeelding 8 is de ijzer(II)concentratie op een logaritmische schaal uitgezet tegen de pH. Opvallend is de zeer sterke correlatie, die ook overeenkomt met de theoretische verwachtingen uit de literatuur.

Conclusies

Voor het verminderen van de deeltjesvracht naar het distributienet van pompstation Harderbroek worden twee wegen bewandeld. Als eerste wordt de deeltjesvracht verlaagd door het aanpassen van de bedrijfsvoering. De fingerprint liet zien dat de operationele ingrepen, zoals het schakelen en het spoelproces, een significante bijdrage leveren aan het totale deeltjesvolume in het filtereffluent. Voor Harderbroek luidt dan ook het advies om de zuivering zo vlak mogelijk te bedrijven en het eerste filtraat te recirculeren.

Het tweede pad is een verdere verlaging van de deeltjesvracht door de verbetering van de ontijzering. De kolomexperimenten gaven inzicht in de oxidatie op Harderbroek. In de huidige situatie is de oxidatiesnelheid maatgevend, welke gelimiteerd wordt door een te lage pH. Hierdoor is het meeste ijzer, na de beluchting, nog aanwezig als opgelost ijzer(II). Een verhoging van de pH leidt tot betere oxidatie van ijzer(II). De vlokvorming en verwijdering van ijzer(III) behoeft nog extra onderzoek. Op pompstation Harderbroek worden nu de voorbereidingen getroffen voor pilotfilteronderzoek. Daarop kunnen ook de natronloogdosering en de marmerfiltratie verder onderzocht worden.

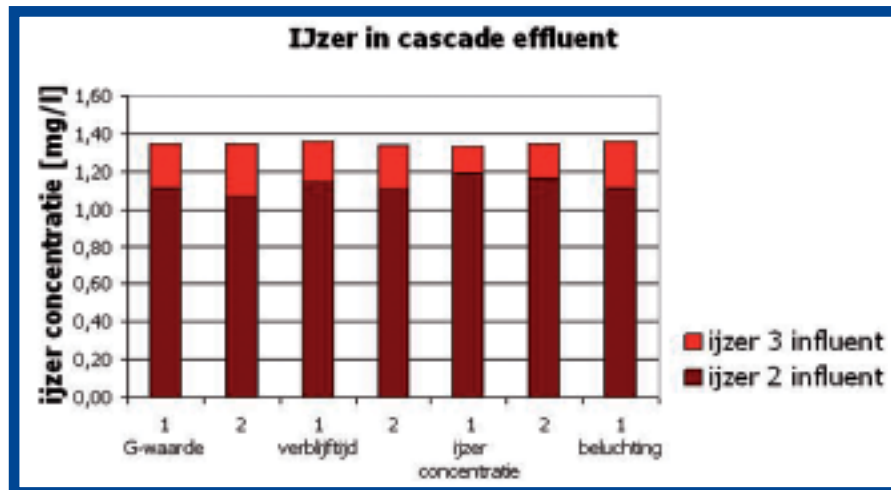
Een eerste opzet is gemaakt voor een ijzerverwijderingsmodel in Stimela. Het model geeft snel inzicht in alternatieven zonder dat voor elk alternatief aparte experimenten noodzakelijk zijn. De resultaten van het pilotfilteronderzoek zullen het model verder verbeteren door validatie en kalibratie. Naast de resultaten op pompstation Harderbroek is de opgedane kennis wellicht breder inzetbaar. Zo lijkt een relatie te bestaan tussen de deeltjesconcentratie in het reine water en de schoonmaakfrequentie van het distributienet. Misschien moet zelfs nagedacht worden over een richtlijn voor deeltjesvolume. Een deeltjesconcentratie van minder dan 1 ppb lijkt veelbelovend om het distributienet schoon te houden. Het onderzoek werd gekenmerkt door vele verrassingen en heeft duidelijk gemaakt dat we de klassieke zuivering weliswaar onder de knie hebben, maar dat een gedegen studie

van de wonderde wereld der deeltjes toch tot nieuwe inzichten leidt en... een betere zuivering!

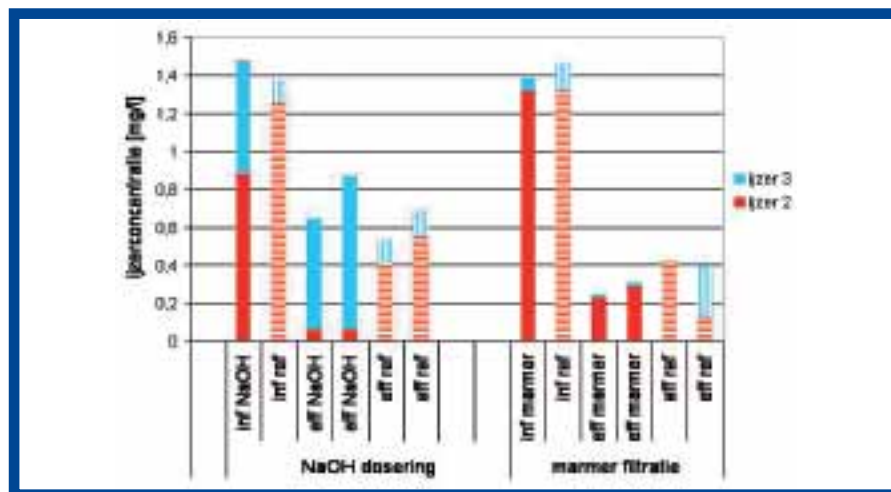
LITERATUUR

- 1) Verberk J., L. Hamilton en K. O'Halloran (2006). Water Science and Technology: Water supply jaargang 6 nr. 4, pag. 35-43. Volume mass, chemical composition and origin of particles in drinking water transportation pipelines.
- 2) Lerk C. (1965). Enkele aspecten van de ontijzering van grondwater. Proefschrift Technische Universiteit Delft.
- 3) De Vet W. (2007). Persoonlijke communicatie.
- 4) Raffin M., K. Teunissen en W. Siegers (2007). Particle fingerprint method development - Fingerprint of the treatment of Harderbroek. BTO 2007.015.
- 5) Vreeburg J. en J. van Dijk (2005). De wonderde wereld van de deeltjes in het drinkwater. H₂O nr. 7, pag. 33-35.

Afb. 6: IJzer(II) en ijzer(III)concentratie in cascade effluent.



Afb. 7: IJzer(II) en ijzer(III)concentratie bij kolomexperimenten met natronloogdosering of marmerfiltratie.



Afb. 8: Relatie ijzer(II)concentratie en pH tijdens kolomexperimenten.

