

Fosfaatverwijdering in rwzi's zonder en met vervanging van fosfaten in wasmiddelen

1. Inleiding

Het is algemeen bekend dat de toevoer (emissie) van fosfaten (veelal weergegeven als fosfor-P) naar het Nederlandse oppervlaktewater, in verband met de eutrofie-/hypertrofieproblematiek, gemiddeld veel hoger is dan toelaatbaar wordt geacht. De P-belasting van het oppervlaktewater verschilt echter sterk per regio. Het opstellen van regionale P-balansen is noodzakelijk indien maatregelen tot het verminderen van de P-belasting worden overwogen. In het rapport van de 'Stuurgroep Fosfaten':



IR. B. A. HEIDE
Instituut voor Milieuhygiëne
en Gezondheidstechniek TNO

Fosfaten in het Nederlandse oppervlaktewater [lit. 1] zijn schattingen vermeld van het effect van een aantal maatregelen om de P-toevoer naar het oppervlaktewater te verminderen. Afgezien van de invloed van grensoverschrijdende rivieren en het effect van het opvoeren van de biologische afvalwaterzuiveringscapaciteit in Nederland worden als voornaamste maatregelen fosfaatvervanging in wasmiddelen en defosfatering op rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) aangegeven. Het effect van dezelfde saneringsmaatregelen voor het stroomgebied van de Rijn boven Lobith werd door Scholte Ubijng uitgewerkt [lit. 2]. Voor de resultaten van genoemde berekeningen, wanneer beide maatregelen afzonderlijk of in combinatie worden toegepast, wordt verwezen naar de desbetreffende publikaties. Bij de rekenmodellen is, zonder aangegeven motivatie, uitgegaan van de aanname dat de P-reductie zonder aanvullende maatregelen in rwzi's procentueel en niet absoluut gelijk zal blijven indien fosfaten in wasmiddelen worden vervangen. De juistheid van deze aanname wordt van tijd tot tijd ter discussie gesteld.

In dit artikel wordt de fosfaatverwijdering op rioolwaterzuiveringsinrichtingen zonder en met vervanging van fosfaten in wasmiddelen nader beschouwd. Hiertoe zijn bedrijfsgegevens van een 70-tal rwzi's over het jaar 1978 van drie 'zuiverende instanties' verwerkt [lit. 3, 4, 5]. Dit aantal zou representatief geacht kunnen worden voor de Nederlandse situatie met betrekking tot het zuiveren van stedelijk afvalwater. Tevens zijn literatuurgegevens opgenomen uit de periode vóór de toepassing van (tripoly-) fosfaten in wasmiddelen (dus voor 1947-1953).

2. Fosfaatverwijdering in rwzi's zonder fosfaatvervanging in wasmiddelen

Uit de genoemde bedrijfsgegevens is berekend dat de gemiddelde samenstelling van het afvalwater bedraagt: CZV = 630 mg/l, BZV₅ = 260 mg/l, N-Kj = 58 mg/l en P-tot. = 16,5 mg/l.

De samenstelling van het afvalwater vertoont een grote variatie; de standaarddeviatie bedraagt 30-40 % voor de genoemde componenten. De verhouding tussen het BZV₅ en P-gehalte bedraagt ca. 16. Het verband tussen het totaal P-gehalte van het effluent en het totaal P-gehalte van het influent is weergegeven in de afb. 1, 2, 3 en 4. De hier gepresenteerde gegevens betreffen zuiveringssystemen waarbij geen mechanische voorzuivering plaatsvindt (oxydatiesloot, oxydatietank) en systemen waarbij wel sprake is van mechanische voorzuivering (actief-slib, oxydatiebed). Uit de afbeeldingen blijkt het volgende:

— biologische zuivering (oxydatiesloot/ oxydatietank) $P\text{-effl.} = -1,45 + 0,75 P\text{-infl.}$
corr.coëff. $r = 0,85$ (1)

— mechanische/ biologische zuivering (actief-slib/ oxydatiebed) $P\text{-effl.} = 1,27 + 0,63 P\text{-infl.}$
corr.coëff. $r = 0,79$ (2)

— er kan niet worden gesproken van verschillen in P-reductie die verbonden zijn met het type rwzi;

— worden alle gegevens tezamen verwerkt dan ontstaat het volgende verband (afb. 4) $P\text{-effl.} = -0,26 + 0,70 P\text{-infl.}$
 $r = 0,82$ (3)

Tevens is nagegaan of de BZV-belasting (kg BZV₅/kg slib.dag) of de P-belasting (kg P/kg slib.dag) invloed hebben op de fosfaatverwijdering. Aan de beschikbare gegevens kon geen verband tussen de

genoemde belastingen en de P-reductie in rwzi's worden ontleend.

In afb. 4 zijn de gemiddelde waarden van het P-gehalte van influent en effluent alsmede de standaardafwijking weergegeven ($16,5 \pm 5,0$ mg/l resp. $11,3 \pm 4,3$ mg/l). Deze gegevens sluiten goed aan bij bedrijfservaringen van een aantal landen die lager P-gehalten van het influent rapporteren. Bij een gemiddelde P-concentratie in het influent van 8-12 mg/l wordt in het effluent 5-8 mg/l teruggevonden [lit. 6].

De BZV/P verhouding van het afvalwater binnen en buiten Nederland wordt uiteraard bepaald door de afvalproductie per inwoner en niet door het waterverbruik. Wordt uitgegaan van een BZV₅-productie van ca. 54 g BZV₅/inwoner . dag en een totaal P-productie (incl. bijdrage van wasmiddelen) van ca. 3 à 3,5 g/inwoner . dag dan komt de daaruit te berekenen BZV₅/P-verhouding goed overeen met de verhouding die uit de bedrijfsgegevens volgt.

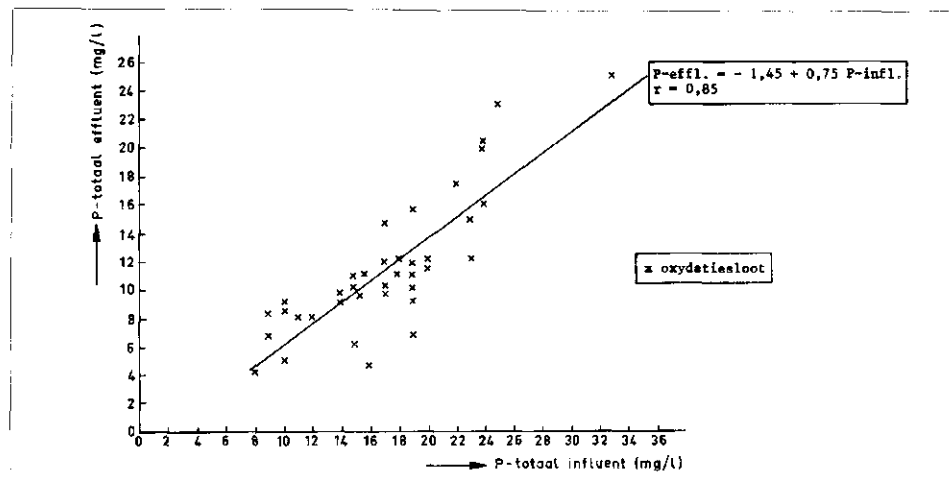
De procentuele fosfaatreductie blijkt nagenoeg onafhankelijk van het P-gehalte van het influent te zijn. Zo is uit vergelijking 3 te ontlenen dat 16,5 mg/l P in het influent leidt tot 31,5 % P-reductie en 8 mg/l P in het influent tot 33 % P-reductie.

Bij volledige vervanging van fosfaten in wasmiddelen zal het gemiddelde P-gehalte van het influent ongeveer worden gehalveerd. In de beschouwde situatie betekent dit dat het P-gehalte van het influent zal dalen tot gemiddeld ca. 8 mg/l. Mag vergelijking 3 nu ook worden gehanteerd om de fosfaatverwijdering op rwzi's te voorspellen? Immers de BZV₅/P verhouding zal worden verdubbeld.

3. De periode vóór het gebruik van fosfaten in wasmiddelen

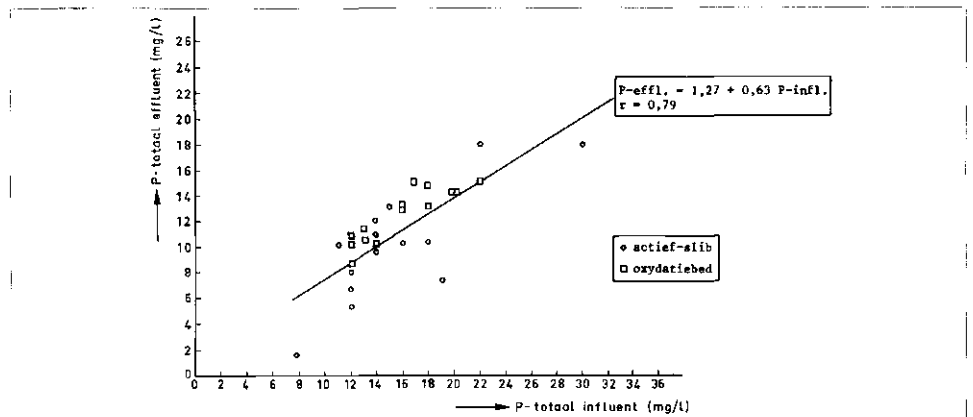
In de Verenigde Staten is omstreeks 1948 het gebruik van fosfaten (met name tripol

Afb. 1 - Fosfaatgehalten van influent en effluent van oxydatiesloten (gegevens ex lit. 3, 4, 5).

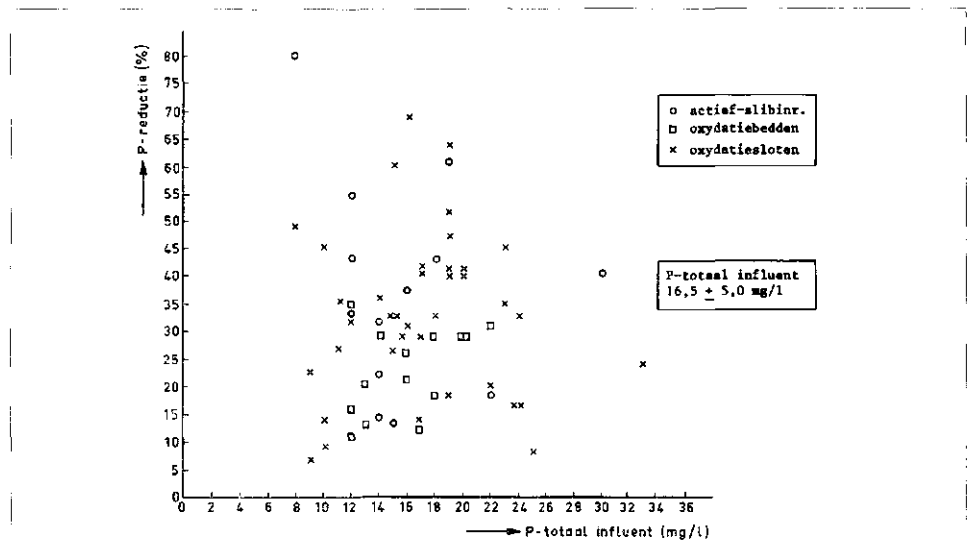


osfaat) in wasmiddelen sterk toegenomen [lit. 7]. Ook in andere landen is in het tijdvak 1947-1953 de toepassing van fosfaaten in wasmiddelen te signaleren. Wanneer de vermindering van het fosfaatgehalte in wasmiddelen wordt overwogen is het interessant om na te gaan of er relevante gegevens beschikbaar zijn over de afvalwaterzuivering vóór het genoemde tijdvak.

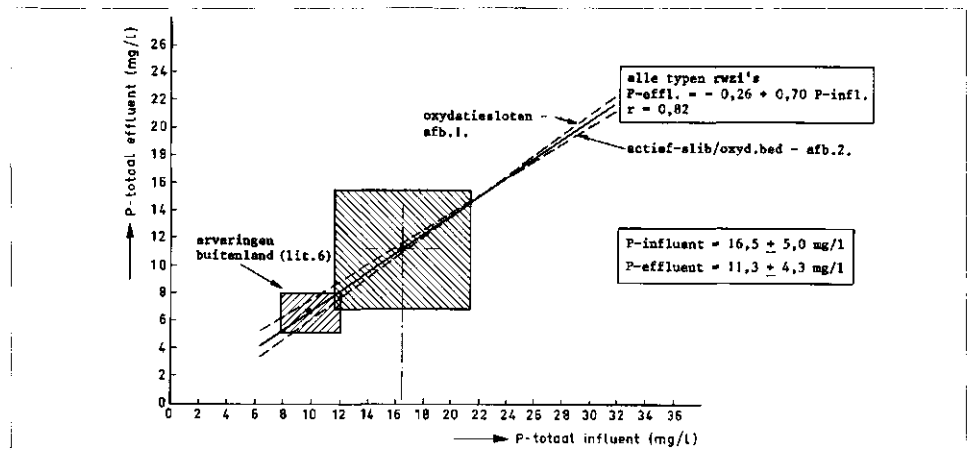
In de literatuur van vóór 1947 zijn helaas weinig gegevens te vinden over het P-gehalte in afvalwater, de P-verwijdering op rwzi's of het P-gehalte in zuiveringsslib. Bovendien is het vaak onduidelijk of ortho-P of totaal-P wordt gemeten, terwijl ook andere gegevens vrij onvolledig zijn opgenomen of ontbreken. Wel is het duidelijk dat er in de beschikbare gegevens een zeer grote spreiding in P-verwijdering op rwzi's is te constateren. In 1928 wordt bij mechanische zuivering 3-50 % P-verwijdering vermeld uitgaande van 20 mg/l osfaat (P₂O₅ ?) ofwel 8,8 mg P/l [lit. 8]. In 1947 vermeldt Rudolfs een P-productie van 0,7-1,5 g P/inwoner per dag [lit. 9]. Voor verdund afvalwater met ortho-P-gehalten van 1,75-4,0 mg/l (gem. 2,29 mg/l) vindt hij 33 % verwijdering bij mechanische zuivering en 90 % bij toepassing van oxydatiebedden. Andere onderzoekers velden lagere waarden. Schulz-Falkenhain meldt in 1948 een P-vracht in het ruwe afvalwater van 1,54 g P/inwoner per dag, waarvan 20 % door mechanisch-biologische zuivering wordt verwijderd [lit. 10]. Küller [1951 - lit. 11] geeft voor de gemiddelde samenstelling van het stedelijke afvalwater in Duitsland 360 mg BZV₅/l en 3 mg P₂O₅/l (= 10 mg P/l) aan. Als gevolg van mechanisch-biologische reiniging neemt het P-gehalte af tot 8,4 mg/l ofwel de P-verwijdering bedraagt 16 %. Dit gegeven is interessant omdat de BZV₅/P-verhouding 36 bedraagt en ongeveer 2 x zo hoog is als de huidige BZV₅/P-verhouding in Nederland (zie hoofdstuk 2, BZV₅/P = 16). Dit neemt niet weg dat hogere BZV₅/P-verhoudingen in principe zullen kunnen leiden tot betere P-verwijdering. In 1944 vermeldt Sawyer kort lopende laboratoriumexperimenten waarbij door het toevoegen van glucose aan afvalwater een hogere BZV₅/P-verhouding werd bereikt, als gevolg waarvan de slibproductie en de verwijdering toenam. Echter het P-gehalte in het slib nam af. Volledige P-verwijdering werd in zijn experimenten op boven een BZV₅/ortho P-verhouding van ongeveer 100 bereikt [lit. 12]. Imhoff citeert gegevens van een onderzoek, in 1949, waarbij de P-vracht in het afvalwater van 2,3 g P/inwoner . dag als gevolg van mechanische/biologische reiniging afneemt tot 1,23 g P/inwoner . dag, ofwel een reductie van 47 % [lit. 13]. In



Afb. 2 - Fosfaatgehalten van influent en effluent van oxydatiebed en actief-slibinstallaties (gegevens ex lit. 3, 4, 5).



Afb. 3 - Fosfaatgehalten van influent en fosfaatreductie in rwzi's (gegevens ex lit. 3, 4, 5).



Afb. 4 - Verband tussen fosfaatgehalten van influent en effluent van rwzi's.

1953 geeft Owen een P-productie van 1,5-3,5 g P/inwoner . dag aan. Reeds enige tijd zijn fosfaten (TPP) in wasmiddelen in gebruik, hetgeen de hogere waarden verklaart. De ondergrens komt overeen met de door Rudolfs genoemde bovengrens [lit. 9]. Owen vindt voor een 9-tal rwzi's

2-46 % (gemiddeld 23 %) P-verwijdering [lit. 14].

Deze opsomming geeft aan dat de spreiding in de percentages P-verwijdering op rwzi's evenals thans ook in de periode vóór invoering van fosfaten in wasmiddelen groot is geweest. De gegevens betreffen een

periode waarin de BZV₅/P-verhouding waarschijnlijk hoger is geweest dan thans gemiddeld het geval is (zie de gegevens van Müller), maar waarin zeker het P-gehalte in het afvalwater lager was dan het huidige gemiddelde in Nederland.

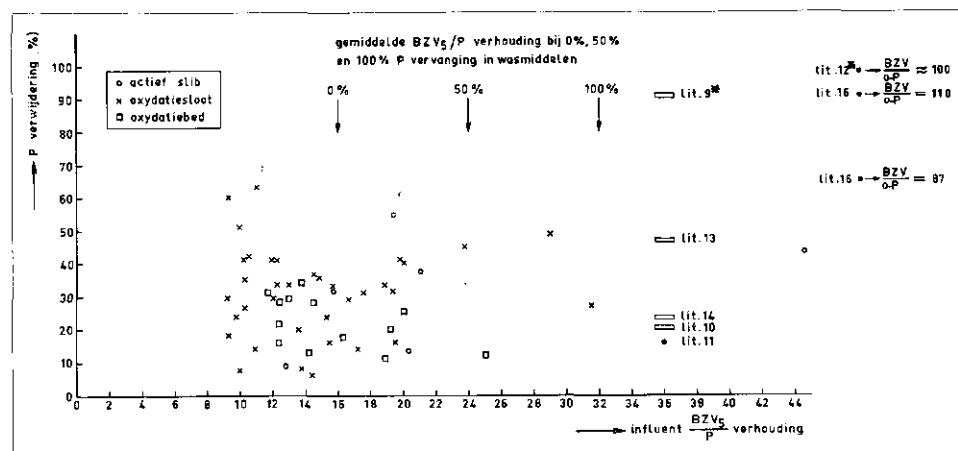
4. Vervanging van fosfaten in wasmiddelen en P-verwijdering in rwzi's

Indien fosfaten in wasmiddelen volledig worden vervangen zal het fosfaatgehalte in het afvalwater globaal worden gehalveerd. Hierdoor zal de BZV₅/P-verhouding verdubbelen. Thans bedraagt de BZV₅/P-verhouding gemiddeld 16; deze waarde zal derhalve circa 32 gaan bedragen. In afb. 5 is uit de verwerkte bedrijfsgegevens het verband tussen de BZV₅/P-verhouding en de P-verwijdering (%) weergegeven. Tevens zijn de in hoofdstuk 3 vermelde oudere gegevens opgenomen. Hierbij is een geschatte BZV₅/P-verhouding van ongeveer 54/1,5 = 36 gebruikt, tenzij exacte gegevens zijn vermeld. Als aanvulling zijn bovendien enkele recente gegevens opgenomen van totaal P-verwijdering bij zeer hoge BZV₅/ortho P-verhouding [geciteerd in lit. 16]. In lit. 16 wordt ook ingegaan op de invloed van de sibleeftijd op de P-verwijdering.

Uit afb. 5 is te ontlenen dat bij een hoge BZV₅/P-verhouding de P-verwijdering procentueel hoog wordt, hetgeen theoretisch ook te verwachten is. Immers voor de groei van micro-organismen (biologische zuivering) is fosfor vereist. Het blijkt evenwel ook dat verhoging van de BZV₅/P-verhouding ten gevolge van vervanging van de helft of van alle fosfaten in wasmiddelen (het traject BZV₅/P-verhouding van 16 tot 32) vrij weinig of geen invloed op de gemiddelde P-verwijdering op rwzi's zal hebben.

In het eerder genoemde KNCV-rapport is van deze veronderstelling uitgegaan, zij het

Afb. 5 - Verband tussen totaal P-verwijdering (%) en BZV₅/totaal P-verhouding van het influent. (* ortho-P reductie).



TABEL I - P-balans over rwzi's in relatie tot P-gehalte van het influent zonder en met vervanging van fosfaten in wasmiddelen.

0 % P-vervanging in wasmiddelen			50 % P-vervanging in wasmiddelen			100 % P-vervanging in wasmiddelen		
influent (mg/l)	effluent (mg/l)	P-reductie op rwzi (%)	influent (mg/l)	effluent (mg/l)	P-reductie op rwzi (%)	influent (mg/l)	effluent (mg/l)	P-reductie op rwzi (%)
25	17,2	31	18,8	12,9	31,5	12,5	8,5	32
20	13,7	31,5	15	10,2	32	10	6,7	32,5
15	10,2	32	11,3	7,6	32,5	7,5	5,0	33,5
10	6,7	32,5	7,5	5,0	33,5	5	3,2	35
gem.			gem.			gem.		
16,5	11,3	31,5	12,4	8,4	32	8,3	5,6	33

dat als gemiddelde P-verwijdering zonder en met vervanging van fosfaten in wasmiddelen 40 % is aangehouden hetgeen wat hoger is dan uit de hier verwerkte bedrijfsgegevens blijkt, namelijk ca. 32 %.

Het voorgaande in overweging nemende is vergelijking 3 gebruikt bij het globaal voorspellen van de gevolgen voor de fosfaatbalans van een rwzi bij vermindering van het P-gehalte van het influent. Bij de berekeningen is verondersteld dat de helft van het fosfaat dat thans in stedelijk rioolwater aanwezig is afkomstig is van wasmiddelen. Er zullen drie situaties worden beschouwd.

- (i) geen P-vervanging in wasmiddelen (huidige situatie)
- (ii) 50 % P-vervanging in wasmiddelen [lit. 15]
- (iii) 100 % P-vervanging in wasmiddelen [lit. 15].

Indien de vervangers van fosfaten de geldigheid van vergelijking 3 niet beïnvloeden geven tabel I en afb. 6 een aantal te verwachten resultaten van de P-reductie op rwzi's weer in relatie tot het P-gehalte van het aankomende rioolwater. Gezien de gelijkblijvende P-reductie (%) geldt tevens dat indien de P-toevoer naar

een rwzi met 25 of 50 % afneemt als gevolg van veranderingen in de samenstelling van de wasmiddelen ook de P-afvoer van een rwzi naar bijvoorbeeld het oppervlaktewater evenredig afneemt.

Ofschoon bovenstaande verwachting gemotiveerd kan worden zou het mijns inziens toch een goede zaak zijn een en ander te verifiëren door het verrichten van praktisch gericht onderzoek op vrij grote schaal onder gecontroleerde omstandigheden.

5. Defosfatering al of niet in combinatie met vervanging van fosfaten in wasmiddel

Uit regionale P-balansen kan blijken dat defosfatering op bepaalde rwzi's wenselijk is. Hiertoe worden metaalionen (Fe- of Al aan het afvalwater toegevoegd. Tot een niveau van totaal P-gehalte in het effluent van ca. 1,5 mg/l wordt veelal gevonden da de hoeveelheid benodigde chemicaliën evenredig is met de hoeveelheid P die naar een rwzi wordt toegevoerd. Voor het bereiken van lagere gehalten aan P in het effluent is naar verhouding een grotere hoeveelheid chemicaliën ten opzichte van vereist. Bij het gebruik van kalk gelden andere overwegingen (met name de pH), waarop in dit verband niet verder zal worden ingegaan. Het is niet onmogelijk dat uit regionale P-balansen zou blijken dat een P-gehalte in het effluent van 1,5 mg/l veelal acceptabel is mede in vergelijking tot de toevoer van fosfaat naar het oppervlaktewater van andere bronnen. Ten opzichte van de huidige situatie betekent dit ca. 90 % P-reductie. Tevens is deze waarde ook bereikbaar met de minst kostbare methode van defosfatering, te weten de simultane defosfatering.

Het verbruik aan chemicaliën ten behoeve van defosfatering zal afnemen als vervanging van fosfaten in wasmiddelen wordt gerealiseerd. Tabel II geeft hiervan een overzicht, waarbij als eis aan het P-gehalte in het effluent de genoemde waarde van 1,5 mg/l is aangehouden.

Indien lage gehalten aan fosfaat in het effluent worden nagestreefd bijvoorbeeld 1,5 mg/l aan P zal nagenoeg altijd defosfa-

TABEL 11 - Benodigde hoeveelheid chemicaliën bij defosfatering al of niet in combinatie met vervanging van fosfaten in wasmiddelen.

	0% P-vervanging in wasmiddelen	50% P-vervanging in wasmiddelen	100% P-vervanging in wasmiddelen
Influent gem. P-tot. (mg/l)	16,5	12,4	8,3
Effluent gem. P-tot. (mg/l)	11,3	8,4	5,6
is bijv. (mg/l)	1,5	1,5	1,5
P-tot. (mg/l) m.v. defosfatering	9,8	6,9	4,1
verbruik chemicaliën	100 %	ca. 70 %	ca. 40 %

ring moeten plaatsvinden. Alleen wanneer het influent een P-gehalte zou hebben van $\leq 2,5$ mg/l kan $\leq 1,5$ mg/l in het effluent worden bereikt zonder extra maatregelen (zie afb. 6). De huidige influenten zouden een totaal P-gehalte van 5 mg/l moeten hebben om bij volledige vervanging van fosfaten in wasmiddelen op genoemde waarde van 2,5 mg/l te komen.

een van de gerapporteerde influenten voldoet aan deze voorwaarde (zie afb. 1 en 2). Wordt uitgegaan van de gemiddelde waarden dan leidt tabel II tot de volgende evolutie. Bij 50% P-vervanging in wasmiddelen wordt een besparing van 30% aan chemicaliën berekend ten opzichte van een P-vervanging in wasmiddelen indien defosfatering tot 1,5 mg/l in het effluent wordt beoogd. Bij 100% P-vervanging in wasmiddelen bedraagt de besparing aan chemicaliën 60%. De meerproductie aan chemisch slijb zal in dezelfde mate afnemen. Indien defosfatering van het afvalwater wordt uitgevoerd dan dienen behalve de kosten voor chemicaliën ook de investeringen etc. ten behoeve van opslagsilo's, doseerapparatuur en dergelijke alsmede de aandacht van het bedienende personeel worden beschouwd. Deze punten zijn wel minder afhankelijk van het P-gehalte in het influent dan de benodigde hoeveel-

heid chemicaliën. De besparing aan totale kosten voor defosfatering bij vervanging van fosfaten zal in de praktijk derhalve duidelijk minder zijn dan de eerder genoemde percentages. Voor concrete situaties heeft het zin een en ander te berekenen, waarbij ook alternatieven voor methoden van defosfatering moeten worden beschouwd.

6. Samenvatting

Uitgaande van de bedrijfsresultaten van een 70-tal rwzi's in Nederland is het verband tussen het totaal P-gehalte van het influent en het effluent nagegaan. Voor de beschouwde afvalwateren (P-totaal van het influent = $16,5 \pm 5,0$ mg/l) bedraagt dit verband: $P\text{-effl.} = -0,26 + 0,70 P\text{-infl.}$ ($r = 0,82$). De P-reductie in diverse typen rwzi's blijkt nagenoeg onafhankelijk te zijn van het P-gehalte van het influent en bedraagt circa 32%. Deze resultaten sluiten goed aan bij gegevens die afkomstig zijn uit andere landen, waar veelal van verdunder afvalwater wordt uitgegaan. De gemiddelde BZV₅/P-verhouding van het afvalwater bedraagt 16. Deze verhouding zal stijgen indien fosfaten in wasmiddelen geheel of gedeeltelijk worden vervangen. Op basis van gegevens uit de periode vóór de invoering van fosfaten in wasmiddelen en de verwerkte bedrijfsgegevens blijkt dat in het te verwachten gebied van verandering van de BZV₅/P-verhouding de gemiddelde procentuele P-verwijdering op rwzi's nauwelijks zal worden beïnvloed. Derhalve is het genoemde verband tussen P-influent en P-effluent gebruikt om de gevolgen van gehele of gedeeltelijke vervanging van fosfaten in wasmiddelen op de P-balans van een rwzi te voorspellen. Voor de Nederlandse situatie zal altijd aanvullende defosfatering noodzakelijk zijn indien lage P-gehalten (bijv. $\leq 1,5$ mg/l) in het effluent worden nagestreefd. Bij 50% respectievelijk 100% vervanging van fosfaten in wasmiddelen neemt bij

defosfatering tot 1,5 mg P/l het verbruik van chemicaliën af met ongeveer 30 resp. 60%. De totale afname in kosten ten behoeve van aanvullende defosfatering zal in deze gevallen in de praktijk duidelijk lager zijn in verband met investeringskosten, kosten voor toezicht en onderhoud e.d., die niet zo sterk gekoppeld zijn aan de hoeveelheid te verwijderen fosfaat als de hoeveelheid benodigde chemicaliën. Praktijk gericht onderzoek op vrij grote schaal onder gecontroleerde omstandigheden om bovenstaande verwachtingen ten aanzien van de gevolgen van fosfaatvervanging in wasmiddelen op de fosfaatbalans en/of het chemicaliënverbruik bij aanvullende defosfatering te bevestigen is te overwegen.

Literatuur

1. Golterman, H. L. red. *Fosfaten in het Nederlandse oppervlaktewater*. Stuurgroep Fosfaten KNCV, Sigma Chemie 1976.
2. Scholte Ubung, D. W. *Nutriënten in de Rijn*. H₂O (13) 1980, nr. 5, blz. 97-104.
3. Hoogheemraadschap van Rijnland, Jaarverslag 1978 deel V, Afd. Chemie en Technologie.
4. Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant, Jaarverslag 1978.
5. Zuiveringschap West-Overijssel, Technologische Dienst, Overzicht werking rioolwaterzuiveringsinstallaties 1978.
6. OECD Wastewater treatment processes for phosphorus and nitrogen removal. Environment Directorate 1974, Paris.
7. Sawyer, C. N. *Some new aspects of phosphates in relation to lake fertilization*. Sewage and Industrial Wastes (24) 1952, blz. 768-776.
8. Kroll, Fr. *Neues über die Zusammensetzung und Reinigung der Berliner Abwässer*. Vom Wasser (2) 1928, blz. 179-195.
9. Rudolfs, W. *Phosphates in sewage and sludge treatment*. I. Quantities of phosphates. Sewage Works Journal (19) 1947, blz. 43-47.
10. Schulz-Falkenhain, H. *Zur Reinigung und Verwertung von Abwässern in der Landwirtschaft*. Gesundheits-Ingenieur (69) 1948, blz. 10-12.
11. Müller, W. *Vollständige Reinigung der Abwässer*. Gesundheits-Ingenieur (72) 1951, blz. 80-83.
12. Sawyer, C. N. *Biological engineering in sewage treatment*. Sewage Works Journal (16) 1944, blz. 925-935.
13. Imhoff, K. *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. 14e Druk, blz. 124. R. Oldenbourg, München 1951.
14. Owen, R. *Removal of phosphorus from sewage plant effluent with lime*. Sewage and Industrial Wastes (25) 1953, blz. 548-556.
15. Rapport van de Overleggroep Fosfaatreductie zoals samengevat in H₂O (13) 1980, nr. 4, blz. N 14.
16. Stall, T. R. and J. R. Sherrard. *Effect of wastewater composition and cell residence time on phosphorus removal in activated sludge*. J. Water Poll. Control Fed. (48) 1976, nr. 2, blz. 307-322.

afb. 6 - P-gehalten van influent en effluent zonder en met fosfaatvervanging in wasmiddelen en te verwijderen ΔP uit effluent bij aanvullende defosfatering tot 1,5 mg P/l.

