

VN31085.93-02

g e

..... r i o o l w a t e r -
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi
2000

RY3-02

ONDERZOEK DEMONSTRATIE-INSTALLATIES MAGNETISCHE DEFOSFATERING



**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Directoraat-Generaal Milieubeheer
Postbus 30945, 2500 GX Den Haag



ENVIMAG

Envimag BV

Postbus 31236, 6503 CE Nijmegen



RIZA

**Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling**

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

stowa

**Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer**

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

NN 3104:93.02



Toe

rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectieiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70411

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

ONDERZOEK DEMONSTRATIE-INSTALLATIES MAGNETISCHE DEFOSFATERING



auteur:

Envimag B.V.:

dr.ir. A.F.M. van Velsen

RWZI 2000 93-02

26 JAN. 1994

INHOUD

	BLZ.
INHOUDSOPGAVE	1
VOORWOORD	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	9
2. MAGNETISCHE DEFOSFATERING	11
3. BEDRIJFSRESULTATEN	15
4. EFFECTEN OP DE SAMENSTELLING VAN HET EFFLUENT	33
5. AFZET RESTPRODUKTEN	37
6. KOSTEN VAN MAGNETISCHE DEFOSFATERING	47
7. CONCLUSIES	53
8. REFERENTIES	55

VOORWOORD

In het kader van het onderzoekprogramma RWZI 2000 (projektnummer 3225/5) en de Stimuleringsregeling Milieutechnologie (projektnummer 51230/0410) is flankerend onderzoek verricht bij twee praktijkinstallaties voor magnetische defosfatering van stedelijk afvalwater. De installaties waren in het kader van een demonstratieproject gevestigd op de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) te Huizen onder de verantwoordelijkheid van het Zuiveringschap Amstel- en Gooiland en op de rwzi te Geldermalsen die onder beheer is van het Zuiveringschap Rivierenland. Voor de realisatie van deze installaties hebben de beide zuiveringsschappen een subsidie verkregen in het kader van de Regeling Innovatieve Overheidsaanschaffingen (projektnummer CB 09-89-55) van het Ministerie van Economische Zaken, alsmede een financiële bijdrage van de ministeries VROM en Verkeer & Waterstaat.

Het flankerend onderzoek diende om de bedrijfsvoering van de demonstratieinstallaties zodanig te ondersteunen dat het magnetisch defosfateringsproces onder praktijkomstandigheden goed kon functioneren. Belangrijke streefwaarden voor de praktijk waren:

- een P_{total} -gehalte van 0,5 mg/l of lager in het effluent na magnetische defosfatering;
- een magnetietverlies van minder dan 1 % van de gedoseerde hoeveelheid.

Daarnaast diende het onderzoek om mogelijk knelpunten op te lossen die zich bij de marktintroductie na de demonstratiefase zouden kunnen voordoen, zoals de nuttige afzet van het restprodukt.

Uitvoering van het onderzoek vond bij Huizen plaats in de periode november 1990 - juli 1992 en bij Geldermalsen in de periode mei 1991 - mei 1992. Op de rwzi Huizen is in verband met kalkafzetting in het magnetisch defosfateringsproces het laatste half jaar ook $FeCl_3$ gedoseerd in plaats van de gebruikelijke kalkdosering.

Het onderzoek is uitgevoerd door Smit Nymegen MWS, na 1 december 1991 door Envimag B.V., en ondersteund door het Zuiveringschap Amstel- en Gooiland en het Zuiveringschap Rivierenland.

De begeleidingscommissie bestond uit ir. A.J. van der Vlugt (VROM, voorzitter), ing. R. van Dalen (Zuiveringschap Veluwe), ir. C.J. van Haastrecht (NOVEM), ing. P.J.C. Kuiper (RIZA, vanaf juni 1991), ir. W. van der Panne (Zuiveringschap Amstel- en Gooiland), ing. J.G. Segers (Zuiveringschap Rivierenland), ir. P.C. Stamperius (STOWA), ir. W. van Starckenburg (RIZA, tot juni 1991) en ing. H.J. van Veen (IMET-TNO).

Lelystad, maart 1993

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

Prof. dr. J. de Jong

SAMENVATTING

De eerste praktijkinstallaties voor magnetische defosfatering zijn in het kader van een demonstratieproject gebouwd op de rwzi Huizen (capaciteit 300 m³/uur) en de rwzi Geldermalsen (capaciteit 600 m³/uur). Beide demonstratie-installaties worden toegepast voor fosfaatverwijdering uit het effluent van de biologische zuiveringsinrichtingen.

De initiële bedrijfsvoering van de beide installaties is uitgevoerd in het kader van het project "Flankerend onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering". Het flankerend onderzoek is mede gefinancierd door de ministeries VROM en V&W in het kader van de Stimuleringsregeling Milieutechnologie en door de STOWA en RIZA in het kader van het programma rwzi 2000. Het project had tot doel er zorg voor te dragen dat de demonstratie-installaties goed functioneerden. Daarnaast diende het onderzoek mogelijke knelpunten op te lossen die de marktintroductie na de demonstratiefase belemmeren. Het project is uitgevoerd door Smit Nymegen MWS, dat in december 1991 is overgegaan in Envimag B.V. Bij de bedrijfsvoering van de installaties is assistentie verleend door de betrokken zuiveringsschappen. Een aantal deelonderzoeken is uitgevoerd door Haskoning B.V.

Na de inbedrijfstelling en inregeling van de installaties zijn duurtesten uitgevoerd. De resultaten van de duurtesten zijn samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Resultaten van de duurtesten magnetische defosfatering op de rwzi's Huizen en Geldermalsen

Lokatie Precipitiemiddel Periode	Geldermalsen kalk 11'91-05'92	Huizen	
		kalk 11'91-02'92	FeCl ₃ 05'92-07'92
P-totaal influent magneet (mg/l)	4,1	6,5	4,8
P-totaal effluent magneet (mg/l)	1,2	0,8	0,67
P-verwijdering (%)	69	88	86
BZV in (mg/l)	6,4	22	37,7
BZV uit (mg/l)	3,8*	2,7	19,4
CZV in (mg/l)	55	68,5	78,3
CZV uit (mg/l)	38,4*	51,5	42,5
Zwevende stof in (mg/l)	7,8	7,7	30,2
Zwevende stof uit (mg/l)	4,*	41,9	17,5
Energieverbruik (kWh/m ³)	0,1	0,25	n.b.
Magnetietverbruik (g/m ³)	6,5	25,8	22
Polymeerverbruik (g/m ³)	1,2	1,35	1,35
Zuurverbruik (g/m ³)	219	254	n.v.t.
Kalk/FeCl ₃ (g/m ³)	108	168	121
CO ₂ -verbruik (g/m ³)	190	n.v.t.	n.v.t.
Productie restproduct (kg ds/kg kalk)	0,55	n.b.	n.v.t.
Productie restproduct (kg ds/kg Fe ³⁺)	n.v.t.	n.v.t.	4,78

* Analyses uitgevoerd in het totale effluent van de rwzi Geldermalsen. Minimaal 70% van het afgevoerde water is magnetisch gedefosfateerd.

Tijdens de duurtesten is de gemiddelde P-eindconcentratie van 0,5 mg/l niet gehaald. Uit de dagelijkse bemonstering bleek echter dat de P-totaal concentraties in dagmonsters van de magneet regelmatig lager waren dan 0,5 mg/l. Deze lage P-concentraties kunnen in potentie worden bereikt. Het niet bereiken van de streefwaarde van 0,5 mg/l P tijdens de duurtesten was het gevolg van storingen in de bedrijfsvoering. De storingen hebben zich vooral voorgedaan in de randapparatuur en de onderlinge afstemming van de procesonderdelen. De magneten hebben storingsvrij gefunctioneerd. Het storingsvrij maken van de demonstratie-installaties heeft meer tijd in beslag genomen dan voorzien. Gedurende de laatste maanden van de duurtesten (april 1992 tot mei 1992, respectievelijk juli 1992) was er in toenemende mate sprake van een gecontroleerde bedrijfsvoering.

De magnetische defosfateringsinstallaties bleken gevoelig voor kalkafzetting wanneer kalk als precipitatiemiddel wordt toegepast. Aangezien de installaties volledig gesloten zijn uitgevoerd, is het moeilijk de kalkafzettingen te voorkomen en te verwijderen. Dit geldt met name wanneer kalkafzetting plaatsvindt in de flocculatiebuis, zoals is geconstateerd bij ongestripte bedrijfsvoering. Wanneer wel CO₂ wordt gestript, vindt de kalkafzetting vooral plaats in de magneet en de effluentleidingen. Kalkafzettingen kunnen worden verwijderd door regelmatig te spoelen met een HCl-oplossing. Mede in verband met de technische problemen bij de toepassing van kalk is op de rwzi Huizen ook een duurtest uitgevoerd met FeCl₃ als precipitatiemiddel.

Op beide installaties wordt magnetiet teruggewonnen door de fosfaatreststof en het magnetiet fysisch van elkaar te scheiden en het magnetiet selectief af te scheiden met een magnetische drumseparator. Dit principe functioneert onder bedrijfsomstandigheden goed en voldoet aan de verwachtingen. Op de installatie Geldermalsen is het gemiddelde magnetietverlies 0,65% van de gedoseerde magnetiet. Dit is lager dan de streefwaarde van 1%.

Het totale energieverbruik op de rwzi Geldermalsen is conform de verwachtingen en bedraagt ca. 0,1 kWh/m³ water.

Het proces van magnetische defosfatering bleek gevoelig te zijn voor een sterke toename van het gehalte aan zwevende stof in het te defosfateren water. Wanneer een installatie wordt bedreven op de maximale ontwerpcapaciteit en het zwevende stof-gehalte wordt hoger dan ca. 30 mg/l dan spoelt magnetiet uit en daalt het P-verwijderingsrendement. Onder deze omstandigheden gaat veel magnetiet verloren.

De effluentkwaliteit verbetert bij magnetische defosfatering. De concentraties aan BZV, CZV en zwevende stof nemen significant af. Daar staat tegenover, dat bij gestripte bedrijfsvoering het Ca²⁺-gehalte en het sulfaatgehalte in het effluent aanzienlijk toenemen. Vanwege de toename in de calcium- en sulfaatconcentratie is CO₂-strippen in toekomstige installaties niet aantrekkelijk.

De afzet van het kalkrestprodukt naar de landbouw (onderhoudsbekalking) biedt weinig perspectief, alhoewel de zuurbindende waarde van het produkt goed is. Economisch kan het kalkrestprodukt niet concurreren met andere reststoffen, terwijl het P-gehalte een belemmering vormt voor de afzet in mestoverschotgebieden.

De toepasbaarheid van het kalkrestprodukt als grondstof voor de fosfaatproductie lijkt op dit moment alleen perspectieven te bieden bij Hoechst B.V. Op basis van ervaringen met een tweetal ladingen fosfaatslib en de door Hoechst uitgevoerde analyses, is het bedrijf in principe bereid grootschalige afname te testen aan de hand van afname van het restprodukt, dat op de rwzi Geldermalsen wordt geproduceerd. Hiervoor is het nodig dat het restprodukt wordt ontwaterd tot 50% D.S. Uit ontwateringstesten met mobiele installaties is gebleken dat mechanische ontwateringstechnieken (decanteercentrifuge, ontwateringscontainer, kamerfilter-

pers) niet in staat zijn het restprodukt te ontwateren tot 50% D.S. Bij ontwatering op droogbedden is het onder goede weersomstandigheden wel mogelijk het restprodukt te ontwateren tot droge stof-gehaltes boven 50%.

Bij de andere fosfaatproducenten (Kemira, Hydro-Agri, Amsterdam Fertilizer e.d.) kan het kalkrestprodukt niet worden afgezet vanwege de stankontwikkeling bij de chemische P-ontsluiting of vanwege de onzekerheid in de continuïteit van deze industrietak.

De afzet van het kalkrestprodukt en het ijzerrestprodukt naar de baksteen-industrie lijkt enige perspectieven te bieden, zij het dat er aan een aantal samenstellingseisen moet worden voldaan en dat er een sterke concurrentie is van andere reststoffen. Dit mogelijke afzetkanaal wordt nog verder uitgewerkt.

Op grond van de ervaringen met de demonstratie-installaties zijn de exploitatiekosten geraamd van magnetische defosfatering. Hiertoe zijn "tweede generatie" systeemvarianten ontworpen, die geschikt zijn voor magnetische defosfatering met kalk zonder CO₂-strippen. De geraamde exploitatiekosten zijn samengevat in tabel 2.

Tabel 2. Jaarlijkse exploitatiekosten van magnetische defosfatering met kalk zonder CO₂-strippen. De kosten zijn gebaseerd op 2e generatie installaties, inclusief mechanische slibontwatering. De afvoer- en afzetkosten restprodukt zijn op nul gesteld. De kosten zijn inclusief BTW.

capaciteit (i.e.)	jaarlijkse exploitatiekosten (fl/i.e., jaar)
20.000	24,80-27,00
50.000	21,40-22,90
100.000	17,60-18,60

De kosten van magnetische defosfatering zijn relatief hoog ten opzichte van andere defosfateringstechnieken. Alleen de kosten voor defosfatering met de korrelreactor zijn in dezelfde orde van grootte.

Sinds de aanvang van de demonstratieprojecten in 1989 is de interesse van waterkwaliteitsbeheerders voor systemen, die uitsluitend fosfaat verwijderen, afgenomen. Dit is met name het gevolg van het feit dat naast fosfaat vanaf 1998 ook stikstof verregaand moet worden verwijderd.

1 INLEIDING

In het kader van de bestrijding van de vermisting van het oppervlaktewater is er onderzoek verricht naar de ontwikkeling van nieuwe technologieën voor de fosfaatverwijdering uit stedelijk afvalwater. Eén van de nieuwe technieken is magnetische defosfatering.

Na uitgebreide testen op semi-technische schaal (1) is de technologie geoptimaliseerd met een 50 m³/uur testopstelling op de rwzi Groesbeek (2). De succesvolle resultaten met deze testopstelling vormden de basis voor de bouw van twee demonstratie-installaties op praktijkschaal, namelijk

- op de rwzi Huizen, capaciteit max. 300 m³/uur
- op de rwzi Geldermalsen, capaciteit max. 600 m³/uur.

Bij de voorbereiding van het demonstratieproject is besloten demonstratie-installaties te realiseren op twee rioolwaterzuiveringsinstallaties, waar verschillende biologische zuiverings-systemen worden toegepast. Op deze manier kan de toepasbaarheid van magnetische defosfatering voor verschillende typen rioolwaterzuiveringsinstallaties zonder tijdverlies worden vastgesteld.

De beide demonstratie-installaties zijn gebouwd als complete praktijkinstallaties, die continu en automatisch in bedrijf kunnen zijn.

De magnetische defosfateringsinstallaties zijn een wereldprimeur. Het zijn de eerste installaties, waarbij magneten op praktijkschaal worden toegepast voor de verwijdering van fosfaat uit afvalwater.

De initiële bedrijfsvoering van de beide installaties is uitgevoerd in het kader van het project "Flankerend onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering".

Het project had tot doel er zorg voor te dragen dat de demonstratie-installaties goed functioneerden. Daarnaast diende het onderzoek mogelijke knelpunten op te lossen, die de marktintroductie na de demonstratiefase belemmeren.

Het onderzoek is uitgevoerd door Smit Nymegen MWS, na 1 december 1991 door Envimag B.V., een zelfstandige onderneming waarin de activiteiten van Smit Nymegen MWS zijn ondergebracht. De contractpartner was Smit Transformatoren B.V.

Een aantal deelonderzoeken is uitgevoerd door Haskoning B.V. De deelonderzoeken hebben betrekking op een studie naar de kalkafzettingen, een evaluatie van de automatisering van de installaties, de afzet van de restprodukten en het opstellen van kostencalculaties.

De resultaten van het flankerend onderzoek zijn in dit hoofdrapport samengevat. De rapportage van de deelonderzoeken zijn verkrijgbaar bij Haskoning B.V.

2 MAGNETISCHE DEFOSFATERING

2.1 Principe

Magnetische defosfatering is gebaseerd op de verwijdering van fosfaat uit water met behulp van magnetische krachten.

Hier toe wordt het water eerst voorbehandeld, waarbij het fosfaat wordt neergeslagen met kalk of met 3-waardige metaalzouten. Hierbij ontstaan onoplosbare calciumfosfaat verbindingen, respectievelijk onoplosbaar ijzerfosfaat. De precipitaten worden magnetisch gemaakt door ze te hechten aan magnetiet, een fijn ijzeroxidepoeder (Fe_3O_4). Voor de hechting van de beide deeltjes wordt polymeer gedoseerd.

De gevormde magnetische deeltjes worden effectief afgevangen in een speciaal voor waterzuivering ontwikkelde magneet. Na passage van de magneet is het water gedefosfateerd. De in de magneet afgevangen deeltjes worden periodiek uit de magneet gespoeld en in een secundair proces verwerkt.

De afgevangen deeltjes worden door middel van fysische afschuifkrachten weer gescheiden in magnetiet en fosfaatprecipitaat. De magnetiet wordt selectief uit het mengsel verwijderd en weer gebruikt bij de waterbehandeling. Het fosfaathoudende restprodukt kan worden gestort of opgewerkt om het geschikt te maken voor hergebruik.

Op grond van eerder onderzoek (2) zijn de volgende belangrijke streefwaarden voor het proces opgesteld:

- het totaal P-gehalte na magnetische defosfatering is 0,5 mg/l of lager,
- het magnetietverlies is minder dan 1% van de gedoseerde hoeveelheid.

Magnetische defosfatering van rioolwater kan in principe op verschillende plaatsen in het zuiveringsproces worden toegepast, bijvoorbeeld op voorbezonden influent (deelstroom), op het effluent (3^e trapszuivering) en op het slibwater bij biologische P-verwijdering in de sliblijn. In de beide demonstratie-installaties wordt magnetische defosfatering toegepast voor P-verwijdering uit het effluent. De belangrijkste voordelen van nageschakelde defosfatering zijn de vorming van gescheiden, voornamelijk anorganisch restprodukt en het feit dat de biologische behandeling van het afvalwater niet wordt beïnvloed.

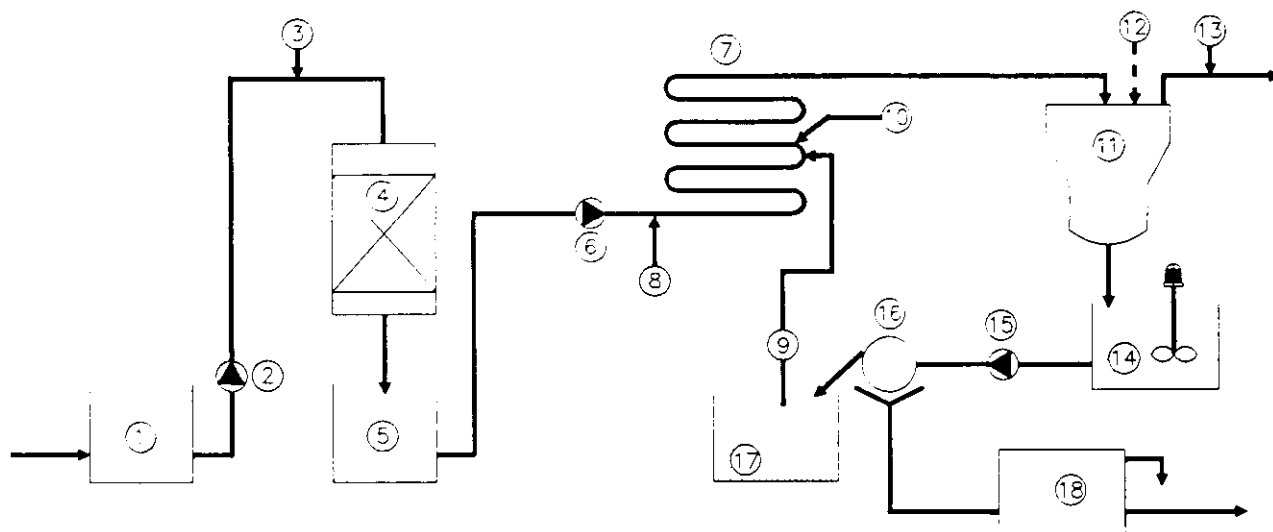
2.2 Beschrijving demonstratie-installaties

De beide installaties zijn identiek van opzet. Een belangrijk verschil in de uitgangspunten bij het ontwerp vormde de status van de installaties. De installatie te Huizen is beschouwd als een tijdelijke opstelling, aangezien er reeds plannen bestonden voor verbouw/nieuwbouw van de installatie in 1994/1995. De demo-installatie op de rwzi Geldermalsen is ontworpen als een definitieve proces-eenheid.

De installaties zijn modulair opgezet. Dit betekent dat bij het ontwerp van volgende installaties gebruik gemaakt kan worden van complete standaardonderdelen.

De installatie in Huizen bestaat uit één behandelingsstraat met een debiet, dat gevarieerd kan worden tussen 120-300 m³/uur. De installatie in Geldermalsen bestaat uit 2 volledig gescheiden waterbehandelingsstraten, elk met een maximale capaciteit van 300 m³/uur. De centrale voorzieningen, zoals aanmaak/opslag chemicaliën, magnetietterugwinning en de slibopslag, zijn voor beide straten gecombineerd.

De functionele componenten van de demonstratie-installaties zijn weergegeven in figuur 2.1.



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 = Buffertank/pompput | 10 = Polymeerdosering |
| 2 = Toevoerpompen | 11 = Magneet |
| 3 = Zuurdosering CO ₂ -strippen | 12 = Perslucht spoelen |
| 4 = CO ₂ Stripper | 13 = pH-Neutralisatie |
| 5 = Stripperopvangbak | 14 = Spoelvat |
| 6 = Intermediaire pompen | 15 = Disruptie-pomp |
| 7 = Flocculatie-/Coagulatiebuis | 16 = Magnetische drumseparator |
| 8 = Kalkdosering | 17 = Magnetietvoorraad |
| 9 = Magnetietdosering | 18 = Restprodukttank |

Figuur 2.1 Functionele componenten demo-installaties magnetische defosfatering.

In de CO₂-stripinstallatie wordt na zuurdosering het CO₂ met lucht uitgedreven in een stripkolom. De stripkolom bestaat uit een gepakt bed, waarin van de onderzijde met overdruk lucht wordt geblazen.

CO₂-strippen is in het proces opgenomen om de kalkdosering te verlagen en het P-gehalte in het restproduct zo hoog mogelijk te maken in verband met de afzet naar de fosfaatproducerende industrie.

De watervoorbehandeling wordt uitgevoerd in een flocculatiebuis. In de buis wordt achtereenvolgens kalk (precipitatiemiddel), magnetiet (magnetisch dragermateriaal) en polymeer gedoseerd. In de buis vormen zich vlokken, bestaande uit fosfaatprecipitaat en magnetiet. Bij het ontwerp van de demonstratie-installaties is uitgegaan van een verblijftijd in de flocculatie/coagulatiebuis van ca. 1 minuut (Huizen bij 200 m³/uur, Geldermalsen bij 300 m³/uur per straat).

In beide installaties is in eerste instantie kalk gebruikt als precipitatiemiddel aangezien de kalkfosfaatreststof perspectieven bood voor hergebruik in de landbouw en de industrie. Het is uiteraard ook mogelijk fosfaat te precipiteren met 3-waardige metaalzouten. In dat geval is strippen van CO₂ niet nodig. Magnetische defosfatering met ijzer(3)chloride is op de rwzi Huizen toegepast in de periode februari-juli 1992.

De magnetische vlokken worden afgescheiden in een elektromagneet. De elektromagneet is van het type Aquamag en is in detail beschreven in (2).

De opwaartse snelheid in de scheidingsruimte van de magneet is bij een debiet van 300 m³/uur ca. 10 cm/s. Na ca. 30 minuten afvangen is de scheidingsruimte van de magneet zodanig gevuld, dat magnetiethoudende deeltjes beginnen uit te spoelen. Daarom wordt de magneet na ca. 25 minuten gespoeld. Hierbij wordt de magneet ontladen en wordt met behulp van perslucht (6 bar) het bovenstaande water door de scheidingsruimte geperst. Wanneer de magneet is "leeggeblazen", wordt de spoel weer bekrachtigd en kan het defosfateringsproces worden voortgezet. De totale spoeltijd bedraagt ca. 45 seconden.

Het effluent van de magneet heeft bij toepassing van kalk als precipitatiemiddel nog een hoge pH. Vóór lozing wordt de pH geneutraliseerd met zwavelzuur (rwzi Huizen) of vloeibare CO₂ (rwzi Geldermalsen). Op de rwzi Geldermalsen is bewust gekozen voor pH-neutralisatie met CO₂ om de aanrijking van het water met sulfaat zoveel mogelijk te beperken.

Het spoelmedium van de magneet wordt met behulp van een speciale magnetietpomp naar de magnetietterugwin-installatie gepompt. In de pomp en in de persleiding worden zodanig hoge afschuifkrachten op de deeltjes uitgeoefend dat het magnetiet weer wordt gescheiden van de fosfaatprecipitaten. Het magnetiet wordt vervolgens selectief uit het spoelmedium verwijderd met een magnetische drumseparator. Het afgescheiden magnetiet valt in de magnetietvoor-raadtank, van waaruit het weer naar de flocculatiebuis wordt gepompt. De niet-magnetische fractie (het restprodukt) wordt naar een indiktank gepompt. De inhoud van de indiktank is ca. 80 m³ in Huizen en ca. 100 m³ in Geldermalsen.

De beide installaties zijn volledig geautomatiseerd. De besturing wordt verzorgd door een master-PLC en een aantal sub-PLC's. Deze opzet van de besturing sluit volledig aan bij de modulaire benadering van de installaties. De besturing is opgebouwd volgens een stap-voor-stap benadering.

Het type chemicaliën dat wordt gebruikt in de beide installaties, is samengevat in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Type chemicaliën, gebruikt in de demonstratie-installaties

	Huizen	Geldermalsen
Zuur (CO ₂ -strippen)	H ₂ SO ₄ (96%)	H ₂ SO ₄ (96%)
Kalk	Kalkmelksuspensie (20-30%)	ongebliste kalk
IJzerzout	FeCl ₃ (38%)	-
Magnetiet	48F	48F
	fine-grade	fine-grade
Polymeer (emulsie)	A 3040 L	A 3040 L
Zuur (neutralisatie)	H ₂ SO ₄ (96%)	CO ₂ (vloeibaar)

2.3 Beschrijving rwzi's Huizen en Geldermalsen

De rwzi Huizen is in maart 1976 in bedrijf genomen. De ontwerpcapaciteit is 50.000 i.e. bij een hydraulische belasting van 800 m³/uur (DWA) en 2100 m³/uur (RWA).

De biologische zuivering is volgens het type laagbelaste actief-slibinstallatie.

Het effluent van de rwzi doorstroomt een chloorcontactbassin met een inhoud van 574 m³. In de zomermaanden wordt chloorbleekloog gedoseerd om het effluent te desinfecteren.

Het water voor de magnetische defosfatering wordt onttrokken aan het chloorcontactbassin.

Op deze manier dient het bassin tevens als buffertank voor de magnetische defosfateringsinstallatie.

Het gedefosfateerde water wordt bij het niet-gedefosfateerde effluent gevoegd na de chloorcontactruimte, waarna het wordt geloosd op het Gooimeer.

De rwzi Geldermalsen is van oorsprong een oxydatiebed-installatie. In 1988 is de installatie uitgebreid met een laagbelaste oxydatiesloot. Na de uitbreiding heeft de installatie een capaciteit van 25.000 i.e. Het DWA-debiet is ca. 315 m³/uur, terwijl de maximale aanvoer tijdens RWA 1270 m³/uur bedraagt.

Het effluent van beide zuiveringsstraten wordt via een gemeenschappelijke meetput geloosd op de Linge.

Het water voor de magnetische defosfateringsinstallatie wordt onttrokken aan de meetput.

Onder zwaartekracht loopt het water in een bufferkelder onder het defosfateringsgebouw. De inhoud van de bufferkelder is ca. 200 m³. Wanneer er meer water wordt aangevoerd dan kan worden verwerkt in de magnetische defosfateringsinstallatie, stort niet-gedefosfateerd water in de meetput over en wordt zonder verdere behandeling geloosd. Het effluent van de magnetische defosfatering wordt in de laatste kamer van de meetput (= overstortruimte) afgelaten en geloosd tezamen met het overstortwater.

3 BEDRIJFSRESULTATEN

In het kader van het flankerend onderzoek zijn de twee demonstratie-installaties in bedrijf gesteld en ingeregeld. Tijdens de inregelfase zijn de analyses (P, pH, e.d.) uitgevoerd met behulp van mobiele analyse-apparatuur, zoals Hach-Kits. Na inregeling zijn de installaties onder praktijkomstandigheden getest in duurtesten. In Huizen zijn 2 duurtesten, elk van 6 weken, uitgevoerd terwijl in Geldermalsen de installatie gedurende een half jaar intensief is bemonsterd. Bij de duurtesten zijn de monsters geanalyseerd door de betrokken zuiveringsschappen.

Het gevolgde testprogramma van beide installaties is weergegeven in het schema van tabel 3.1.

Tabel 3.1 Schema testprogramma

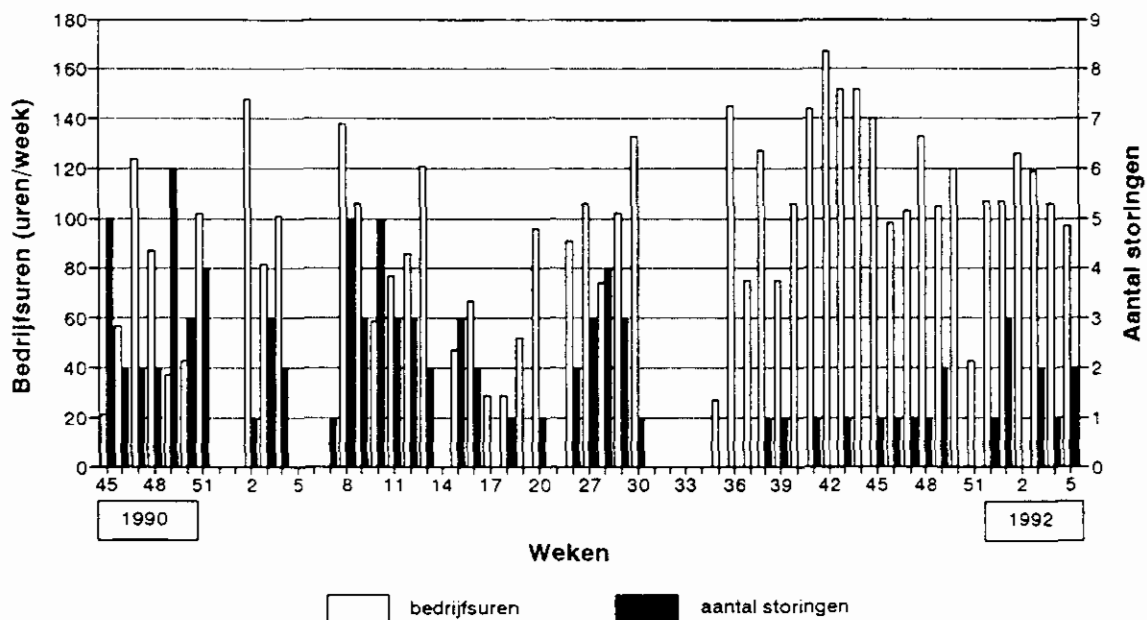
Installatie	precipitatie-middel	inregeling	duurtest
Huizen Huizen Geldermalsen	kalk ijzer(3)chloride kalk	nov'90 -nov'91 febr'92-mei'92 mei'91 -nov'91	nov'91-febr'92 mei'92-juli'92 nov'91-mei'92

3.1 Bedrijfservaringen met kalk

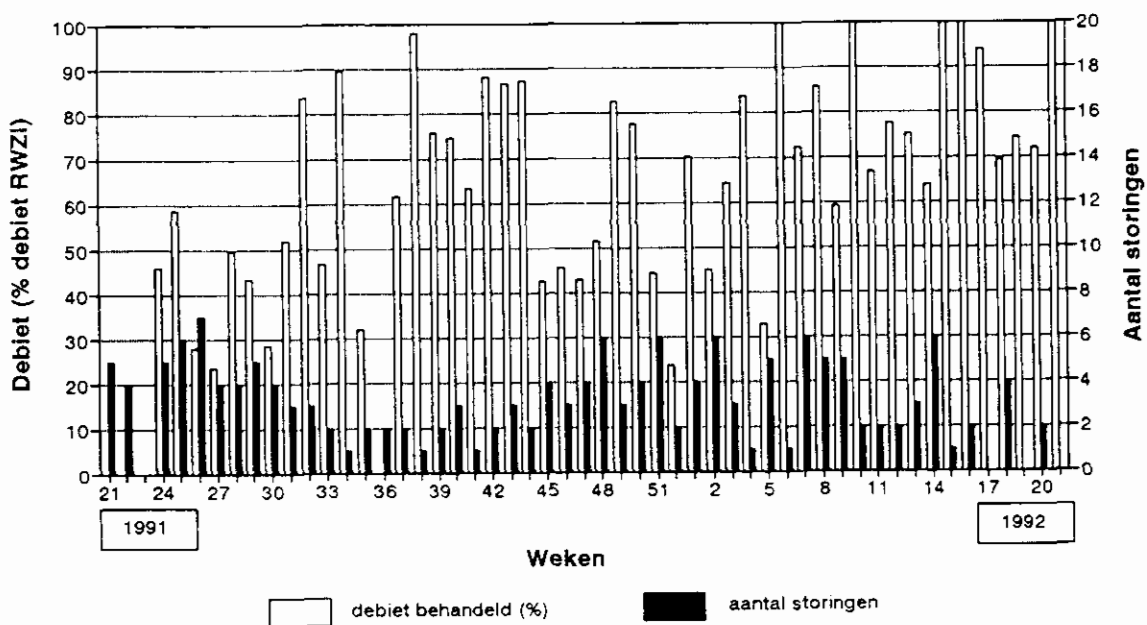
3.1.1 *Technische en procestechnologische evaluatie*

In het eerste jaar van de bedrijfsvoering zijn er regelmatig technische storingen opgetreden. De technische storingen hebben zich vooral voorgedaan in de randapparatuur en de onderlinge afstemming van de procesonderdelen (besturing, automatisering). De magneten hebben in beide installaties goed gefunctioneerd en hebben, behoudens een incidentele uitval van de elektrische voeding van de spoel, geen bedrijfsstoringen veroorzaakt.

Het technisch functioneren van de installatie Huizen met kalk is in beeld gebracht in figuur 3.1 aan de hand van het percentage bedrijfsuren en het aantal bedrijfsstoringen per week. In figuur 3.2 is voor de installatie Geldermalsen aangegeven welk gedeelte van het totale weekdebiet van de rwzi magnetisch is gedefosfateerd en hoeveel bedrijfsstoringen zich hebben voorgedaan.



Figuur 3.1 Bedrijfsuren en aantal bedrijfsstoringen per week tijdens de bedrijfsvoering van de installatie Huizen met kalk



Figuur 3.2 Percentage van het totale wateraanbod dat magnetisch is gedefosfateerd en het aantal bedrijfsstoringen tijdens de bedrijfsvoering van de installatie Geldermalsen

In de loop van het eerste bedrijfsjaar nam het aantal storingen af. Dit was met name het geval nadat in april 1992 een gerichte actie is ondernomen om de bedrijfszekerheid van de installatie Geldermalsen te verhogen. Een belangrijk onderdeel van deze actie was het aanpassen van de circulatiesystemen voor kalk en magnetiet. Na de aanpassingen is het aantal bedrijfsstoringen sterk afgenomen en is de betrouwbaarheid van de installaties verbeterd.

Het technisch functioneren van beide installaties zal worden geëvalueerd aan de hand van de meest voorkomende storingen die specifiek zijn voor het magnetische defosfateringsproces. Storingen ten gevolge van de uitval van conventionele apparatuur (kalkblusinstallatie, sturen en persluchtvoorziening, niveaumeters, etc.) blijven buiten beschouwing.

- a. **Lekkage zuurleidingen, corrosie zuurinjectionpunt**
De zuurdoseersystemen, inclusief de leidingen, zijn opnieuw ontworpen en geheel vervangen. Voor de zuurleidingen is in plaats van PVC het meer bestendige PVDF toegepast.
- b. **Schuimvorming stripperopvangbak**
Dit is effectief verholpen door het installeren van sproei-inrichtingen om het schuim te breken.
- c. **Duurzaamheid slangen van slangenpompen**
Alle chemicaliën, behalve zuur en CO₂, worden gedoseerd met slangenpompen. De doseerpompen worden gevoed vanuit circulatieleidingen. Voor de circulatie worden ook slangenpompen gebruikt.
In het begin trad regelmatig slangbreuk op. In overleg met de leverancier zijn de leidingen aan de zuigzijde van de pompen zodanig aangepast dat de levensduur van de slangen acceptabel werd (2000-4000 bedrijfsuren).
- d. **Verstopping circulatieleidingen kalk en magnetiet**
Dit is verholpen door de ontwerpcriteria van de installatie Geldermalsen aan te passen en de circulatiesystemen te vernieuwen op basis van nieuwe criteria.
- e. **Dosering polymeer**
In beide installaties wordt vloeibaar polymeer toegepast. Het polymeer wordt verdund in een zogenaamde Polyblend-installatie. De installatie in Geldermalsen gaf regelmatig storing door verstopping van het polymeerdoseerpompje door polymeerkluiten, die ontstaan door uitdroging van polymeer aan de wand van het voorraadvat. Dit euvel is verholpen door het pomphuisje regelmatig te controleren en opspatten van polymeer te vermijden.
- f. **Kalkaanslag**
Alle installatie-onderdelen na de kalkdosering zijn gevoelig voor kalkaanslag. De kalkaanslag gaf aanleiding tot
 - vermindering van het debiet
 - klepstoringen
 - verstopping van de aan- en afvoerleiding naar de pH-meter. De pH-meting had als functie de kalkdosering te sturen. Sturing van de kalkdosering bleek niet essentieel voor het goed functioneren. Vanwege de storingsgevoeligheid van dit systeem is de kalkdosering handmatig ingesteld
 - opstuwning van effluent in de afvoerleidingen van de installatie.
 De problematiek van de kalkafzettingen is nader bestudeerd door Haskoning (5). De kalkaanslag is incidenteel verwijderd, ca. 1x per half jaar.
Aan het eind van de testperiode is een preventieve methode ontwikkeld om bedrijfsstoringen ten gevolge van kalkaanslag te voorkomen. Hierbij worden de flocculatiebuis, de magneet en de afvoerleiding regelmatig, bij voorkeur 1x per week, gespoeld met verdund HCl. Na gebruik is het spoelmedium geloosd met het effluent.

g. Magnetietterugwin-installatie

- Bedrijfsstoringen van de magnetietterugwin-installatie waren met name het gevolg van
- storingen in de magnetietconcentratiemeter
 - storingen in de niveaumetingen door vervuiling van de niveau-opnemers
 - verstopping van de toevoersilo voor nieuw magnetiet (Geldermalsen).

Op basis van deze ervaringen is de magnetietterugwin-installatie, met name de procescontrole van de magnetietvoorraadtank, aanzienlijk vereenvoudigd. In het nieuwe systeem wordt de magnetietconcentratie niet meer continu, maar regelmatig met een handmatige meting vastgesteld. Op basis van deze meting wordt handmatig magnetiet gedoseerd.

h. Besturing

In beide installaties zijn regelmatig bedrijfsstoringen opgetreden als gevolg van foutmeldingen in het besturingssysteem. Het besturingssysteem is geëvalueerd door Haskoning B.V. (4).

Problemen in het besturingssysteem hebben zich voorgedaan als:

- Foutieve kabelbreukmeldingen (geen breuk)

Dit is verholpen door de kabelbreukmeldingen niet meer kritisch te maken, dat wil zeggen kabelbreuken worden alleen gemeld maar de installatie valt niet meer uit.

- Storingsgevoeligheid

Het automatiseringssysteem is gebaseerd op een stap-voor-stap benadering. Als één stap niet binnen een tevoren vastgestelde tijd is afgerond (bijvoorbeeld klepsluiting) gaat de installatie in storing. Een automatiseringssysteem op basis van de stap-voor-stap benadering is gevoelig voor storingen. De storingsgevoeligheid is aanzienlijk verminderd door de tijdsintervallen minder kritisch te maken.

- Bedrijfsstoringen ten gevolge van niveau-overschrijdingen, bijvoorbeeld in de stripperopvangbak, het spoelvat, de magnetietvoorraadtank en de slibafvoer van de magnetietterugwin-installatie

Aangezien deze niveaumetingen in de regel niet kritisch zijn voor de bedrijfsvoering, zijn de marges in de niveaus verruimd.

De bedrijfsvoering van de beide demonstratie-installaties heeft veel informatie opgeleverd over de procestechnologische aspecten. De belangrijkste procestechnologische ervaringen zijn hieronder weergegeven.

■ Toepassing van kalkmelk

Op de rwzi Huizen is kalk in de vorm van kalkmelk aangevoerd. Afgezien van de hoge kosten van kalkmelk had deze vorm van kalkvoorziening als nadelen dat de kalkmelk ontmengde en dat er veroudering optrad. Hierdoor werd de kalk minder actief en was meer kalk nodig om een stijging van de pH te bewerkstelligen. Deze problemen werden ten dele opgelost door toepassing van fijn gesuspendeerde kalkmelk.

Gezien de ervaringen is het af te raden kalk toe te passen dat als kalkmelk wordt aangeleverd.

■ Kalkdosering vóór toevoerpomp

Oorspronkelijk werd in Huizen de kalkmelk gedoseerd in de stripperopvangbak, d.w.z. vóór de toevoerpomp naar de flocculatiebuis. Hierdoor raakte de Hidrostal toevoerpomp snel verstopt, waardoor het debiet afnam. Dit is verholpen door de kalkdosering na de voedingspomp te plaatsen. Teneinde bij deze wijziging toch een voldoende lange reactietijd te krijgen, is de flocculatiebuis verlengd.

■ Gekoppelde dosering van chemicaliën

In het oorspronkelijke ontwerp van de installaties was de dosering van magnetiet en polymeer direct gekoppeld aan de hoogte van de kalkdosering. De achtergrond van dit ontwerp was dat de gevormde vlokken een zo uniform mogelijke samenstelling moesten hebben voor een optimaal functioneren van de magnetietterugwin-installatie.

De gekoppelde dosering bleek niet geschikt. Bij een lage kalkdosering werd te weinig magnetiet (in kg/m^3) en polymeer (in g/m^3) gedoseerd, waardoor het P-verwijderingsrendement afnam. De besturing van de chemicaliëndoseringen is aangepast op een zodanige manier dat de dosering van kalk, magnetiet en polymeer onafhankelijk van elkaar handmatig kunnen worden ingesteld.

De daardoor optredende variaties in de chemische samenstelling van de vlokken bleken geen merkbare invloed te hebben op de werking van de magnetietterugwin-installaties.

■ Flocculatiebuis

Een flocculatiebuis is in principe geschikt voor de watervoorbehandeling bij magnetische defosfatering. In de praktijk leverde de flocculatiebuis echter problemen op bij de bedrijfsvoering met kalk.

- Slechte toegankelijkheid voor inspectie en reiniging.
- De dosering van chemicaliën vindt plaats in een systeem met tegendruk. Dit stelt hoge eisen aan de doseerpompen.
- De aansturing van de chemicaliëndosering, bijvoorbeeld de sturing van de kalkdosering op basis van de pH-meting, is complex. Er dient een tijdconstante te worden toegepast, waarbij de waarde van de tijdconstante afhankelijk is van het debiet.
- Beperkte mogelijkheden van procesoptimalisatie.

Variaties in het waterdebiet hebben direct tot gevolg dat de verblijftijd (= reactietijd) en de vloeistofsnelheid (= mengintensiteit) veranderen. Deze directe koppeling van 3 belangrijke procesparameters beperken de mogelijkheden om het proces te optimaliseren.

In toekomstige installaties zal de toepassing worden overwogen van andere uitvoeringsvormen voor de watervoorbehandeling, zoals open flocculatiebassins of gesloten gemengde contacttanks.

■ Invloed CO_2 -strippen op kalkaanslag

Zonder toepassing van CO_2 -strippen bleek de flocculatiebuis snel te vervuilen door de ophoping van voornamelijk amorfe calciumcarbonaat. Bij ongestrippte bedrijfsvoering (alleen in Huizen) wordt een lager waterdebiet toegepast. Het is goed mogelijk dat de ophoping in de eerste plaats het gevolg is van bezinking ten gevolge van de relatief lage snelheid in de flocculatiebuis. In ieder geval is het geringe waterdebiet er de oorzaak van dat eenmaal neergeslagen materiaal niet meer wordt weggespoeld.

Bij gestrippte bedrijfsvoering vindt er nauwelijks kalkafzetting plaats in de flocculatiebuis. In de magneet en de effluentleidingen daarentegen vindt afzetting plaats van kristallijn calciumcarbonaat. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de spoellucht van de magneet koolzuur bevat, dat bij de heersende hoge pH met de overmaat aan calcium-ionen aanleiding geeft tot de vorming van calciumcarbonaat.

Beide typen kalkafzetting hebben tot gevolg dat de hydraulische weerstand in het systeem toeneemt en het waterdebiet afneemt.

■ Invloed zwevend materiaal

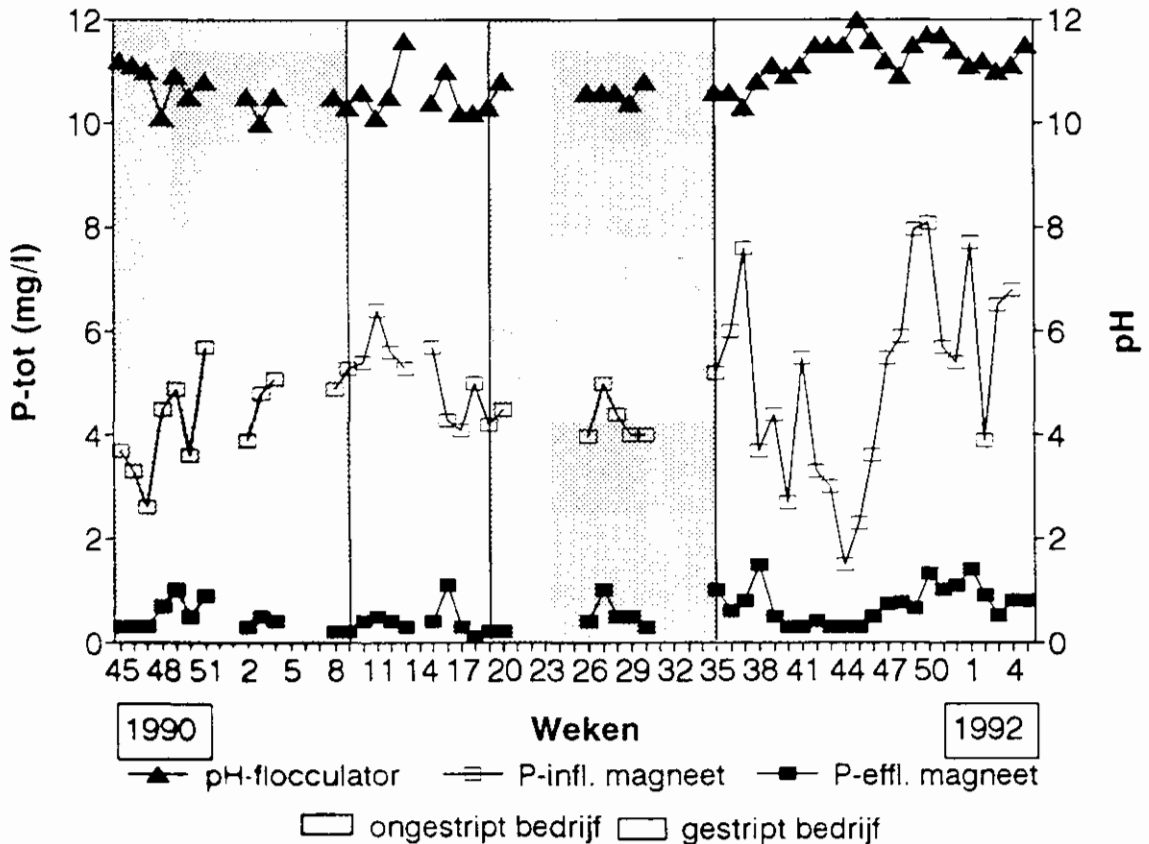
Het functioneren van magnetische defosfateringsinstallaties is gevoelig voor het gehalte aan zwevende stof in het aangevoerde water. Bij toename van de zwevende stof-concentratie wordt de magneet sneller gevuld en zal er magnetiet uitspoelen. Bovendien functioneert de magnetietterugwinning minder goed omdat het aandeel niet-magnetisch materiaal sterk toeneemt. Als gevolg van het verhoogde magnetietverlies kan het proces in storing vallen door een te laag niveau in het magnetietvoorraadvat. Het zwevende stofgehalte in het effluent van de beide rwzi's is slechts incidenteel bepaald, zodat geen duidelijk inzicht is verkregen in de kritische zwevende stof concentratie, waarboven het proces wordt verstoord. De indruk is dat deze concentratie bij ca. 30 mg/l ligt.

Situaties met een verhoogde slibuitspoeling kunnen zich op elke installatie voordoen, bijvoorbeeld bij hoge regenwaterafvoer. In Huizen werd regelmatig slib uitgespoeld ten gevolge van tijdelijke verstoringen van het biologische zuiveringsproces.

3.1.2 P-verwijdering

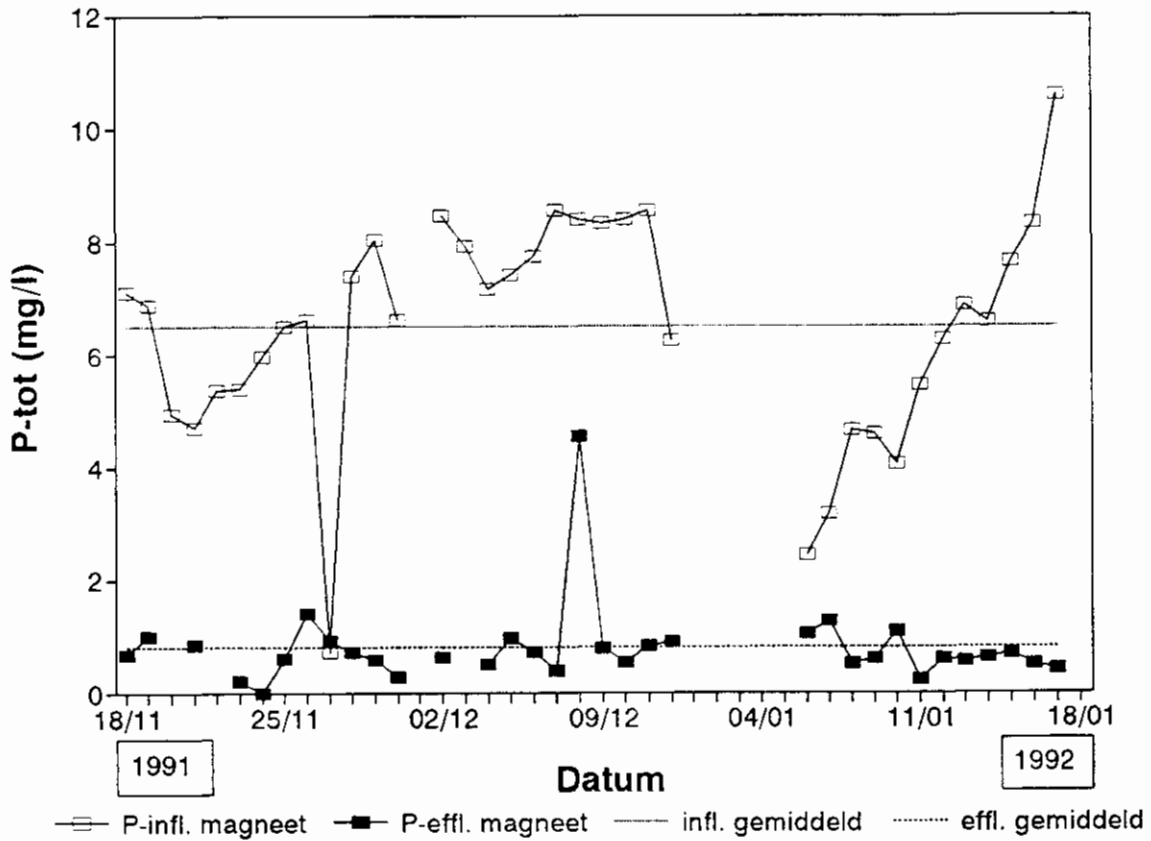
De P-verwijdering, vastgesteld tijdens de testen met kalkdosering op de installatie in Huizen, is grafisch weergegeven in figuur 3.3. In figuur 3.3 zijn de weekgemiddelden aangegeven van de proces-pH, het P-gehalte van het influent en het P-gehalte van het effluent. Ook is aangegeven wanneer CO₂-stripping is toegepast.

De P-gehalten in de periode week 45 1990 - week 46 1991 zijn vastgesteld volgens Hach. Tijdens de duurtest (week 48, 1991 - week 5, 1992) zijn de P-analyses uitgevoerd door het Zuiveringschap Amstel- en Gooiland in 24-uurs proportionele mengmonsters.



Figuur 3.3 Weekgemiddelde P-in, P-uit en pH tijdens magnetische defosfatering op de rwzi Huizen. P-analyses t/m week 47, 1991, volgens Hach; tijdens de duurtest (week 48, 1991 - week 5, 1992) volgens NEN 6479.

De bedrijfsresultaten tijdens de duurtest in Huizen zijn meer in detail weergegeven in figuur 3.4.



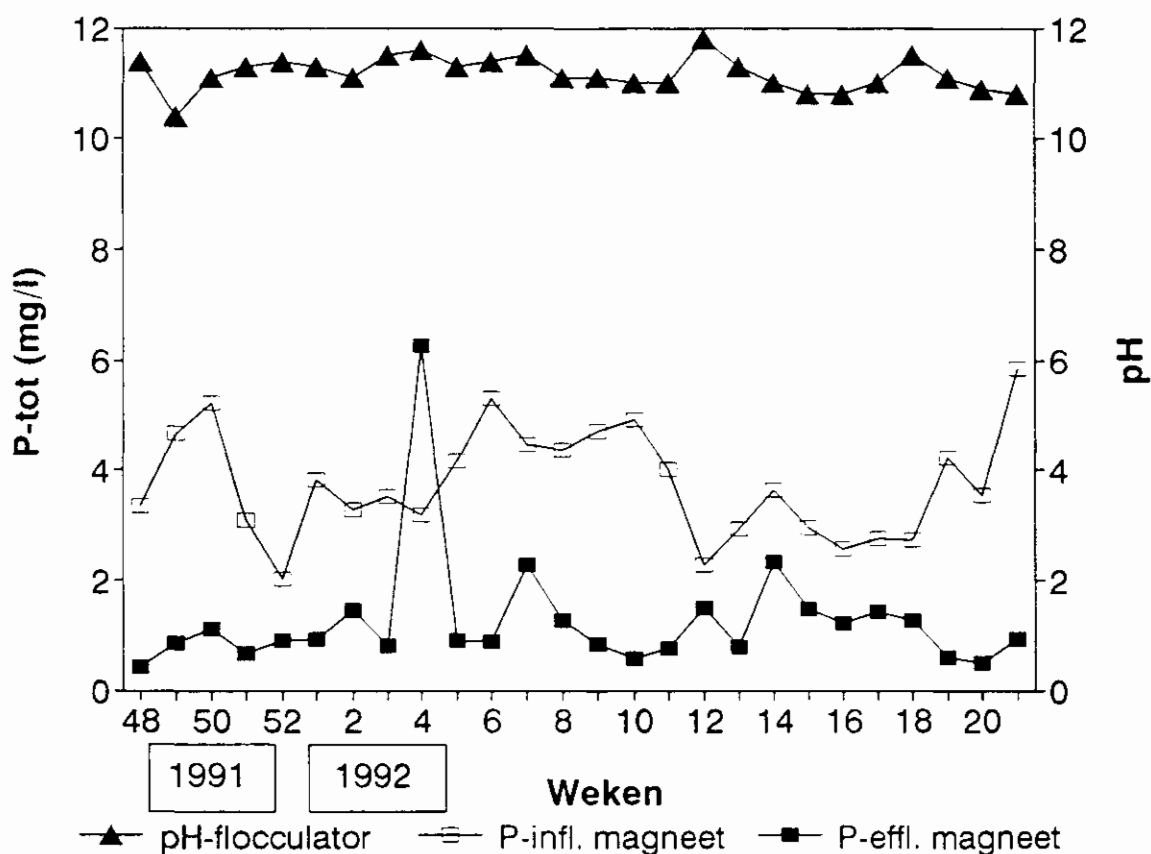
Figuur 3.4 P-concentraties in dagelijkse mengmonsters van het influent en het effluent van de magneet tijdens de duurtest op de rwzi Huizen. Analyses volgens NEN 6479.

Op de installatie in Geldermalsen zijn de bedrijfsomstandigheden gelijk gehouden en is altijd CO_2 -strippen toegepast. De P-verwijdering tijdens het meethalfjaar is gepresenteerd in figuur 3.5 aan de hand van weekgemiddelde waarden van de proces-pH en de P-concentraties in het influent (effluent rwzi) en het effluent van de defosfateringsinstallatie.

Het percentage P-verwijdering en de behandelde hoeveelheid water tijdens het meethalfjaar in Geldermalsen zijn weergegeven in figuur 3.6.

In beide demonstratie-installaties zijn P-effluentconcentraties bereikt van 0,5 mg/l P en lager. Het bleek echter niet mogelijk over een langere periode een gemiddelde waarde van 0,5 mg/l P te behalen. Met name op de rwzi Geldermalsen kwamen regelmatig perioden voor dat het P-gehalte niet verder werd gereduceerd dan tot waarden van 1,2-1,5 mg/l P.

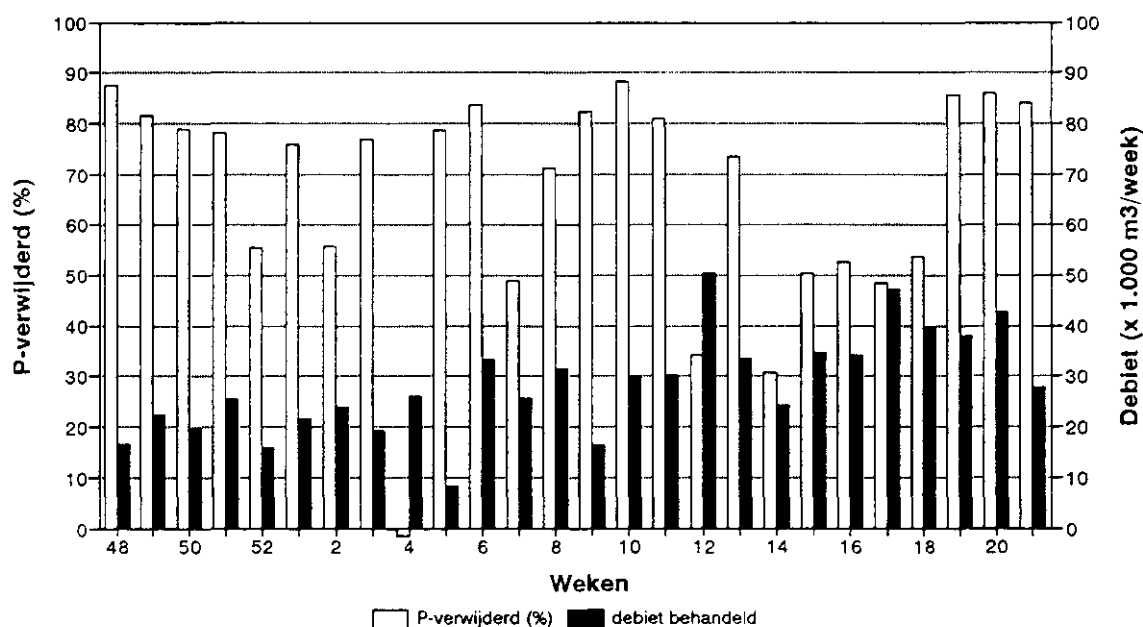
Tijdens de duurtest in Huizen werd de P-totaal-concentratie gereduceerd van 6,5 mg/l tot 0,8 mg/l. Op de installatie in Geldermalsen werd de P-concentratie tijdens de duurtest verlaagd van 4,1 mg/l tot 1,2 mg/l (rekenkundige gemiddelden).



Figuur 3.5 Weekgemiddelde waarden van P-influent magneet, P-effluent magneet en de proces-pH tijdens het meethalfjaar op de rwzi Geldermalsen. Analyses volgens NEN 6479.

De belangrijkste redenen voor het niet continu bereiken van P-totaal-concentraties van ca. 0,5 mg/l zijn:

1. Storingen in de doseringen van polymeer en/of magnetiet.
Een verlaging van de polymeer- of magnetietdosering heeft tot gevolg dat de P-eindconcentratie stijgt. Dit is bijvoorbeeld duidelijk te zien in figuur 3.6. In week 12 t/m 14 zijn een aantal wijzigingen aangebracht aan de installatie Geldermalsen met het doel de bedrijfszekerheid te verhogen. Eén van de aanpassingen was het installeren van een volledig nieuw magnetietcirculatiesysteem en de toevoer van de circulatieleiding naar de doseerpomp.
De P-eindconcentratie was na deze aanpassing echter 1-2 mg/l. Dit bleek het gevolg te zijn van een te lage magnetietdosering. Het magnetiet bezonk in de aanvoerleiding naar de magnetietdoseerpomp. Nadat dit euvel was verholpen, daalde de P-eindconcentratie tot waarden van ca. 0,5 mg/l (week 19 t/m 21).
2. Slibuitspoeling uit de biologische waterzuivering.
Bij slibuitspoeling neemt het P-verwijderingsrendement af. Op de rwzi Geldermalsen kan slibuitspoeling optreden wanneer na een periode van DWA regenwater wordt aangevoerd. In Huizen trad regelmatig slibuitspoeling op ten gevolge van storingen in het biologische zuiveringsproces.



Figuur 3.6 Percentage P-verwijdering en behandelde hoeveelheid afvalwater tijdens de duurttest op de rwzi Geldermalsen

Tijdens de laatste 2 weken is in Geldermalsen naast de P-totaal-concentratie in het effluent van magnetische defosfatering ook het P-ortho- en P-totaalgehalte na filtratie over een 0,42 μ filter geanalyseerd. De analyseresultaten zijn weergegeven in tabel 3.2

Tabel 3.2 P-totaal, P-totaal gefiltreerd en P-ortho-concentraties in het effluent van magnetische defosfatering (24-uurs mengmonsters)

datum	P-totaal (mg/l)	P-totaal gefiltreerd (mg/l)	P-ortho (mg/l)
12.05.1992	0,42	0,30	0,14
13.05.1992	0,69	0,11	0,01
14.05.1992	0,45	0,23	0,01
15.05.1992	0,40	0,06	0,01
18.05.1992	1,60	0,17	0,12
19.05.1992	0,70	0,15	0,05
20.05.1992	0,52	0,05	0,03
21.05.1992	0,53	0,04	0,03
22.05.1992	0,50	0,05	0,03

De analyseresultaten van tabel 3.2 laten zien dat bij een toename van de P-totaal-concentratie in het effluent, de concentraties van P-totaal gefiltreerd en P-ortho niet significant toenemen. Dit wijst erop dat de P-precipitatie wel goed verliep maar dat de hechting van de gevormde

deeltjes aan magnetiet niet volledig was of dat het effluent van de rwzi P-rijke slibdeeltjes bevatte die niet werden ingevangen.

De bedrijfservaringen met magnetische defosfatering op de rwzi Huizen hebben geleerd dat zonder CO₂-strippen lage P-eindconcentraties worden bereikt bij een pH van 10,2-10,5. Bij toepassing van CO₂-strippen was het noodzakelijk de pH te verhogen boven pH=11 om een bevredigende P-verwijdering te bereiken.

3.1.3 Verbruik hulpmiddelen

Het gemiddelde verbruik aan chemicaliën en het elektriciteitsverbruik van de beide demonstratie-installaties zijn samengevat in tabel 3.3.

Uit tabel 3.3 blijkt dat er een duidelijk verschil is tussen de ingestelde kalkdosering en de werkelijke kalkdosering, berekend uit de aangevoerde kalk. Hiervoor is geen verklaring gevonden.

Het magnetietverlies is berekend op basis van de totale hoeveelheid magnetiet die in de periode is gesuppleerd. Het magnetietverlies van de installatie Geldermalsen is 0,65% van de gedoseerde hoeveelheid. Hiermee blijft het magnetietverlies beneden de streefwaarde van 1%. Dit betekent dat het systeem van magnetietterugwinning goed functioneert. In Huizen is het magnetietverlies aanzienlijk hoger, namelijk ca. 2,2% van de magnetietdosering. Het relatief hoge magnetietverlies is het gevolg van de magnetietuitspoeling in perioden dat er een slibuitspoeling optreedt uit de biologische waterzuiveringsinrichting.

Het polymeerverbruik komt goed overeen met de verwachte dosering (1-1,5 g/m³).

Het zuurverbruik is in Huizen hoger dan in Geldermalsen omdat in Huizen zuur wordt gebruikt voor het CO₂-strippen én voor het neutraliseren van de pH. In Geldermalsen wordt de pH geneutraliseerd met CO₂. Het zuurverbruik in beide installaties is hoog. Dit heeft niet alleen een grote invloed op de bedrijfskosten maar leidt ook tot een aanzienlijke toename van het sulfaatgehalte van het effluent. De ervaringen met CO₂-dosering op de installatie Geldermalsen hebben geleerd dat pH-neutralisatie met CO₂ goede perspectieven biedt.

Het energieverbruik van de installatie in Geldermalsen was gemiddeld 0,092 kWh/m³ behandeld water. Dit verbruik is conform de verwachtingen en zal nog afnemen wanneer het aantal draai-uren toeneemt door een verbetering van de bedrijfszekerheid. In Huizen was het specifieke energieverbruik aanzienlijk hoger dan in Geldermalsen. Hiervoor zijn de volgende redenen aan te geven.

- Het geringe debiet. De installatie Huizen is lange tijd in bedrijf geweest bij 120 m³/uur.
 - Door de modulaire opbouw van de installatie is het energieverbruik van de centrale elementen (magnetietterugwinning, circulatiesystemen, e.d.) relatief hoog ten opzichte van de installatie Geldermalsen, wanneer maar één straat wordt bediend.
 - De installatie Huizen is regelmatig buiten bedrijf geweest, terwijl de centrale voorzieningen wel in bedrijf waren.
 - De persleiding van de chloorcontacttank naar de CO₂-stripper vergt extra pompenergie.
- Op grond van de bevindingen in Huizen en Geldermalsen kan worden gesteld dat het totale energieverbruik van magnetische defosfatering met kalk ca. 0,1 kWh/m³ bedraagt.

Tabel 3.3 Chemicaliën- en energieverbruik van magnetische defosfatering met kalk

Installatie	Huizen	Geldermalsen
Periode (weeknr.)	44'90-5'92	48'91-21'92
Totaal debiet (m ³)	744050	738757
<u>Kalk</u>		
Verbruik (kg)	124797	79800
Gemiddelde dosering (g/m ³)*	168 (CaCO ₃)	108 (CaO)
Ingestelde dosering (g/m ³)	203	178
<u>Magnetiet</u>		
Ingestelde dosering (kg/m ³)	1,18	1
Verbruik (kg)	19175	4785
Magnetietverlies (kg/m ³)*	0,0258	0,0065
Magnetietverlies (%)	2,2	0,65
<u>Polymeer</u>		
Verbruik vloeibaar (kg)	3360	2910
Verbruik polymeer (kg)	1008	873
Gemiddelde dosering (g/m ³)*	1,35	1,18
Ingestelde dosering (g/m ³)	1,78	1,1
<u>Zuur</u>		
Verbruik (kg)	189352	162145
Gemiddelde dosering (g/m ³)*	254	219
<u>CO₂</u>		
Verbruik (kg)	n.v.t.	140435
Gemiddelde dosering (g/m ³)*	n.v.t.	190
<u>Elektriciteit</u>		
Verbruik (kWh)		
Gemiddelde verbruik (kWh/m ³)*	ca. 0,25	ca. 0,1

* De gemiddelde doseringen, berekend op basis van het totale verbruik, zijn in het rapport gebruikt voor de berekeningen.

3.1.4 Bedrijfsvoering

Voor de bedrijfsvoering van de demonstratie-installaties tijdens de periode van het flankerend onderzoek is veel personeel ingezet. De relatief grote personeelsinzet van 3-4 uur per installatie per dag is het gevolg van:

- de noodzaak om extra veel gegevens te verzamelen
- het zoeken naar oorzaken en het oplossen van technische en procestechnologische onvolkomenheden.

Tijdens de weekends, wanneer een normale bedrijfsvoering werd toegepast, was de personeelsinzet 1-1,5 uur per installatie per dag.

De belangrijkste activiteiten die voor de bedrijfsvoering van een magnetische defosfateringsinstallatie met kalk moeten worden uitgevoerd, zijn (exclusief ontwatering restprodukt):

- Visuele inspectie technische apparatuur
- Controle debiet
- Controle procesparameters: pH's, P-concentraties, magnetietconcentratie
- Zonodig bijstellen doseringen
- Zonodig bijvullen magnetietvoorraadtank
- Controle voorraad chemicaliën
- Zonodig bestellen chemicaliën
- Regelmatige reiniging polymeerpomp, niveau-opnemers, pH-meetsysteem, overloopvoorzieningen, sproeikoppen, e.d.
- Regelmatig spoelen flocculatiebuis, magneet en afvoerleiding met verdund HCl
- Smeren disruptorpomp
- Invullen rapport dagregistratie.

De ervaringen met de demonstratie-installaties geven aan, dat de bedrijfsvoering van magnetische defosfateringsinstallaties, zoals uitgevoerd in Huizen en Geldermalsen, 2-4 mensen per werkdag vraagt. De dagelijkse bedrijfsvoering kan worden uitgevoerd door een medewerker op MTS-niveau.

Wanneer het voor de bedrijfsvoering nodig is om wijzigingen aan te brengen in het besturingssysteem, moet assistentie worden verleend door een elektro-technische medewerker op MTS/HTS-niveau.

Bij storingen en rendementsverlies moet de bedrijfsvoerder kunnen terugvallen op een procestechnoloog die kennis heeft van het magnetische defosfateringsproces.

3.1.5 *Onderhoud*

In vergelijking met andere proces-eenheden op een rioolwaterzuiveringsinstallatie heeft een magnetische defosfateringsinstallatie veel mechanische apparatuur, zoals circulatiepompen, doseerpompen, kleppen, etc. Deze apparatuur moet worden onderhouden conform de instructies van de leveranciers.

Specifieke onderhoudsactiviteiten zijn:

- Inspecteren en eventueel reinigen van de flocculatiebuis, magneet en afvoerleiding. Het reinigen bestaat uit het verwijderen van kalkafzettingen
Frequentie: 2x per jaar
Personeel: 30 manuren/straat
- Controle elektrische voeding magneet
Frequentie: 2x per jaar
Personeel: 2 uur/controle
- Reiniging kalkblusinstallatie
Frequentie: 2x per jaar
Personeel: 16 uur/reiniging
- Vervanging slangen van slangenpompen
Frequentie: elk 3000 draaiuren
Personeel: 2 uur/vervanging

- Spoelen recirculatieleidingen van magnetiet, kalk en polymeer
Frequentie: 4x per jaar
Personeel: 8 uur/spoelbeurt
- Inspectie/vervanging deelleidingen tussen de disruptor en de magnetische drumseparator. Tijdens de testperiode is aan het licht gekomen dat een aantal plaatsen in dit leidingsegment onderhevig is aan slijtage. De leiding was oorspronkelijk uitgevoerd in roestvast staal maar dit materiaal was ongeschikt voor deze toepassing, omdat snel slijtage optrad. Nadien is de leiding uitgevoerd in PVC en trad geen overmatige slijtage meer op
Frequentie: 1x per jaar
Personeel: 4 uur.

In de periode van het flankerend onderzoek is geen overmatige slijtage geconstateerd van de procesapparatuur, inclusief de magneten. Omdat de atmosfeer op een rioolwaterzuiveringsinstallatie altijd enigszins agressief is, moeten de stalen onderdelen uitwendig goed worden beschermd.

Alle leidingwerk, behalve de zuurleidingen, kan worden uitgevoerd in PVC of HDPE. De zuurleidingen moeten bij voorkeur worden uitgevoerd in PVDF.

Deze materialen behoeven geen onderhoud, behoudens inspectie van de leiding tussen de disruptor en de drumseparator.

3.2 Bedrijfservaringen met ijzerchloride

3.2.1 *Technische en procestechnologische evaluatie*

Vanaf 13 februari 1992 is op de rwzi Huizen magnetisch gedefosfateerd met FeCl_3 . Hiervoor is de installatie op de volgende wijze aangepast. De CO_2 -stripper is buiten bedrijf gesteld en de zuuropslag en -doseersystemen zijn geschikt gemaakt voor FeCl_3 .

FeCl_3 werd als 38% oplossing gedoseerd in de stripperopvangbak. Bij het doseerpunt is een onderwatermixer geïnstalleerd. De plaats van dosering van magnetiet en polymeer bleef onveranderd t.o.v. de bedrijfsvoering met kalk.

De aanvangscondities van de bedrijfsvoering met FeCl_3 waren:

Debiet	: 260 m ³ /uur
Molaire Fe/P verhouding t.o.v. P influent magneet	: 2
Polymeerdosering (Praestol A3040L)	: 1,5 g/m ³
Dosering magnetiet	: 1 kg/m ³

Bij deze omstandigheden werd het P-totaal gehalte verlaagd van ca. 5 mg/l tot 1-1,5 mg/l. Visuele beoordeling van monsters uit de flocculatiebuis leerde, dat de vlokvorming slecht was. De slechte vlokvorming is niet te wijten aan de kwaliteit van de gebruikte chemicaliën. De chemicaliën van de rwzi Huizen gaven in laboratoriumexperimenten een goede vlokvorming.

In de navolgende periode is de P-verwijdering geoptimaliseerd door wijziging van procesomstandigheden. Bij deze optimalisatie is regelmatig de concentratie aan opgeloste P geanalyseerd om het optimalisatieproces te sturen.

Tijdens de optimalisatietesten werd het volgende geconstateerd.

- Verlaging van het debiet van 260 m³/uur tot 130 m³/uur heeft een negatieve invloed op de P-verwijdering.
- Verlenging van de flocculatietijd van 30 naar 60 seconden heeft geen significante invloed op het P-verwijderingsrendement.

- Een verandering van polymeer, i.p.v. Praestol A3040L, Magnafloc 120 C, heeft geen invloed op de P-verwijdering.
- De optimale dosering van polymeer is 1,5 g/m³.
- Menging in de directe nabijheid van het FeCl₃-doseerpunt heeft een positieve invloed op de P-verwijdering.
- De P-verwijdering en de vlokvorming verbetert wanneer FeCl₃ in de flocculatiebuis wordt gedoseerd i.p.v. in de stripperopvangbak. Dit wijst erop, dat bij dosering in de stripperopvangbak de gevormde ijzervlokken worden kapotgeslagen in de voedingspomp.
- Bij dosering van FeCl₃ in de flocculatiebuis, heeft een verlaging van het debiet tot gevolg dat de P-totaal eindconcentratie en de P-opgelost concentratie aanzienlijk hoger worden. Dit is waarschijnlijk te danken aan de grotere turbulentie ter plaatse van de FeCl₃-dosering bij toepassing van hoge debieten.
- Voor het bereiken van een P-eindconcentratie van ca. 0,5 is het nodig een molaire Fe/P verhouding toe te passen van ca. 2,7. De dosering is gebaseerd op het P-gehalte in het effluent van de rwzi.
- Het ijzerfosfaatslib na de magnetietterugwinning bezinkt slecht. Het slib kan m.b.v. een decanteercentrifuge worden ontwaterd tot een steekvast produkt met een droge stof gehalte van ca. 15%. Het is noodzakelijk polymeer te doseren.
- De bedrijfsvoering met FeCl₃ is minder gevoelig voor bedrijfsstoringen dan de bedrijfsvoering met kalk. Kalkafzettingen in de flocculatiebuis en de meetapparatuur treden niet op en de bedrijfsvoering is betrouwbaar.

Tijdens de duurtest met FeCl₃ was het dagelijks aantal draaiuren gemiddeld ca. 17. Het maximaal aantal draaiuren per etmaal bedraagt ca. 20 uur. Dit betekent, dat de magnetische installatie max. 17% van de beschikbare tijd niet in bedrijf is geweest. De stilstand van de installatie was het gevolg van onderhoudswerkzaamheden en bedrijfsstoringen. De storingen betroffen in belangrijke mate de magnetietterugwininstallatie, hetgeen is te verklaren uit de periodiek grote magnetietverliezen. In de waterlijn hebben zich geen storingen voorgedaan.

3.2.2 P-verwijdering

Op basis van de resultaten tijdens de optimalisatiefase zijn de procescondities vastgesteld voor de duurtest. De condities zijn samengevat in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Condities duurtest FeCl₃

FeCl ₃ doseerpunt	: na de voedingspomp
FeCl ₃ dosering, β*	: 2,7-2,9
Sturing FeCl ₃ -dosering	: handmatig
Magnetietdosering	: 1 kg/m ³
Polymeer	: Praestol 2540
Polymeerdosering	: 1,5 mg/l
Standtijd	: 20 minuten
Debiet	: 285-300 m ³ /uur
Slibontwatering	: decanteercentrifuge

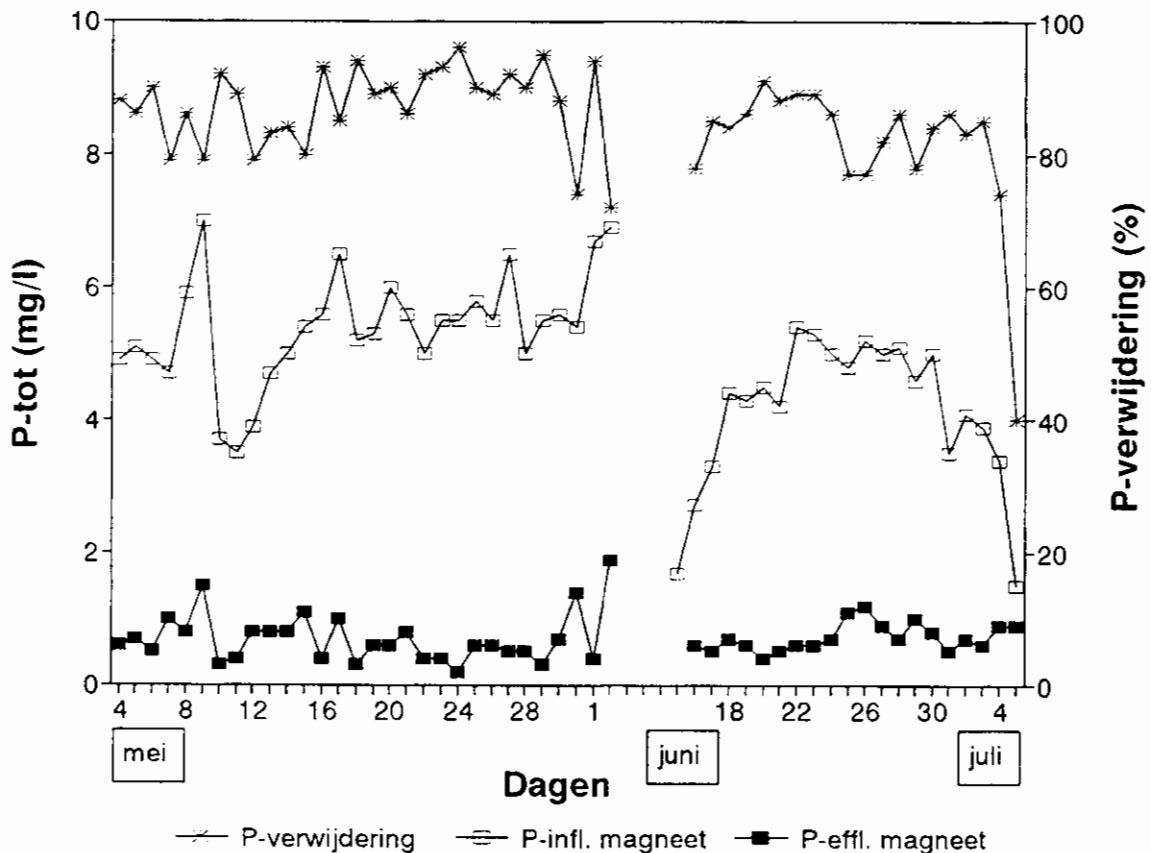
* β is vastgesteld op basis van het P-gehalte van het influent van de magneet.
Ten opzichte van het influent rwzi is de molaire Fe³⁺/P ca. 1,4.

De duurtest is begonnen op 4 mei. In de eerste weken trad regelmatig slibuitspoeling op van de biologische zuiveringsinstallatie. Om het verlies van magnetiet tijdens de periodes met slibuitspoeling te beperken, is op 16 mei het debiet teruggebracht van 300 m³/uur tot 250 m³/uur. Dit debiet is in de loop van de duurtest toegepast. Begin juni werd de slibuitspoeling dermate hoog, dat in overleg met het Zuiveringschap is besloten de magnetische defosfateringsinstallatie tijdelijk buiten gebruik te stellen.

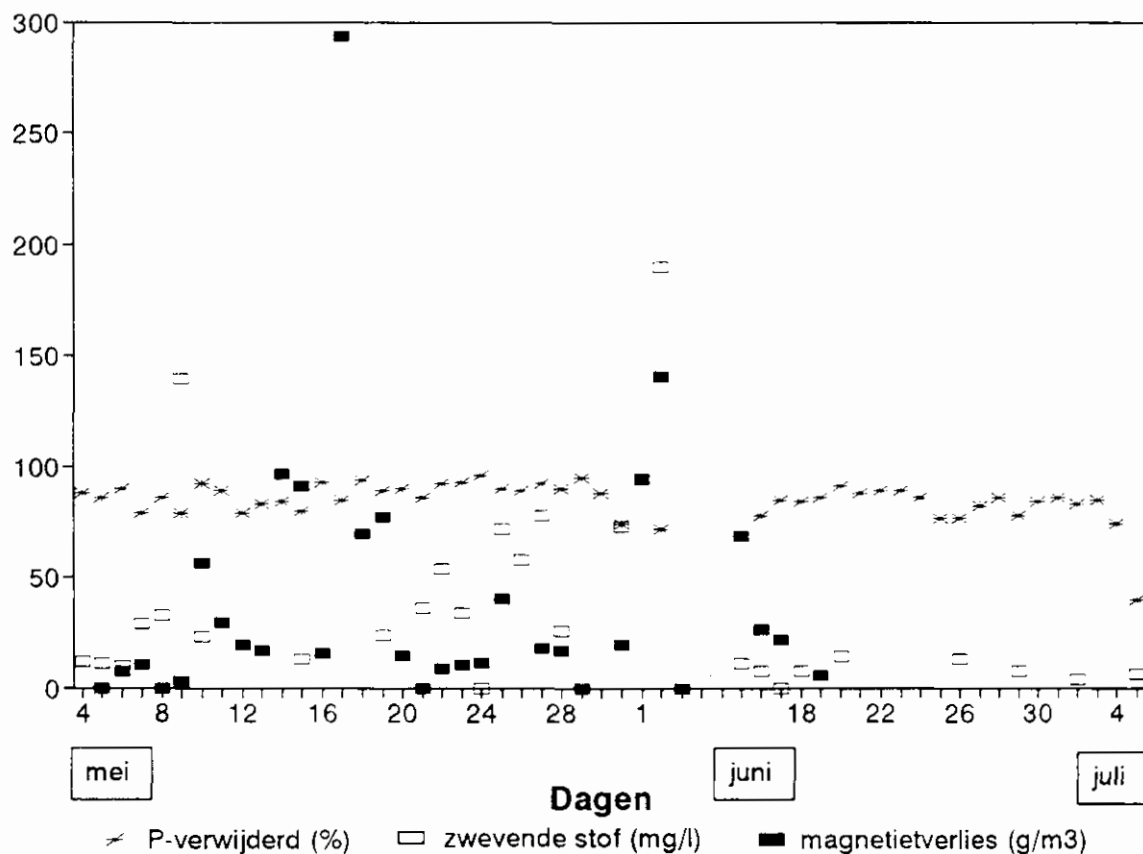
Op 15 juni was de biologische zuiveringsinstallatie weer zover hersteld, dat de duurtest is voortgezet. Tijdens het laatste gedeelte van de duurtest, van 15 juni tot 2 juli, is de installatie bedreven door een medewerker van het Zuiveringschap.

De P-verwijdering tijdens de duurtest is weergegeven in figuur 3.7 aan de hand van de totaal P-concentraties in het influent en het effluent van de magneet en het P-verwijderingsrendement. De P-totaal concentraties zijn volgens NEN 6479 geanalyseerd door het Zuiveringschap in 24-uurs monsters.

De invloed van de slibuitspoeling op de werking van de magnetische defosfateringsinstallatie is te zien in figuur 3.8. In deze figuur is het P-verwijderingsrendement weergegeven tezamen met het gehalte aan zwevende stof in het effluent van de rwzi en het magnetietverlies, berekend op basis van de magnetietsuppletie.



Figuur 3.7 P-totaalverwijdering tijdens de duurtest met FeCl₃.



Figuur 3.8 Invloed van zwevende stof op de werking van magnetische defosfatering met FeCl_3

Het fosfaatgehalte over de gehele periode werd gereduceerd van 4,8 mg/l P tot 0,67 mg/l. De gemiddelde effluentwaarde van 0,67 mg/l was aanzienlijk hoger dan het gemiddelde P-gehalte in steekmonsters. Het gemiddelde P-gehalte in de steekmonsters, geanalyseerd volgens de Hach-methode, bedroeg 0,47 mg/l P.

De aanwezigheid van zwevende stof in het influent van de magneet, tot een concentratie van ca. 30 mg/l, heeft geen negatieve invloed op het P-verwijderingsrendement. Integendeel, de indruk bestaat, dat een enigszins verhoogd gehalte aan zwevende stof zelfs een positieve invloed heeft op de P-verwijdering. Dit moet worden toegeschreven aan een coprecipitatie van zwevende stof en fosfaat. Bij hoge slibuitspoeling, zoals aan het eind van de eerste periode van de duurtest, neemt het P-verwijderingsrendement af.

De aanwezigheid van zwevende stof heeft wel een nadelige invloed op het magnetietverlies.

3.2.3 Verbruik hulpmiddelen

Het gemiddelde verbruik aan chemicaliën tijdens de duurttest met FeCl₃ is samengevat in tabel 3.5.

Tabel 3.5 Gemiddeld chemicaliënverbruik tijdens de duurttest met FeCl₃ op de rwzi Huizen

Totaal debiet (m ³)	210.272	
<u>FeCl₃</u>		
Verbruik (kg)	25.500	
Gemiddelde dosering (g/m ³)	121	(β=2)
Dosering op basis van instelling (g/m ³)	176	(β=2,7)
<u>Magnetiet</u>		
Magnetietverlies (kg)	4730	
Magnetietverlies (kg/m ³)	0,022	
Magnetietverlies (%)	2,2	
<u>Polymeer</u>		
Verbruik vloeibaar polymeer (kg)	945	
Verbruik werkzaam polymeer (kg)	284	
Gemiddelde dosering (g/m ³)	1,35	

Uit tabel 3.5 blijkt, dat er een duidelijk verschil is tussen de ingestelde FeCl₃-dosering en de werkelijke dosering, berekend uit de aangevoerde FeCl₃. De afwijking is toe te schrijven aan het feit, dat de FeCl₃-doseerpompen zijn geijkt met een vrije uitstroming tijdens de dosering in de stripperopvangbak.

Na de verplaatsing van het FeCl₃-doseerpunt naar de flocculatiebuis, waar met tegendruk wordt gedoseerd, zijn de pompen niet opnieuw geijkt. Volgens opgave van de pompleverancier zijn verschillen, zoals geconstateerd in Huizen, mogelijk bij de toegepaste manier van ijken.

Aan de hand van het werkelijke verbruik aan FeCl₃ kan worden berekend, dat de molaire Fe/P verhouding (β) tijdens de duurttest gemiddeld ca. 2 was.

Het magnetietverlies is relatief hoog, namelijk ca. 2,2 % van de magnetietdosering. Het relatief hoge magnetietverlies is het gevolg van de aanwezigheid van zwevende stof in het effluent van de biologische zuiveringsinstallaties.

3.2.4 Bedrijfsvoering

De personeelsinzet voor de normale bedrijfsvoering bedroeg 2 uur per dag. Deze personeelsinzet is vastgesteld door het Zuiveringschap Amstel- en Gooiland in de periode, dat de bedrijfsvoering is uitgevoerd door één van de medewerkers van het schap. De activiteiten, die voor de bedrijfsvoering met FeCl₃ moeten worden uitgevoerd, zijn dezelfde als bij de

bedrijfsvoering met kalk (zie 3.1.4.). Het regelmatig spoelen van de waterlijn met HCl is uiteraard niet nodig.

3.2.5 *Onderhoud*

De onderhoudsactiviteiten voor een magnetische defosfateringsinstallatie op basis van FeCl_3 zijn gelijk aan die voor een installatie op basis van kalk (zie 3.1.5). Het onderhoud zal evenwel minder tijd en geld vragen, omdat een installatie op basis van FeCl_3 minder componenten heeft (geen CO_2 -stripper, geen zuurdoseringen).

4 EFFECTEN OP DE SAMENSTELLING VAN HET EFFLUENT

Magnetische defosfatering is geen selectief proces, waarbij uitsluitend fosfaat uit het water wordt verwijderd. Ook reeds aanwezige zwevende stof en andere verbindingen, die met kalk of ijzer neerslaan, kunnen aan magnetiet worden gehecht en worden uit het water verwijderd. Aan de andere kant worden bij magnetische defosfatering ook hulpstoffen gedoseerd, die voor een deel in het effluent worden teruggevonden. Voorbeelden hiervan zijn zwavelzuur en magnetiet.

Tijdens de duurtesten in Huizen en het meethalfjaar in Geldermalsen zijn regelmatig complete analyses uitgevoerd door de betrokken zuiveringsschappen.

De gemiddelde analyseresultaten tijdens de duurtesten met kalk en ijzerchloride op de rwzi Huizen zijn samengevat in tabel 4.1.

De analyses zijn uitgevoerd op 24-uurs proportionele monsters vóór magnetische defosfatering en vlak na de magneten (vóór de zuurdosering).

Tabel 4.1 Watersamenstelling vóór en na magnetische defosfatering tijdens de duurtesten op de rwzi Huizen.

Periode Precipitatiemiddel	17.11.1991/17.01.1992 kalk		04.05.1992/02.07.1992 ijzerchloride	
	in	uit	in	uit
Totaal-P (mg/l)	6,5	0,8	4,8	0,67
BZV (mg/l)	22	2,7	37,7	19,4
CZV (mg/l)	68,5	51,5	78,3	42,5
Zwevende stof (mg/l)	7,7	41,9	30,2	17,5
Kjeldahl N (mg/l)	23,4	25,7	18,9	18,4
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	17,8	19,0	12	13,1
Calcium (mg/l)	49,5	111,3	n.b.	n.b.
Fe ³⁺ (mg/l)	n.b.	n.b.	0,43	3,95

Tijdens het meethalfjaar van de demonstratie-installatie in Geldermalsen heeft het Zuiverings-schap Rivierenland totaal analyses uitgevoerd van het effluent van de rwzi zonder defosfate-ren en van het effluent, zoals dat tijdens de meetperiode is geloosd op de Linge.

Dit betekent dat het bemonsterde water bestaat uit een combinatie van gedefosfateerd water en niet-gedefosfateerd water. Bij de berekening van de gemiddelde analysewaarden zijn uit-sluitend die monsterdagen in beschouwing genomen waarop meer dan 50% van het effluent van de rwzi is gedefosfateerd. De analyses zijn uitgevoerd op proportionele 24-uurs monsters. De analyseresultaten zijn samengevat in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Watersamenstelling zonder en met magnetische P-verwijdering (totaal effluent) tijdens het meethalfjaar van de rwzi Geldermalsen

	effluentkwaliteit*		aantal analyses
	geen P-verwijdering	met P-verwijdering	
pH	7,7	8,1	7
Geleidbaarheid (m S/m)	89	109	7
Totaal-P (mg/l)	4,7	1,7	7
Ortho-P (mg/l)	3,8	1,3	7
BZV (mg/l)	6,4	3,8	7
CZV (mg/l)	55	38,4	7
Kjeldahl-N (mg/l)	6,7	5,1	6
NO ₂ ⁻ /NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	19,7	21,2	7
Bezinksel (ml/l)	0,2	0,2	7
Droge stof (mg/l)	7,8	4	5
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	77,4	298	5

* ca. 70% van het water is gedefosfateerd

De analyseresultaten, weergegeven in tabellen 4.1 en 4.2, laten zien, dat de BZV substantieel wordt gereduceerd tijdens defosfatering met kalk.

In Huizen is de BZV-verwijdering ca. 85%. Opmerkelijk is dat de reductie van CZV (uitgedrukt in mg/l) in dezelfde orde van grootte ligt als de BZV-reductie, namelijk 17-20 mg/l. Dit wijst erop dat in Huizen vrijwel uitsluitend biologisch afbreekbaar materiaal precipiteert tijdens de behandeling met kalk.

De CZV-reductie tijdens het meethalfjaar in Geldermalsen is ook ca. 17 mg/l. De BZV-reductie is echter slechts 2,6 mg/l (= 41%), wat logisch is omdat het BZV-gehalte vóór magnetische defosfatering reeds laag is.

Opvallend is de toename van het zwevende stofgehalte van 7,7 mg/l tot 41,9 mg/l tijdens de duurttest met kalk op de rwzi Huizen. Deze toename is het gevolg van de monstername. De monsters worden tijdens 24 uur verzameld in een open monstervat, terwijl de monstername plaatsvindt vóór de zuurdosering. Ten gevolge van de hoge pH in het monster zal CO₂ uit de lucht worden opgenomen, waardoor met de Ca-ionen, die in overmaat aanwezig zijn, CaCO₃ wordt gevormd. De CO₂-inslag tijdens de monstername is ook waarneembaar aan een daling van de pH. De pH neemt af van boven pH=11 tot pH=10,3. Wanneer het effluent van de magneet onmiddellijk wordt aangezuurd, zal geen vorming van CaCO₃ optreden. Bij een pH van ca. 8 komt anorganisch koolstof grotendeels voor als HCO₃⁻ dat niet neerslaat met Ca²⁺. Deze verklaring wordt bevestigd door de resultaten van de rwzi Geldermalsen. In deze installatie neemt het droge stofgehalte significant af van 7,8 mg/l tot 4 mg/l tijdens magnetische defosfatering. De monstername in Geldermalsen is na de neutralisatie met CO₂ en geeft derhalve een beter beeld van de reductie van droge stof als gevolg van magnetische defosfatering met kalk.

De stikstofanalyses laten zien dat magnetische defosfatering geen significante invloed heeft op de stikstofconcentraties. Dit is conform de verwachtingen.

Tijdens de duurttest in Huizen is ook het Ca-gehalte geanalyseerd. Het calciumgehalte neemt toe van 49,5 mg/l tot 111,3 mg/l. Dit betekent dat er een overmaat aan Ca^{2+} wordt gedoseerd ten opzichte van de aanwezige carbonaten en fosfaten. De overdosering is noodzakelijk omdat bij gestripte bedrijfsvoering alleen bevredigende P-concentraties worden bereikt bij pH-waarden boven $\text{pH}=11$. Door de toename van de Ca^{2+} en SO_4^{2-} -concentratie neemt ook de geleidbaarheid van het water toe.

Het SO_4^{2-} -gehalte is alleen geanalyseerd in Geldermalsen. Tabel 4.2 laat zien dat het SO_4^{2-} -gehalte sterk toeneemt van 77 mg/l tot 298 mg/l. Aangezien in Geldermalsen wordt geneutraliseerd met CO_2 , is de toename in het SO_4^{2-} -gehalte uitsluitend toe te schrijven aan de zuurdosering ten behoeve van het CO_2 -strippen.

Het magnetietgehalte in het effluent is niet geanalyseerd door de zuiveringsschappen. Uit dagelijkse metingen van Envimag bleek dat het magnetietgehalte in het effluent zeer laag is, namelijk lager dan 1 mg/l bij normale bedrijfsvoering.

5 AFZET RESTPRODUKTEN

Bij magnetische defosfatering, een vorm van chemische P-verwijdering, wordt een restprodukt gevormd.

Afhankelijk van het toegepaste precipitatiemiddel wordt kalkslib of ijzerslib geproduceerd. Het restprodukt in primaire vorm verlaat het systeem na passeren van de magnetische drumseparator, waar het magnetiet selectief uit het spoelmedium is verwijderd. In deze fase heeft het restprodukt een droge stofgehalte van ongeveer 3 kg/m^3 (0,3%).

In beide demonstratie-installaties is het restprodukt ingedikt in een silo met overloopfaciliteiten. Het ingedikte restprodukt is ontwaterd. De geteste ontwateringsmethoden zijn droogbedden, decanteercentrifuge en kamerfilterpers.

5.1 Productie restprodukt

5.1.1 *Kalkrestprodukt*

De productie aan kalkrestprodukt is vastgesteld op de rwzi Geldermalsen. De productie is op de volgende wijze gemeten.

Gedurende een periode van 8-10 dagen is alle restprodukt ná de magnetische drumseparator verpompt naar de opslagsilo. Hier vindt een indikking plaats. Het bovenstaande water wordt via een overstort afgelaten op het bedrijfsriool.

Wanneer de opslagsilo vol is, wordt de inhoud van de silo volledig gelegeerd in een bassin met roerfaciliteiten. Na menging van het bassin wordt een monster genomen voor een droge stof analyse. Het overstortwater van de opslagsilo wordt dagelijks bemonsterd en samengevoegd tot een verzamelmonster. Ook van dit monster is het droge stofgehalte geanalyseerd. De analysesresultaten en de berekening van de slibproductie zijn samengevat in tabel 5.1.

De gegevens uit tabel 5.1 laten zien dat het kalkrestprodukt een factor 10 indikt in de opslagsilo en dat ca. 10% van de geproduceerde droge stof het systeem verlaat met het overstortwater.

De productie aan kalkrestprodukt is aanzienlijk lager dan voorzien. Immers, verwacht mag worden dat 1 kg kalk leidt tot de vorming van minimaal 1 kg restprodukt-drogestof. De lagere productie hangt samen met de toename van het Ca^{2+} -gehalte in het effluent. Door een tekort aan carbonaat-ionen ten gevolge van het CO_2 -strippen slaat niet alle gedoseerde Ca^{2+} neer. Tijdens de duurtest op de rwzi Huizen is aan de hand van de Ca^{2+} -concentraties geconstateerd, dat 81,5% van de gedoseerde Ca^{2+} het systeem verlaat met het effluent.

De productie aan kalkrestprodukt is gecontroleerd aan de hand van onderstaande kalkbalans over de periode 24.04-04.05 1992.

KALK IN 3085 kg Ca^{2+}

KALK UIT

- restprodukt 3156 kg d.s.	
25% CaO: (zie tabel 5.2):	563 kg Ca^{2+}
- effluent	
81,5% van kalk in (op basis van Ca^{2+} -analyses op de rwzi Huizen):	<u>2417 kg Ca^{2+}</u>
	3080 kg Ca^{2+}

Tabel 5.1 Slibproductie bij magnetische defosfatering met kalk bij toepassing van CO₂-strippen

Periode	24.04-04.05'92			05.05-13.05'92		
Waterdebiet (m ³)	57.019			54.169		
Kalkdosering* (kg)	5.710			5.850		
	hh. (m ³)	d.s.conc. (kg/m ³)	d.s. (kg)	hh. (m ³)	d.s.conc. (kg/m ³)	d.s. (kg)
Ingedikt slib	100	28,28	2.828	100	28,94	2.894
Overloopwater	988	0,332	328	1004	0,235	236
Slibproductie:						
- totaal (kg d.s.)			3.156			3.130
- per m ³ water (kg d.s./m ³)			0,055			0,058
- per kg kalk (kg d.s./kg)		0,55			0,54	

* kalkdosering op basis van het kalkverbruik, zoals opgegeven in hoofdstuk 3.1.3

5.1.2 IJzerrestprodukt

Magnetische defosfatering met ijzer(3)chloride is alleen toegepast op de rwzi Huizen. In Huizen is geen gemengd bassin aanwezig zoals in Geldermalsen, zodat de productie aan ijzerrestprodukt niet kan worden vastgesteld volgens de in 5.1.1 beschreven methode.

De productie aan ijzerrestprodukt is berekend op basis van de droge stof-concentratie van het spoelmedium na de magnetische drumseparator.

Per uur wordt 6,9 m³ spoelmedium geproduceerd met een droge stof gehalte van 3,1 kg/m³.

De droge stof productie is derhalve 21,39 kg per uur. Aangezien het waterdebiet ten tijde van de metingen 280 m³/uur bedroeg, wordt per m³ behandeld water 0,076 kg droge stof gevormd.

De slibproductie per kg gedoseerde Fe³⁺ is 4,78 kg droge stof. Deze slibproductie is een factor 2 hoger dan verwacht mag worden op grond van de omzetting van Fe³⁺ in de onoplosbare componenten FePO₄ en Fe(OH)₃. De verhoogde slibproductie moet worden toegeschreven aan de co-precipitatie van slibdeeltjes in het effluent van de rwzi Huizen. De co-precipitatie blijkt ook uit het hoge gehalte aan organisch materiaal in het gevormde ijzerslib: de gloeirest is 64%.

5.2 Samenstelling restprodukt

De samenstelling van het restprodukt is geanalyseerd door een extern laboratorium. De analyses zijn uitgevoerd volgens de NEN-voorschriften.

De samenstelling van het kalkrestprodukt is samengevat in tabel 5.3.

Tabel 5.3 Samenstelling kalkrestprodukt. De analyses zijn uitgevoerd volgens NEN-voorschriften.

Installatie Bedrijfsvoering		Geldermalsen*			Huizen**
		gestript	min.	max.	ongestript
Droge stof	(%)	0,34			25,6
Gloeirest	(% van d.s.)	76,5			97,3
Fosfaat als P ₂ O ₅	(% van d.s.)	7,1			1,7
Calcium als CaO	(% van d.s.)	25			33
Kalium als K ₂ O	(% van d.s.)	0,83			0,013
Magnesium als MgO	(% van d.s.)	1,64			0,43
Zuurbindende waarde	(% van d.s.)	15,5			42
Zee fractie > 1 mm	(%)	< 0,05			-
Zee fractie 0,15 < x < 1mm	(%)	< 0,05			-
Arseen	(mg/kg d.s.)	3,73	0,5	7,7	0,72
Cadmium	(mg/kg d.s.)	< 0,5	< 0,1	1,3	< 0,1
Chroom	(mg/kg d.s.)	32,2	2,0	57,0	23
Koper	(mg/kg d.s.)	149,4	1,0	280	< 10
Kwik	(mg/kg d.s.)	< 0,5	< 0,1	0,8	< 0,2
Nikkel	(mg/kg d.s.)	57	0,6	225	37
Lood	(mg/kg d.s.)	29,9	0,4	60	< 10
Zink	(mg/kg d.s.)	224	9,2	390	53
Antimoon	(mg/kg d.s.)	0,8			

* monsternamen restprodukt: na magnetische drumseparator

** monsternamen restprodukt: na centrifugeren

Het kalkrestprodukt van de installatie Geldermalsen is tweemaal in containers aangeleverd bij Hoechst. De eerste partij was ontwaterd met een decanteercentrifuge; de tweede partij met een kamerfilterpers. De partijen zijn ook door Hoechst geanalyseerd. Het vochtgehalte is bepaald door de monsters 16 uur te drogen bij 100 °C en de gewichtsafname te bepalen. Daarna zijn de monsters 1 uur verhit bij 1000 °C. Bij deze temperatuur wordt ook de CO₂ uitgedreven.

Het P₂O₅-gehalte in de beide partijen was nagenoeg gelijk, namelijk 16-20,5%. Het magnetietgehalte in de eerste partij bedroeg 10,5% van de asrest. In de tweede partij werd 4% magnetiet aangetroffen. De verlaging van het magnetietgehalte in de tweede partij is het gevolg van een verbetering van de invoerleiding naar de opslagtank voor het restprodukt.

De samenstelling van het ijzerrestprodukt, geproduceerd op de rwzi Huizen is weergegeven in tabel 5.4. Het monster is genomen na ontwatering van het slib met een decanteercentrifuge.

Tabel 5.4 Samenstelling ijzerrestprodukt, geproduceerd op de rwzi Huizen. De analyses zijn uitgevoerd volgens NEN-voorschriften

Droge stof	(%)	22
Gloeirest	(% van d.s.)	64
Fosfaat als P ₂ O ₅	(% van d.s.)	8,7
Ijzer	(g/kg d.s.)	400
Calcium	(g/kg d.s.)	11,7
Chroom	(mg/kg d.s.)	70
Koper	(mg/kg d.s.)	196
Lood	(mg/kg d.s.)	29
Nikkel	(mg/kg d.s.)	9,6
Zink	(mg/kg d.s.)	590
Cadmium	(mg/kg d.s.)	n.b.

5.3 Opslag en ontwatering restprodukt

5.3.1 *Opslag en indikking*

Het restprodukt dat gevormd wordt bij magnetische defosfatering met kalk bezinkt goed, zelfs in een eenvoudig uitgevoerde opslagsilo. De gegevens in tabel 5.1 geven aan dat het slib met een factor 10 indikt, dat wil zeggen van 0,3% droge stof tot ca. 3% droge stof. Bij normale bedrijfsvoering verloopt het indikproces zeer betrouwbaar. Tijdens de testen hebben zich alleen problemen voorgedaan in de aanloopfase van de installatie Huizen. Door het relatief geringe aantal draaiuren duurde het meer dan 6 maanden voordat de opslagtank was gevuld. In deze periode klonk het restprodukt zodanig in dat het niet meer verpompt kon worden en handmatig verwijderd moest worden. De vorming van zeer geconcentreerd restprodukt werd ook bevorderd door de geometrie van de opslagtank (liggende tank) en door de relatief hoge magnetietverliezen in de aanloopfase. Magnetiet in het restprodukt maakt het product zwaarder zodat het sneller bezinkt en meer inklinkt. De ervaring in Huizen heeft geleerd dat het is aan te bevelen de opslagsilo regelmatig te legen.

Het ijzerprodukt heeft geheel andere bezinkeigenschappen dan het kalkrestprodukt. Het ijzerrestprodukt blijft volumineus. De indikfactor bedraagt 2 à 3. Aangezien het primaire restprodukt, direct na de magnetische drumseparator, een droge stofgehalte heeft van ca. 3 kg/m³, wordt na bezinking in de opslagtank de droge stof-concentratie van het restprodukt 6-9 kg/m³ (0,6-0,9%).

De slechte bezinkeigenschappen van het ijzerrestprodukt zijn waarschijnlijk toe te schrijven aan de vernietiging van de ijzervlokken in de disruptor vóór de magnetische drumseparator. Naast de primaire functie van de disruptor, namelijk het scheiden van de ijzervlokken en het magnetiet worden ook de ijzervlokken zelf kapotgeslagen.

5.3.2 *Ontwatering ingedikte restprodukt*

Het ingedikte restprodukt is verder ontwaterd op droogbedden en met behulp van een decanteercentrifuge en een kamerfilterpers.

In Geldermalsen is het restprodukt ontwaterd op droogbedden van de rwzi Droogbedden bleken zeer geschikt om het kalkrestprodukt te ontwateren.

Het restprodukt werd op de droogbedden verspreid met een laagdikte van 20-30 cm. Binnen twee weken was het produkt steekvast, waarna door scheurvorming het materiaal verder indroogde tot harde kluiten. Incidenteel is het droge stofgehalte geanalyseerd. Het droge stofgehalte na ontwatering op droogbedden was hoger dan 80%. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de weersomstandigheden voor droging ideaal waren (warme, droge zomer 1991).

Ontwatering op droogbedden is een minder geschikte techniek wanneer het restprodukt wordt afgezet naar de industrie. Bij het ruimen van de bedden wordt zand van het bed meegenomen zodat het restprodukt wordt gemengd met inert zand. Bovendien vraagt afzet naar de industrie kwaliteitsgaranties van het produkt, bijvoorbeeld ten aanzien van het droge stofgehalte.

Ontwatering op droogbedden verloopt echter minder gecontroleerd dan mechanische ontwatering en is o.a. afhankelijk van de weersomstandigheden.

Het restprodukt van de droogbedden is, in afwachting van een op hergebruik gerichte afzet, afgevoerd naar de stort.

Op basis van de goede ontwateringseigenschappen van het restprodukt op droogbedden is een test uitgevoerd met een zogenaamde ontwateringscontainer, een versnelde en gecontroleerde vorm van natuurlijke ontwatering. De ontwatering in de containers verliep minder snel dan verwacht. Bovendien was het noodzakelijk hulpstoffen toe te voegen, zoals zuur (neutralisatie), ijzerzouten en polymeer.

Ten behoeve van de afzet naar Hoechst B.V. is een lading restprodukt ontwaterd met een decanteercentrifuge. Het restprodukt (200 m³, ca. 3% d.s.) werd ontwaterd tot 23,1% d.s. zonder polymeer en tot 26,2% d.s. met polymeer. De toevoeging van polymeer was vooral nodig om het gehalte aan zwevende stof in het supernatant te reduceren. Bij de testen is 1 type polymeer gebruikt in zowel vloeibare als granulaat vorm, namelijk Allied Colloids Z 78 FS 40 respectievelijk Allied Colloids Z 87. De polymeerdosering was 7-8 kg per ton d.s. De noodzaak van polymeertoevoeging was niet naar voren gekomen tijdens voorlopige testen met het kalkrestprodukt in Huizen. Dit restprodukt kon zonder toevoeging van chemicaliën met een decanteercentrifuge worden ontwaterd tot 25-30% d.s.

Ontwaterd kalkrestprodukt met ca. 25% d.s. is steekvast. De consistentie is duidelijk anders dan van schuimaarde, een kalkrijk bijprodukt van de suikerindustrie. Schuimaarde is tot een droge stofgehalte van ca. 48% nog verpompbaar en wordt in de landbouw toegepast als kalkmeststof voor onderhoudsbekalking.

Omdat voor de afzet van het restprodukt een verregaande ontwatering noodzakelijk is, zijn ook testen uitgevoerd met een kamerfilterpers. In juli 1992 is een partij kalkrestprodukt op de rwzi Geldermalsen ontwaterd met behulp van een kamerfilterpers. Hierbij zijn geen hulpstoffen of polymeren gedoseerd. Het bereikte resultaat d.s.-gehalte was ca. 26%.

Het ijzerrestprodukt in Huizen is ontwaterd met een decanteercentrifuge. Bij een magnetische defosfatering met ijzer-(3)zout is ontwatering nodig als onderdeel van de dagelijkse bedrijfsvoering. Omdat het primaire ijzerrestprodukt slecht indikt, is de opslagcapaciteit van de silo (80 m³) slechts voldoende voor een periode van 2-3 dagen. Bij ontwatering van het ijzerrestprodukt is het noodzakelijk polymeer te doseren. Bij de testen in Huizen is Superfloc gebruikt met een dosering van ca. 15 g/kg d.s. De polymeerdosering is overigens nog niet geoptimaliseerd.

Het ijzerrestprodukt wordt met de centrifuge ontwaterd tot een droge stofgehalte van 15-20% (steekvast).

Na ontwatering wordt het restprodukt voorlopig gestort.

5.4 Afzet kalkrestprodukt

5.4.1 *Afzet naar de landbouw*

Het kalkrestprodukt kan worden aangewend als kalkmeststof in de landbouw. Hiervoor is de wettelijk verplichte "Ontheffing van het meststoffenbesluit" verleend.

Om dit afzetkanaal te testen is in juli/augustus 1991 106 m³ kalkrestprodukt uit Huizen gebruikt voor onderhoudsbekalking. Het restprodukt was geproduceerd in een periode dat geen CO₂-stripping werd toegepast. Het droge stofgehalte van het ingedikte restprodukt was ca. 12%.

In april 1992 is het effect van de onderhoudsbekalking vastgesteld door middel van pH-metingen van behandelde en onbehandelde percelen. De pH-toename bedroeg ca. 0,5 pH-eenheden. Hieruit kan worden afgeleid dat de zuurbindende waarde van het restprodukt ca. 50% van de droge stof is. Deze effectieve zuurbindende waarde van het restprodukt is vergelijkbaar met die van schuimaarde. Bovendien komt de onder praktijkomstandigheden gevonden zuurbindende waarde goed overeen met de geanalyseerde waarde van 42% (zie tabel 5.3).

Ondanks de goede zuurbindende waarde van het restprodukt kan het om de volgende redenen niet concurreren met schuimaarde.

a. Consistentie

Het restprodukt is tot ca. 20% d.s. verpompbaar, daarboven is het steekvast. Schuimaarde kan tot 48% d.s. worden verpompt.

Wanneer het restprodukt met 20% d.s. wordt gebruikt voor onderhoudsbekalking moet 2,5 x zoveel worden opgebracht als schuimaarde. De kosten voor onderhoudsbekalking bestaan voor 60-70% uit transport- en uitrijkosten. Wil het restprodukt kunnen concurreren dan moet ca. fl. 16,-/ton worden toegelegd op extra transport- en uitrijkosten.

b. Fosfaatgehalte

Het restprodukt bevat fosfaat. Bij onderhoudsbekalking, wat éénmalig voor een aantal jaren wordt uitgevoerd, wordt de fosfaatsnorm van 75 kg P/ha, jaar volledig opgevuld. Er mag dat jaar geen andere P-mesting worden toegepast. Vooral in mestoverschotgebieden zal het restprodukt sterke concurrentie ondervinden van dierlijke mest.

c. Wetgeving

In de toekomst dient het restprodukt voor landbouwkundige toepassing een zuurbindende waarde te hebben van 25%. Om deze waarde te bereiken, moet het restprodukt worden ontwaterd tot 50% d.s. Bij deze concentratie heeft het produkt een zodanige consistentie, dat het waarschijnlijk niet op het land kan worden verspreid. Het is te droog om te verpompen en te nat voor korrelverspreiders.

Een andere potentiële bedreiging vormt de aanscherping van de normstelling ten aanzien van de samenstelling van reststoffen bij landbouwkundige toepassing. De kalkrestprodukten uit Huizen en Geldermalsen voldoen ruimschoots aan de huidige eisen met betrekking tot het gehalte aan zware metalen, maar worden kritisch wat betreft de norm voor nikkel na 1995.

De samenstelling van het restprodukt is afhankelijk van de afvalwatersamenstelling. Dit betekent dat afzet naar de landbouw niet altijd kan worden gegarandeerd, zeker niet wanneer de normstelling verder wordt aangescherpt.

Naast bovengenoemde punten wordt de directe afzet van het restprodukt voor landbouwkundige doeleinden ook bemoeilijkt door de sterke concurrentie van andere kalkreststoffen, zoals schuimaarde.

Een andere mogelijkheid om het restprodukt in de landbouw af te zetten, is het drogen en granuleren. Het opgewerkte produkt wordt in zogenaamde big bags aangeboden als kalkfosfaatmeststof. Deze afzetmogelijkheid wordt verder uitgewerkt, waarbij aandacht wordt gegeven aan de economie van dit afzetkanaal. In het kader van het flankerend onderzoek heeft Haskoning B.V. de kosten voor het drogen van kalkreststof berekend. De kosten voor droging van 45% d.s. tot 98% bedragen ca. fl. 125,-- per ton d.s.

Bij de afzet van het opgewerkte produkt zal ook aandacht worden besteed aan export naar Duitsland, waar andere maatstaven worden gehanteerd voor fosfaatmeststoffen. Dit afzetkanaal is verder uitgewerkt in een deelrapport (6).

5.4.2 Afzet naar de industrie

Het kalkrestprodukt kan in principe worden ingezet als grondstof/halffabrikaat voor industriële productieprocessen. Mogelijke afzetkanalen zijn:

- producenten mengmeststoffen
- fosforzuurproducenten.

Producenten van mengmeststoffen zijn o.a. Agri-Unie Vulkaan, Hydro-Agri en Kemira. Kemira en Hydro-Agri komen sinds kort niet meer in aanmerking als afnemers voor deze toepassing omdat zij hun bedrijfsactiviteiten op dit gebied hebben afgestoten. Agri-Unie Vulkaan heeft te kennen gegeven geen interesse in het restprodukt te hebben. Het bedrijf gaat in principe niet in op aanbiedingen van kalkreststoffen omdat het concurrerende produkten zouden kunnen worden voor de eigen produkten en omdat er te weinig zekerheid is over de zuiverheid van de reststoffen.

Fosforzuurproducenten in Nederland zijn o.a. Hoechst, Hydro-Agri, Kemira en Amsterdam Fertilizer.

De productiecapaciteit van deze bedrijven is aanzienlijk groter dan de Nederlandse afzetmarkt. De vestiging van deze bedrijven in Nederland is een direct gevolg van de ligging aan open zeewater voor de aanvoer van fosfaaterts.

De fosforzuurproductie staat momenteel onder druk ten gevolge van een afname van de markt voor fosforzuur (P-arme wasmiddelen, geringere vraag naar kunstmest) en door een aanscherping van de lozingsvergunningen.

Bij de productie van fosforzuur wordt als grondstof fosfaaterts toegepast met een P_2O_5 -gehalte van 30-40%. Hoechst past een thermische ontsluiting van P toe. De andere bedrijven gebruiken een chemische ontsluiting met zwavelzuur.

Kemira heeft te kennen gegeven momenteel geen interesse te hebben in het restprodukt vanwege de onzekere positie van het bedrijf in verband met het verkrijgen van lozingsvergunningen. In principe lijkt het productieproces van Kemira in Pernis echter zeer geschikt voor opname van het restprodukt omdat ook nu al slurries met een vergelijkbare consistentie worden teruggepompt in het ontsluitingsproces.

Hydro-Agri en Amsterdam Fertilizer hebben een monster restprodukt uit Geldermalsen aangeboden gekregen. Beide bedrijven gaven te kennen dat ze het restprodukt niet kunnen opnemen. De belangrijkste reden is de stankvorming die optreedt wanneer het restprodukt met zwavelzuur op een lage pH wordt gebracht.

Amsterdam Fertilizer heeft ook het "natte" restprodukt getest als neutralisatievloeistof. Het restprodukt was niet bruikbaar vanwege het geringe neutraliserende effect en de stankvorming die ook hier optreedt bij verlaging van de pH.

De afzet van het kalkrestprodukt is het meest concreet getest bij Hoechst B.V. te Vlissingen. Eind maart 1992 is ca. 14 ton ontwaterd restprodukt aangeboden aan Hoechst. Het restprodukt is als grondstof aangewend voor het produktieproces. Hierbij hebben zich geen technische problemen voorgedaan. Volgens analyses van Hoechst was het P_2O_5 -gehalte 16% van de asrest van de kalkreststof.

Hoechst heeft zich bereid verklaard over een continue afname te praten wanneer aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- voorlopig een beperkte toelevering, maximaal 3 ton d.s. per week. Dit is bij benadering de produktie op de rwzi Geldermalsen. Met deze beperkte toelevering kan praktijkervaring worden opgedaan ten behoeve van een grotere toelevering in de toekomst.
- vochtgehalte: ca. 50% d.s.
Op basis van de resultaten van de ontwateringstesten kan dit vochtgehalte worden bereikt na ontwatering op droogbedden. Hierbij valt te denken aan overdekte droogbedden zonder gebruik te maken van zand als bodemlaag.
- P_2O_5 -gehalte: 15-20% van de asrest, bij voorkeur hoger.
Het aangeboden restprodukt voldeed volgens Hoechst aan deze afname-eis
- Fe-gehalte: maximaal 1% van de asrest.
De aangeboden tweede partij restprodukt had een Fe-gehalte van 4 % van de asrest. Dit gehalte is hoger dan 1%, maar Hoechst lijkt bereid materiaal met dit Fe-gehalte te accepteren.

5.4.3 Overige afzetkanalen

Gezien de minder gunstige perspectieven voor afzet van het kalkrestprodukt naar de landbouw en de industrie (met uitzondering van Hoechst) zijn door Haskoning andere afzetkanalen geïnventariseerd. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze afzetkanalen wordt verwezen naar een deelrapport (6).

- Cement- en kalksandsteenindustrie.
Weinig belangstelling voor het restprodukt vanwege het zeer grote aanbod van kalkreststoffen.
- Baksteenindustrie.
De baksteenindustrie gebruikt momenteel calciumcarbonaat als grondstof (50% Ca, 11% water) tegen een prijs van fl. 90,- per ton. Een eerste indicatie voor toepassing van het restprodukt in deze branche is positief op voorwaarde dat het produkt voldoet aan een aantal samenstellingseisen (zwavel, vochtgehalte, deeltjesgrootte, chloride en fluoride).
- Verbrandingsprocessen.
Het kalkrestprodukt kan in principe worden toegepast voor de binding van SO_x bij de semi-droge rookgasreiniging. Het restprodukt heeft verder goede mogelijkheden voor gebruik bij droge reiniging (directe dosering in de vuurhaard) en bij het natte reinigingsproces, waarbij geen afvalwater vrijkomt.
- Grondstof kalkproduktie.
Deze afzetmogelijkheid speelt niet op korte termijn, maar zal in de toekomst van belang worden door de eindigheid van mergel, dat nu als grondstof wordt gebruikt.

5.5. Afzet ijzerrestprodukt

Voor de toepassing van het ijzerrestprodukt zijn de volgende mogelijkheden geïnventariseerd. De mogelijkheden zijn gedetailleerd beschreven in een deelrapport (6).

- Toeslagstof baksteenindustrie.
Het restprodukt kan worden gebruikt als toeslagstof voor de roodkleuring van bakstenen. De vraag uit de baksteenindustrie overtreft momenteel de produktie van deze toeslagstof. Hier staat tegenover dat de afzet onzeker is omdat de kleur van bakstenen onderhevig is aan mode.
- Dosering gistingstank voor binding H_2S .
Deze toepassing van het restprodukt is waarschijnlijk niet zinvol. Op basis van berekeningen is het te verwachten dat dosering van ijzerfosfaat een evenredige teruglevering van fosfaat tot gevolg zal hebben. Deze berekening moet nog worden onderbouwd met testen.
- Grondstof produktie ijzerchloride.
De ijzerhoudende reststof kan worden opgewerkt tot ferrichloride dat als vlokmiddel toegepast kan worden bij fysisch-chemisch afvalwaterzuivering. Het is evenwel de vraag of het terugwinproces economisch rendabel is door de hoge chemicaliënkosten.
- Grondstof sinterovens.
Bij de toepassing als grondstof voor sinterovens dient het gehalte aan organische stof hoog te zijn aangezien organische stof dienst doet als brandstof voor de oven.

6 KOSTENCALCULATIES

6.1 Inleiding

Op basis van de ervaringen van de demonstratie-installaties Huizen en Geldermalsen zijn de kosten geraamd van magnetische defosfatering op rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Voor het vaststellen van de investeringskosten zijn een viertal systeemvarianten voor magnetische defosfateringsinstallaties nader uitgewerkt.

Deze systeemvarianten zijn te beschouwen als "tweede generatie" installaties.

Ingegeven door de ervaringen in de beide demonstratie-installaties is er bij het ontwerp vooral aandacht besteed aan de preventie van kalkaanslag en/of de mogelijkheden om kalkafzettingen te verwijderen. Dit heeft ertoe geleid, dat de meeste varianten zijn gebaseerd op toepassing van open gemengde tanks voor de reactie met kalk en de flocculatie met magnetiet. Open tanks zijn toegankelijk voor het schoonmaken en hebben per m³ reactorvolume minder oppervlak dan flocculatiebuizen.

Voor het ontwerp van de systeemvarianten zijn de volgende procestechnologische keuzes gemaakt.

- De systemen dienen geschikt te zijn voor defosfatering met kalk, een combinatie kalk/loog en ijzer(3)chloride.
- Er wordt geen CO₂-stripping toegepast. Deze keuze is gemaakt vanwege de hoge kosten van CO₂-strippen, ondermeer door het zuurverbruik, en vanwege de verhoging van het sulfaatgehalte in het water.
Op de beide demonstratie-installaties is wel CO₂-stripping toegepast. Eén van de belangrijkste overwegingen hiervoor was, dat met CO₂-strippen een fosfaatreststof met een hoog fosfaatgehalte wordt geproduceerd. Dit is van belang als het restprodukt wordt afgezet naar de fosfaatproducerende industrie. Om in de tweede generatie installaties een restprodukt te verkrijgen met een vergelijkbaar fosfaatgehalte is er bij het ontwerp rekening mee gehouden, dat een gedeelte van de kalkdosering wordt vervangen door een loogdosering.
- Neutralisatie van de pH na defosfatering met kalk of kalk/loog wordt uitgevoerd met CO₂.
Op deze manier worden geen vreemde ionen aan het water toegevoegd.

6.2 Systeemvarianten

De investeringskosten zijn geraamd voor een viertal systeemvarianten van magnetische defosfateringsinstallaties.

Systeem 1.

De voorbehandeling in systeem 1 wordt uitgevoerd in een gesloten flocculatiebuis. In de flocculatiebuis vindt zowel de kalkreactie als de flocculatie met magnetiet plaats. Het systeem is identiek aan het systeem toegepast in de beide demonstratie-installaties. Om afzetting van kalk te voorkomen en te verwijderen, worden de flocculatiebuis, de magneet en de afvoerleidingen regelmatig gespoeld met verdund zoutzuur. Hiervoor wordt een speciaal spoelsysteem geïnstalleerd. De spoelvloeistof heeft na gebruik een neutrale pH en bevat calciumchloride. De spoelvloeistof wordt geloosd met het effluent.

Systeem 2.

In systeem 2 vindt de kalkreactie en de flocculatie plaats in twee open, gemengde tanks. In de eerste tank wordt kalk gedoseerd, in de tweede magnetiet en polymeer.

De tanks zijn goed bereikbaar voor onderhoud en reiniging. Vanuit de flocculatietank stroomt het voorbehandelde water onder vrij verval door de magneet.

De voorbehandelingstanks en de magnetieterugwinning zijn op maaiveld niveau geplaatst. De pompput, de magneet en het spoelwatervat zijn ondergronds geïnstalleerd.

Systeem 3.

Systeem 3 is gebaseerd op de toepassing van een open, opwaarts doorstroomde contacttank voor de kalkreactie. De contacttank wordt mechanisch gemengd om neerslag van kalkslib te voorkomen in situaties, dat er geen water wordt aangevoerd. Na doorstroming van de kalkcontacttank stroomt het water over in een open flocculatietank. De flocculatietank is geïnstalleerd direct boven de magneet.

Afgezien van de pompput is de hele installatie bovengronds geplaatst.

Systeem 4.

Procestechnologisch is systeem 4 volledig identiek aan systeem 2, maar de gehele installatie is bovengronds opgesteld. Dit betekent, dat de kalkreactietank en de flocculatietank op een niveau boven de magneet zijn gesitueerd.

6.3 Uitgangspunten

De technologische uitgangspunten en de ontwerpgrondslagen van de verschillende systeemvarianten zijn in detail vermeld in een deelrapport, opgesteld door Haskoning B.V. (7).

De investeringskosten zijn geraamd voor volledige installaties voor magnetische defosfatering, inclusief slibontwatering. De installaties zijn volledig beschermd tegen vorst.

Voor alle 4 systeemvarianten zijn de investeringskosten geraamd voor capaciteiten van 20.000, 50.000 en 100.000 i.e.

Bij de raming van de investeringskosten en de totale jaarlijkse kosten zijn de navolgende uitgangspunten gehanteerd. Hierbij is waar mogelijk aangesloten bij de uitgangspunten, gehanteerd in het RIZA rapport (3) "Het effect van vervanging van wasmiddelen-P op de kosten van fosfaatverwijdering". Op deze manier is een indicatieve kostenvergelijking met andere defosfateringstechnieken mogelijk.

A. Uitgangspunten berekening kapitaalslasten

Bij de vaststelling van de totale investeringskosten zijn niet inbegrepen de kosten voor:

- fundering op staal
- leidingenwerk van en naar de installatie
- terreininrichting
- installatie en leges
- grond.

Voor de vaststelling van de totale investeringskosten zijn over de kale investeringen de volgende opslagpercentages berekend, en wel telkens over de som van de investeringen en de voorafgaande opslagpercentages:

- advieskosten
 - 15% over investeringen tussen f 500.000,-- en f 3.000.000,--
 - 12% over investeringen boven f 3.000.000,--
- bouwrente: 5%
- onvoorzien: 10%
- winst/risico verzekering: 2%
- BTW: 17,5%.

Voor de berekening van de kapitaalslasten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- afschrijvingstermijn bouwkundig: 30 jaar
- afschrijvingstermijn elektro-mechanisch: 15 jaar
- rentevoet 9%
- afschrijving op annuïteitsbasis.

B. Uitgangspunten berekening variabele lasten.

Voor de berekening van de variabele lasten van de verschillende systemen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- onderhoudskosten:
 - civiele werken:
0,5% over investeringen + opslagkosten.
 - elektro-mechanische werken:
1,5% over investeringen + opslagkosten.
- kosten chemicaliën:

- kalk (als $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	<i>f</i> 145,-- per ton
- loog (op basis van 100% NaOH)	<i>f</i> 680,-- per ton
- ijzerchloride (als 41% FeCl_3)	<i>f</i> 440,-- per ton
- magnetiet als (100% Fe_3O_4)	<i>f</i> 400,-- per ton
- polymeer (Praestol granulaat)	<i>f</i> 10,-- per kg
- CO_2	<i>f</i> 285,-- per ton
- zoutzuur (33% HCl) voor spoelen	<i>f</i> 200,-- per ton

Het verbruik aan ijzerchloride ($\beta=2,7$), magnetiet (10 g/m^3) en polymeer (1 g/m^3) is gebaseerd op de ervaringen met de demonstratie-installaties. Het verbruik aan kalk, loog en CO_2 is ontleend aan het RIZA rapport, 1988 (3).

- energiekosten:
 - *f* 0,16 per kWh.
 - verbruik $0,1 \text{ kWh/m}^3$ water.
- personeelskosten
f 70.000,-- per mensjaar, met
 - 1/2 mensjaar per jaar voor installaties van 20.000 i.e.
 - 1 mensjaar per jaar voor installaties van 50.000 i.e.
 - 2 mensjaar per jaar voor installaties van 100.000 i.e.

6.4 Kostenramingen

De totale investeringskosten, inclusief de opslagen en BTW, zijn samengevat in tabel 6.1.

Tabel 6.1 Raming investeringskosten, inclusief opslagen en BTW, voor de procesvarianten bij diverse capaciteiten (in Dfl. 1000)

Systeem	Capaciteit (i.e.)		
	20.000	50.000	100.000
1. (flocculatiebuis)	2.929	6.208	9.726
2. (open tanks, ondergronds)	3.345	6.989	10.729
3. (kalkcontacttank)	3.067	6.360	9.763
4. (open tanks, bovengronds)	2.966	6.282	9.830

Uit tabel 6.1 blijkt, dat alleen systeem 2 significant hogere investeringskosten heeft dan de andere 3 systemen. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de keuze voor bovengrondse uitvoering (systeem 4) of ondergrondse uitvoering (systeem 2) sterk afhankelijk is van de lokale bodemcondities.

De investeringskosten voor de overige 3 systemen liggen in dezelfde orde van grootte.

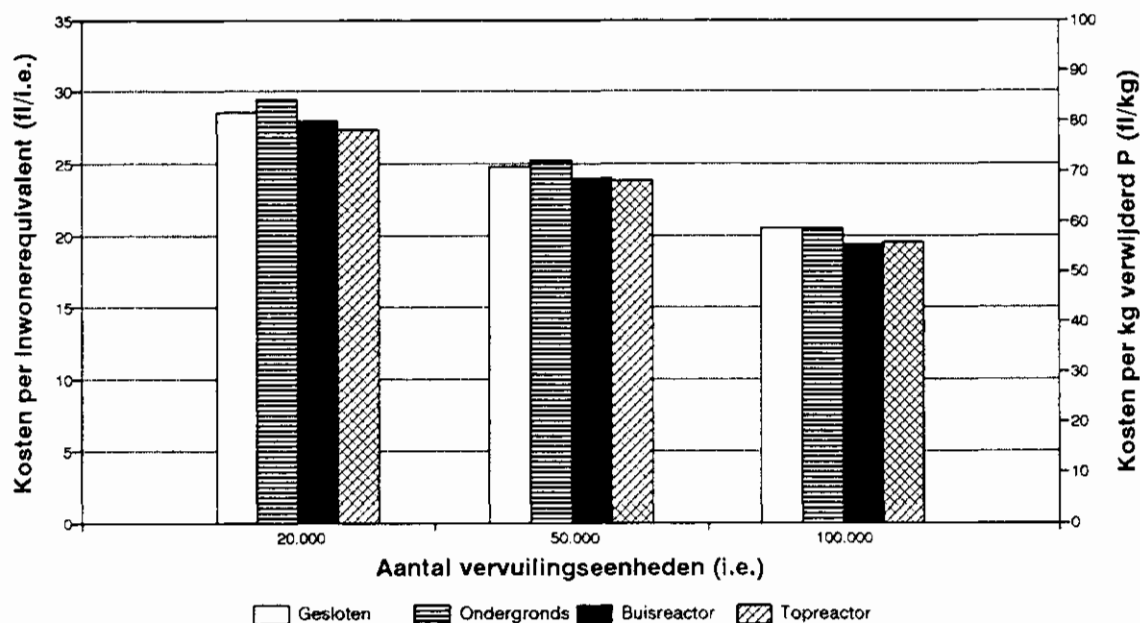
De jaarlijkse kosten voor magnetische defosfatering zijn opgebouwd uit:

- de jaarlijkse kapitaalslasten
- de onderhoudskosten
- de kosten van de chemicaliën
- de energiekosten
- de bedieningskosten.

Voor de afzet van het restproduct is vooralsnog aangenomen, dat het restproduct na ontwatering tegen nulkosten wordt afgezet. Dit is nog niet zeker gesteld.

De totale jaarlijkse kosten voor de verschillende systeemvarianten in relatie tot de zuiveringscapaciteit zijn weergegeven in figuur 6.1. De kosten in figuur 6.1 betreffen magnetische defosfatering met kalk als precipitatiemiddel.

De jaarlijkse kosten, vermeld in figuur 6.1, zijn niet zonder meer te vertalen naar de jaarlijkse kosten van de demonstratie-installaties in Huizen en Geldermalsen. Dit geldt met name voor de kosten van kalk en zuur/CO₂. Het verbruik aan kalk en zuur/CO₂ voor de neutralisatie is in de demonstratie-installaties groter dan aangenomen in het RIZA-rapport (3). Het verbruik van deze chemicaliën is afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater en varieert per installatie.



Figuur 6.1 Totale jaarlijkse kosten magnetische defosfatering met kalk voor de diverse procesvarianten in relatie tot de zuiveringscapaciteit.

De toepassing van loog/kalk of ijzer(3)chloride leidt, in vergelijking met gebruik van alleen kalk, tot aanzienlijk hogere exploitatielasten. Gecombineerde dosering van kalk en loog in een verhouding 1:1 heeft tot gevolg dat de jaarlijkse lasten stijgen met 16% (20.000 i.e.) tot 23% (100.000 i.e.). Indien in plaats van 100% technisch NaOH afval-loog kan worden gebruikt, zal de kostenverhoging worden gereduceerd.

Magnetische defosfatering met ijzer(3)chloride heeft tot gevolg, dat de jaarlijkse kosten stijgen met 5% (20.000 i.e.) tot 17% (100.000 i.e.) in vergelijking met defosfatering met uitsluitend kalk.

Figuur 6.1 laat zien dat het verschil in de exploitatiekosten van de vier systeemvarianten in de orde van grootte van 5% ligt. Dit verschil is gering gezien de nauwkeurigheid van de berekeningen. Een systeemkeuze zal derhalve niet in de eerste plaats worden genomen op basis van algemene kostenvoordelen van één van de varianten, maar veeleer op basis van procestechnologische voorkeur en externe factoren, zoals de bodemgesteldheid, de grondwaterspiegel en de beschikbare ruimte.

6.5 Vergelijking met andere defosfateringstechnieken

Ter vergelijking zijn in tabel 6.2 de exploitatiekosten weergegeven van systeem 4 (open reactievaten, bovengronds) en van andere defosfateringstechnieken bij capaciteiten van 50.000 en 100.000 i.e. Als bron voor de jaarlijkse exploitatiekosten van de andere defosfateringsstechnieken is gebruik gemaakt van het RIZA rapport (3). De kosten in dit rapport hebben betrekking op peiljaar 1990. Ten behoeve van de vergelijking zijn de indertijd gevonden kosten met 10% verhoogd en afgerond op 0,1 gulden.

Tabel 6.2 Jaarlijkse exploitatiekosten van huidige defosfateringstechnieken, uitgaande van een P totaal concentratie van 10 mg/l in het ruwe influent. De kosten zijn incl. BTW.

Defosfateringstechniek	Exploitatiekosten (f per i.e. per jaar)	
	50.000 i.e.	100.000 i.e.
Simultane precipitatie ¹⁾	8,70	8,00
Simultane precipitatie + vlokingsfiltratie ¹⁾	18,80	15,90
Biologische defosfatering + aanvullende simultane precipitatie	11,70	10,50
Biologische defosfatering in sliblijn (deelstroom) ²⁾	10,40	9,40
Korrelreactor met cascade ²⁾	24,60	21,00
Magnetische defosfatering volgens systeem 4. ²⁾	23,80	19,50

¹⁾ uitgaande van verbranding van het restprodukt

²⁾ restprodukt tegen nulkosten afzetbaar

Uit tabel 6.2 komt naar voren, dat de exploitatiekosten van magnetische defosfatering relatief hoog zijn ten opzichte van de andere defosfateringstechnieken. Alleen de kosten voor de techniek van de korrelreactor met cascade liggen in dezelfde orde van grootte.

Hierbij moet worden opgemerkt, dat testen en studies op het gebied van biologische defosfatering, uitgevoerd na 1990, aangeven dat de kosten voor biologische defosfatering in de sliblijn (deelstroom) waarschijnlijk hoger zullen zijn dan de kosten genoemd in het RIZA rapport (3).

7 CONCLUSIES

- Tijdens de duurtesten in Huizen werd de P-totaal-concentratie gereduceerd van 6,5 mg/l tot 0,8 mg/l met kalk als precipitatiemiddel en van 4,8 tot 0,67 mg/l met ijzer(3)chloride. Op de installatie in Geldermalsen werd de P-concentratie over het meethalfjaar verlaagd van 4,1 mg/l tot 1,2 mg/l. In perioden zonder bedrijfsstoringen bleek het magnetische defosfateringssysteem wel in staat de P-concentratie te reduceren tot waarden lager dan 0,5 mg/l.
- Het niet bereiken van de nagestreefde P-concentratie van 0,5 mg/l tijdens de duurtesten was het gevolg van regelmatige storingen in de randapparatuur. Het in bedrijf stellen en storingvrij maken van de demonstratie-installaties heeft meer tijd gekost dan voorzien. In de loop van het flankerend onderzoek was er in toenemende mate sprake van een gecontroleerde bedrijfsvoering.
- Magnetische defosfateringsinstallaties zijn bij toepassing van kalk gevoelig voor kalkaanslag. De toepassing van flocculatiebuizen bemoeilijkt het effectief bestrijden van kalkafzettingen. Kalkafzetting treedt op bij gestripte en ongestripte bedrijfsvoering.
- Het proces van magnetische defosfatering is gevoelig voor zwevende stof-gehaltenes boven ca. 30 mg/l. Wanneer een installatie wordt bedreven op de maximale ontwerpcapaciteit en het zwevende stof-gehalte wordt hoger dan ca. 30 mg/l dan neemt het P-verwijderingsrendement af en neemt het magnetietverlies sterk toe.
- Het principe van magnetietterugwinning functioneert conform de verwachtingen. Het magnetietverlies kan op een niveau worden gehouden lager dan 1% van de gedoseerde magnetiet.
- Bij toepassen van CO₂-strippen moet zoveel zwavelzuur worden gedoseerd dat het sulfaatgehalte in het effluent toeneemt van ca. 70 mg/l tot ca. 300 mg/l. Vanwege de toename van het sulfaatgehalte is CO₂-strippen niet aantrekkelijk.
- Bij magnetische defosfatering met kalk en ijzerchloride verbetert de effluentkwaliteit. De CZV-, BZV- en SS-gehaltenes namen significant af.
- De reststofproductie bij gestripte bedrijfsvoering en kalk als precipitatiemiddel bedraagt ca. 0,055 kg d.s./m³ water of 0,55 kg d.s./kg kalk. Bij dosering van FeCl₃ wordt ca. 4,8 kg d.s./kg Fe³⁺ gevormd.
- De afzet van het kalkrestprodukt naar de landbouw ten behoeve van onderhoudsbekalking biedt weinig perspectief. Economisch kan het produkt niet concurreren met schuimaarde terwijl het P-gehalte een belemmering vormt voor de afzet. Ook is er een sterke concurrentie van andere kalkrestprodukten.
- De afzet van het kalkrestprodukt als grondstof voor de fosfaatproductie lijkt op dit moment alleen perspectieven te bieden bij Hoechst B.V. Hiervoor is het nodig het produkt aan te bieden met een droge stof-gehalte van ca. 50%. Deze droge stof concentratie kan niet worden bereikt via mechanische ontwatering, maar naar verwachting wel via gecontroleerde droging op slibdroogbedden. Bij andere fosfaatproducenten kan het restprodukt niet worden afgezet vanwege de stankontwikkeling bij aanzuren (ontsluiting) of vanwege de onzekerheid in de continuïteit van deze industriële activiteit.

- De afzet van het kalkrestprodukt en het ijzerrestprodukt naar de baksteen-industrie lijkt enige perspectieven te bieden, zij het dat de restprodukten moeten voldoen aan samenstellingseisen en dat er een sterke concurrentie is van andere reststoffen. Dit afzetkanaal wordt nog verder uitgewerkt.
- In vergelijking met andere defosfateringstechnieken is magnetische defosfatering relatief duur. De jaarlijkse exploitatiekosten liggen in de orde van grootte van f 19,-- tot f 29,-- per i.e. per jaar. Deze kosten zijn in dezelfde orde van grootte als de kosten van defosfatering met de korrelreactor.

8 *REFERENTIES*

1. Magnetische defosfatering; verslag van semi-technisch onderzoek naar de toepassing van magnetische scheidingstechnieken bij defosfateren van effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties.
2. Ontwikkeling magnetische defosfatering voor toepassing op praktijkschaal. Publicatiereeks Milieutechnologie nr. 1990/1
Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1990.
3. Effect van de vervanging van wasmiddelen-P op de kosten van fosfaatverwijdering. Werkrapport, notanummer 90.029, Dienst Binnenwateren/RIZA, april 1990.
4. Evaluatie besturing praktijkinstallaties voor magnetische defosfatering te Huizen + Geldermalsen. Haskoning B.V.
Deelrapport A. bij project "Onderzoek demonstratie installaties magnetische defosfatering", 1992.
5. Onderzoek naar de kalkafzetting bij magnetische defosfatering. Haskoning B.V.
Deelrapport B. bij project "Onderzoek demonstratie installaties magnetische defosfatering", 1992.
6. Afzet restprodukten magnetische defosfatering. Haskoning B.V.
Deelrapport C. bij project "Onderzoek demonstratie installaties magnetische defosfatering", 1992.
7. Raming van kosten van toekomstige installaties voor magnetische defosfatering. Haskoning B.V.
Deelrapport D. bij project "Onderzoek demonstratie installaties magnetische defosfatering", 1992.

**PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" ¹**

- 1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
Juli 1986
- 2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"
Onderzoekplan
RIZA, STORA
Januari 1988
- 3 "Jaarverslag 1988"
RIZA, STORA
Maart 1989
- 4 "Slibontwatering; een voorstudie"
TU-Delft, TU-Eindhoven
RWZI 2000 89-01
Januari 1989
- 5 "Knelpunten bij de invoering van defosfatering"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-02
April 1989
- 6 "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van
een magneetsysteem"
Smit-Nymegen, TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-03
Oktober 1989
- 7 "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

¹ Te bestellen bij:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
tel. 030-321199

- 8 "Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-05
Oktober 1989
- 9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greenfieldproces"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989
- 10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Vertech-systeem"
TNO-Maatschappelijke Technologie, Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989
- 11 "Symposium "RWZI 2000" d.d. 5 oktober 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990
- 13 "AB-Systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990
- 14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990
- 15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990
- 16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks"
Adviebureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

- 17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 90-06
Juni 1990
- 18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990
- 19 "Jaarverslag 1990"
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991
- 20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991
- 21 "Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in
municipal waste water treatment plants"
A feasibility study
RU-Groningen
RWZI 2000 91-03
Juni 1991
- 22 "Jaarverslag 1991"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992
- 23 "Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele
slibgisting"
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-02
Maart 1992
- 24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water;
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STOWA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

- 25 "Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor"
LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-04
Augustus 1992
- 26 "Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland"
Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991
LU-Wageningen, Haskoning B.V.
RWZI 2000 92-05
Mei 1992
- 27 "Vergaande nutriëntenverwijdering op een zeer laagbelaste aktiefslibinstallatie"
Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden, Grontmij N.V.
RWZI 2000 92-06
Oktober 1992
- 28 "Ontwikkeling van een slib-op-drager systeem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater"
Fase II: Onderzoek naar de processtabiliteit en optimalisatie van het zuiveringsrendement.
TNO-IMW
RWZI 2000 92-07
Oktober 1992
- 29 "Behandeling van stedelijk afvalwater met het Multireactor-systeem"
Multireactor B.V.
RWZI 2000 92-08
November 1992
- 30 "Stikstofverwijdering uit interne stromen op rwzi's"
DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-09
December 1992
- 31 "Jaarverslag 1992"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 93-01
April 1993
- 32 "Onderzoek demonstratie-installaties magnetische defosfatering"
Envimag B.V.
RWZI 2000 93-02
April 1993