

Fosfaatverwijdering uit kalverdrijfmest op praktijkschaal

Inleiding

Kalverdrijfmest bevat naast organische verontreinigingen aanzienlijke hoeveelheden fosfaten, welke afkomstig zijn van de melkpoeder waarmee de kalveren gevoederd worden. Bij de biologische zuivering van de kalverdrijfmest, zoals deze momenteel wordt uitgevoerd in een aantal particuliere zuiveringsinstallaties, worden de organische verontreinigingen in belangrijke mate verwijderd. Fosfaten worden echter slechts voor een gering percentage verwijderd. De biologisch gezuiverde drijfmest bevat



IR. W. M. A. KOX
Hoofdafdeling Maatschappelijke
Technologie TNO,
Apeldoorn

nog fosfaatconcentraties, welke doorgaans het tienvoudige bedragen van de fosfaatconcentraties in onbehandeld huishoudelijk afvalwater. In gebieden, waar veel kalvermesterijen geconcentreerd zijn, zoals bijv. op de Veluwe, kan lozing van biologisch gezuiverde drijfmest op het oppervlaktewater aanleiding geven tot eutrofiëring, waardoor een ongewenste groei van met name algen ontstaat.

Voor de verwijdering van fosfaten uit huishoudelijk afvalwater zijn aluminium- en ijzorzouten en kalk als toeslagstoffen geschikt gebleken. De eerste twee worden op enkele plaatsen op rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland toegepast.

Voor de fosfaatverwijdering uit meer geconcentreerde afvalwaterstromen, zoals kalverdrijfmest, zijn aluminium- en ijzorzouten minder geschikt. Zij zijn duur en veroorzaken secundaire milieuverontreiniging als gevolg van het verhogen van de concentraties aan chloriden of sulfaten en het verlagen van de pH, waarvoor achteraf moet worden gecorrigeerd. Een laboratoriumonderzoek, dat bij de Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie TNO te Apeldoorn is uitgevoerd naar de fosfaatverwijdering uit biologisch gezuiverde drijfmest, heeft aangetoond dat het gebruik van kalk betere perspectieven biedt en vooral nog de enige reële mogelijkheid voor toepassing in de landbouwpraktijk lijkt [1]. Naar aanleiding van dit laboratoriumonderzoek werd het zinvol geacht om een fosfaatverwijderingsproces met kalk op grotere schaal te ontwikkelen. Teneinde de procesgegevens voor fosfaatverwijdering in praktijkinstallaties op korte termijn beschikbaar te krijgen, werd besloten de methode direct op praktijkschaal uit te testen. Deze beslissing werd onderbouwd

door de ervaringen van andere onderzoekers, zowel binnen als buiten TNO [2, 3]. Het hoofddoel van het hier beschreven onderzoek was derhalve primair na te gaan, in hoeverre de op laboratoriumschaal ontwikkelde fosfaatverwijderingsmethode geschikt was of geschikt gemaakt zou kunnen worden voor toepassing in de praktijk en daarnaast een globale afschatting te maken van de kosten van deze methode.

Keuze van uitvoeringsvormen

Er bestaan in principe een aantal varianten voor de praktische uitvoering van de biologische zuivering van de kalverdrijfmest in combinatie met fosfaatverwijdering met kalk. Keuzemogelijkheden bestaan onder andere met betrekking tot de wijze van uitvoering van het biologische zuiveringsproces en de plaats van de fosfaatverwijdering en dosering van kalk in de installatie. Bij het onderzoek is gekozen voor een discontinue uitvoering van de biologische zuivering. Deze keuze is o.a. gebaseerd op de resultaten van andere onderzoekers [3] en is mede in overeenstemming met de procesvoering van de eerste gemeenschappelijke vóórzuiveringsinstallatie voor kalverdrijfmest te Elspeet.

Discontinue zuivering heeft ten opzichte van continue zuivering naar verwachting het voordeel, dat gemakkelijker voorkomen kan worden dat slib met de gezuiverde drijfmest uit de installatie spoelt, daar de bezinking van het slib in de betrekkelijk eenvoudige installatie beter kan worden beheerst.

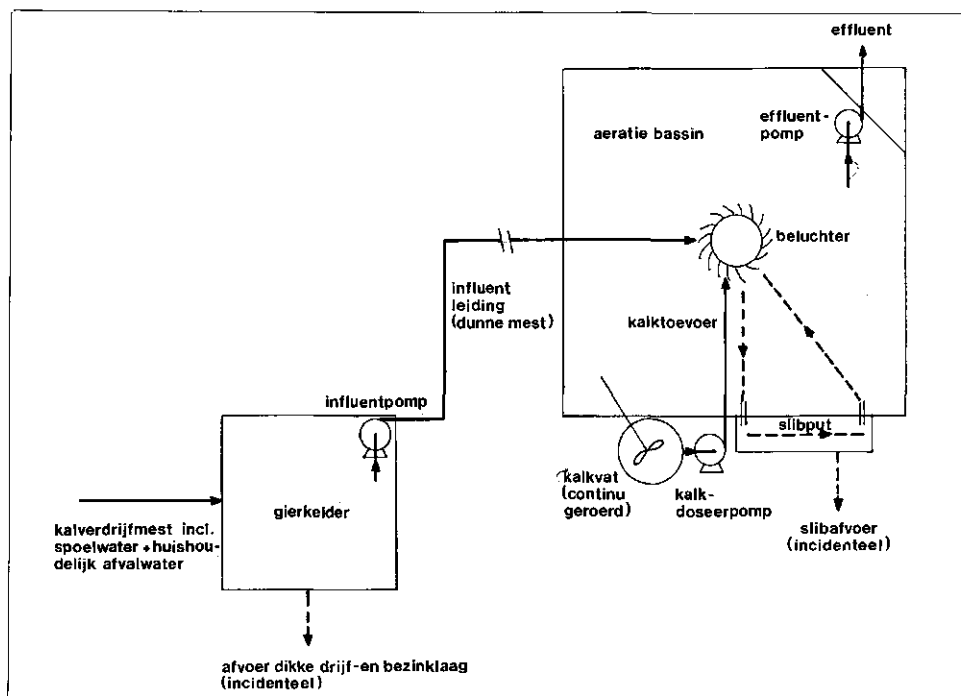
Met betrekking tot de biologische zuivering werd tevens vooraf besloten, dat de stikstofverwijdering door nitrificatie/denitrificatie wel beoordeeld maar niet geoptimaliseerd zou worden. De fosfaatverwijdering stond centraal in het onderzoek.

Ten aanzien van de plaats van de fosfaatverwijdering in de installatie werd, uit een aantal overwegingen, gekozen voor een uitvoering, simultaan met de biologische zuivering in het aeratiebassin. Deze overwegingen waren voornamelijk van praktische aard; met name zouden bij fosfaatverwijdering voor of na de biologische zuivering in het aeratiebassin uitgebreide aanvullende voorzieningen en maatregelen getroffen moeten worden, zowel constructief als proces-technisch. Onderzoek heeft uitgeezen, dat toevoeging van kalk het biologisch zuiveringsgebeuren niet verstoort, maar dit daarentegen zelfs verbetert [2, 3]. Dit werd bevestigd door eigen onderzoek op laboratoriumschaal onder gesimuleerde procescondities. De dosering van de kalk vond rechtstreeks plaats aan het aeratiebassin.

Installatie en procesvoering

De uitvoering van het onderzoek heeft plaatsgevonden in de installatie van de heer Van Vilsteren te Olst. Deze installatie werd gebruikt voor de zuivering van de drijfmest, afkomstig van oorspronkelijk 245 kalveren. Later is het bedrijf uitgebreid tot 310 kalveren. De werkzaamheden te Olst zijn gestart in september 1976; het onderzoek is afgesloten in april 1978.

Afb. 1 - De proefinstallatie met kalkdosering (schematisch).



Oorspronkelijk werd in deze installatie de drijfmest continu gezuiverd. Ten behoeve van het onderzoek werd de installatie omgebouwd voor discontinue zuivering en als zodanig opgestart. Tijdens de opstartfase kwamen een aantal, vooral technische problemen naar voren, aan de hand waarvan de installatie op een aantal punten werd gewijzigd. De uiteindelijke installatie, die in het onderzoek is gebruikt, is schematisch weergegeven in afb. 1.

De kalverdrijfmest, welke in dit bedrijf verdund werd met relatief veel spoelwater uit de stallen en tevens met een geringe hoeveelheid huishoudelijk afvalwater, werd verzameld in een gierkelder. Tevens werd in de gierkelder het afvalwater opgevangen, dat incidenteel vrijkwam bij het reinigen van de roosters waarop de kalveren staan en de neerslag die op en bij deze spoelplaats viel. In de gierkelder accumuleerden dikke drijf- en bezinklagen.

Evenals bij de oorspronkelijke, continue zuivering werd tijdens het onderzoek slechts de dunne tussenlaag gezuiverd en werden de dikke drijf- en bezinklagen incidenteel naar het land afgevoerd. Het tweeledige verdunningseffect: veel spoelwater en het vooraf afscheiden van de dikke, geconcentreerde lagen, had tot gevolg dat de concentraties aan vervuilende componenten in de te zuiveren drijfmest (influent) aanzienlijk lager waren dan doorgaans het geval is. Dit is te zien in tabel I, waarin gegeven zijn

TABEL I - Concentraties aan verontreinigingen in het influent van het onderhavige onderzoek en in 'normale' kalverdrijfmest.

component	concentratie verontreiniging in kalverdrijfmest (mg/l)	
	influent tijdens onderzoek	'normaal'
COD	4.250	13.000
N (Kjeldahl)	1.100	3.000
P	200	500
Droge stof	6.000	13.000
As	3.150	6.000

de gemiddelde, tijdens het onderzoek gemeten influentconcentraties naast de corresponderende waarden voor 'normale' drijfmest [3], waaruit drijf- en bezinklagen niet afgescheiden zijn. Uit deze gegevens mag echter niet afgeleid worden, dat uit 'normale' kalverdrijfmest $2\frac{1}{2}$ x zoveel fosfaten met kalk geprecipiteerd dienen te worden. In de 'normale' drijfmest is namelijk een gedeelte van de fosfaten reeds gebonden in de gesuspenderde stof, terwijl in het onderhavige influent de fosfaten zich vrijwel volledig in opgeloste vorm bevinden. Het influent werd met behulp van een pomp van de gierkelder naar het aeratiebassin gepompt (inhoud ca. 100 m³), waarin met behulp van de door een opper-



Afb. 2 - Proefinstallatie te Olst met aeratiebassin en kalkdoseringinstallatie.

vlakteluchter ingeslagen lucht het influent biologisch geoxydeerd werd. De kalk werd als suspensie — in verband met de gewenste menging — tijdens de beluchtingsperiode toegevoerd. De kalksuspensie werd aangevoerd vanuit een continu geroerde tank en met behulp van een doseerpomp van het type slangenpomp getransporteerd naar het centrum van het bassin. Tijdens de bezinkingsperiode vond bezinking plaats van het biologisch gevormde slib en de geprecipiteerde calciumfosfaatverbindingen. Aan het einde van de bezinkingsperiode werd de gezuiverde drijfmest (effluent) met behulp van een pomp naar het oppervlaktewater afgevoerd. Het organische en anorganische slib werd onder invloed van de door de beluchter veroorzaakte stroming via twee leidingen door een naast het bassin gelegen slibput gevoerd. Hierin bezonk een deel van het slib. De slibput werd incidenteel leeggezogen. Het slib werd naar het land afgevoerd.

De zuivering werd uitgevoerd in cycli van 24 uur. Een dergelijke cyclus was onder-

verdeeld in een beluchtingsperiode van 20 uur en een bezinkingsperiode van 4 uur. Ongeveer 1 uur nadat de beluchtingsperiode was begonnen, werd via de pomp influent aan het aeratiebassin gevoerd. De tijd, dat influent gevoerd werd, was gelimiteerd om hydraulische overbelasting van het bassin te voorkomen. Na 20 uur sloeg de beluchter af en begon de bezinkingsperiode. Ca. 1 uur vóór het einde van de bezinkingsperiode werd effluent afgeleten via de pomp in het bassin. De kalkdosering geschiedde in eerste instantie simultaan en volumeproportioneel met het influent. Toen bleek dat de pH-meting in het aeratiebassin — tegen de verwachting in — probleemloos verliep en dat pH en fosfaatverwijdering — naar verwachting — nauw aan elkaar gerelateerd waren, werd besloten de kalkdosering op de pH in het aeratiebassin te sturen. Daardoor werd de mogelijkheid geopend om influentvoeding en kalkdosering van elkaar los te koppelen en de kalkdosering in een later stadium van de beluchtingsperiode, wanneer de biologische activiteit is afgenomen,

TABEL II - Schema volumemetingen en bemonsteringen.

	Volumemeting	Bemonstering
influent, effluent	meting, somming en registratie (automatisch) van de tijd, dat de desbetreffende pompen (met constant volumedebiet) zijn ingeschakeld	automatische monsternamen (dagelijks) op een signaal van de programmawals tijdens influentvoeding resp. effluentafvoer, verzameld tot een gemiddeld weekmonster in een koelkast
neerslag	wekelijks met behulp van een regenmeter	geen
kalksuspensie afgevoerd slib	niveaumeting kalkvat, wekelijks tijdens slibafvoer	geen (kalkgehalte 10 %) tijdens slibafvoer
aeratiebassin (gemengde vloeistof)	volume is constant (ca. 100 m ³)	wekelijks
slibput	volume is constant (ca. 5,6 m ³)	incidenteel

te doen plaatsvinden. Op deze manier werd beoogd om zowel de toegevoerde kalk optimaal voor de fosfaatverwijdering te benutten als de regeling van de fosfaatverwijdering te verbeteren. De kalkdosering werd gestopt via een signaal van een pH-unit, wanneer de in het bassin gemeten pH een vooraf op de pH-unit ingestelde waarde overschreed.

De hier beschreven procesvoering was volledig geautomatiseerd. De diverse componenten (pompen, beluchter) werden aan- en afgeschakeld met behulp van een programmawals en niveau(vlotter)-schakelaars in gierkelder en aeratiebassin. Afb. 2 toont een overzichtsfoto van de proefinstallatie te Olst met aeratiebassin en kalkdoseerinstallatie.

Onderzoekactiviteiten

Het onderzoek was onderverdeeld in twee perioden:

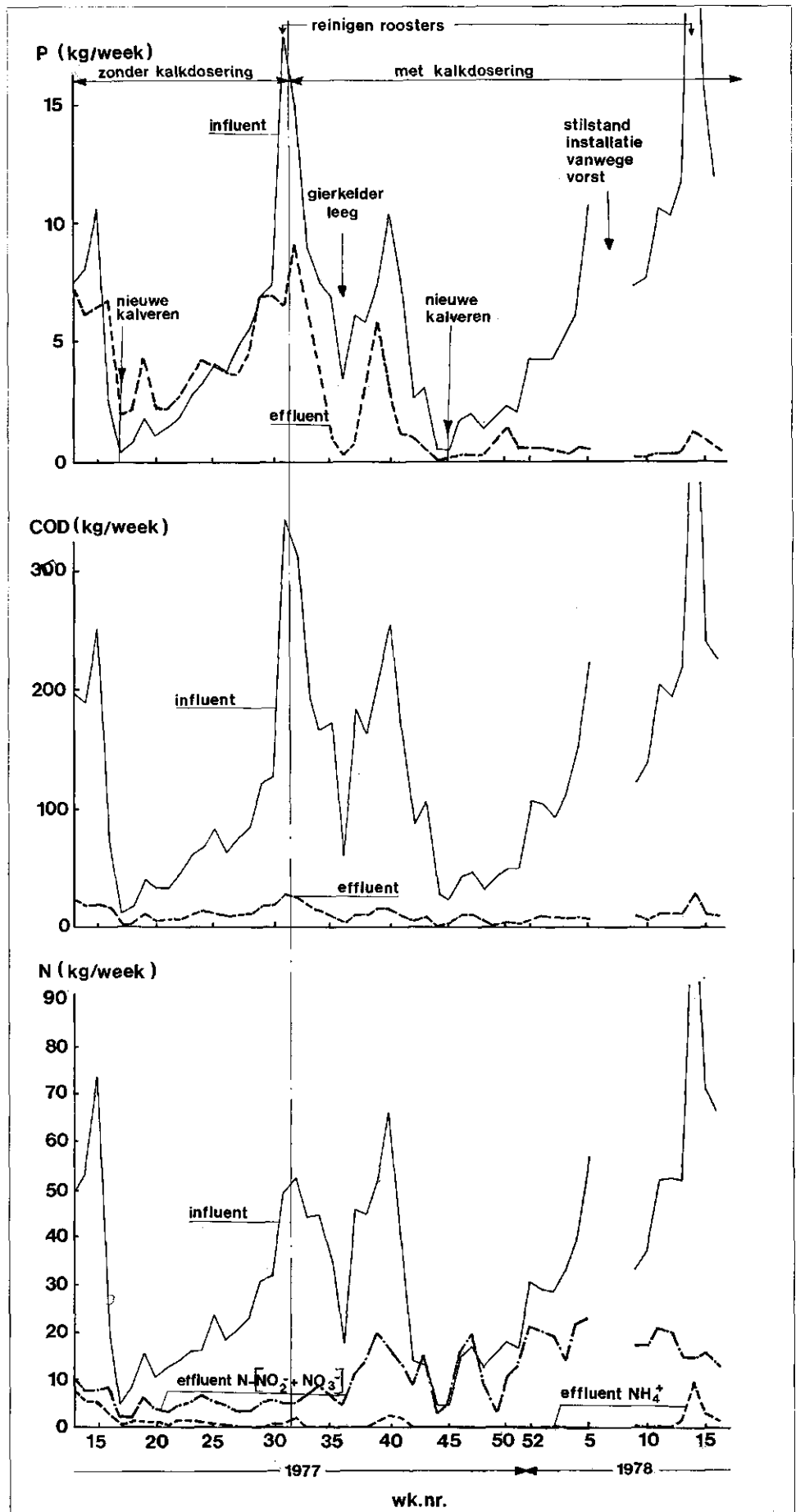
a. Een proevenperiode zonder kalkdosering. Deze periode had primair tot doel het verkrijgen van resultaten, die als referentiewaarden konden dienen voor de resultaten, die in de periode met kalkdosering werden bereikt. Daarnaast konden uit de resultaten van de proevenperiode zonder kalkdosering de veranderingen in het biologisch zuiveringsgebeuren worden beoordeeld als gevolg van de overgang van continue naar discontinue zuivering. De periode zonder kalkdosering heeft 19 weken geduurd.

b. Een proevenperiode met kalkdosering. Door vergelijking van de resultaten, die tijdens deze periode bereikt werden met de resultaten van de proevenperiode zonder kalkdosering, kon uiteindelijk de invloed van de kalkdosering op de fosfaatverwijdering worden vastgesteld. De periode met kalkdosering heeft 34 weken geduurd.

Behalve de fosfaatverwijdering werd ook de verwijdering van zuurstofbindende bestanddelen (COD, N) in beschouwing genomen. Om de verwijdering van deze componenten vast te kunnen stellen, was het noodzakelijk de hoeveelheden van en de concentraties aanwezig in de drijfmest vóór en na de zuivering te bepalen.

Om daarnaast volledige massabalansen over deze componenten op te kunnen stellen, waren in principe gegevens noodzakelijk omtrent:

a. Volumina van de processtromen, die de installatie in- en uitgaan (influent, effluent, neerslag, kalksuspensie en slib) en volumina van de ruimten, waarin accumulatie van de



Afb. 3 - Wekelijkse hoeveelheden P, COD en N in influent en effluent.

te beschouwen componenten optreedt (aeratiebassin, slibput).

b. Concentraties van de betreffende componenten in deze processtromen en ruimten.

Deze gegevens werden verzameld door het wekelijks uitvoeren van volumemetingen en bemonsteringen zoals weergegeven in tabel II en door vervolgens de genomen monsters te analyseren op de relevante verontreinigingen. De analyses werden voor het merendeel uitgevoerd door de Rijks Agrarische Afvalwaterdienst te Arnhem volgens de desbetreffende NEN-normen. Uit de analysesresultaten konden, tezamen met de gegevens betreffende de corresponderende volumina, balansen over minimaal een week opgesteld worden.

Het zuiveringsgebeuren wordt, zowel wat betreft biologische zuivering als fosfaatverwijdering, beïnvloed door de procescondities in het aeratiebassin.

Om deze invloeden te onderkennen en resultaten te kunnen verklaren, werden in het aeratiebassin continu gemeten en geregistreerd:

- pH,
- (opgeloste) zuurstofconcentratie,
- temperatuur.

Onderzoekresultaten

De onderzoekresultaten van de perioden zonder en met kalkdosering zullen, ten behoeve van de vergelijkbaarheid, naast elkaar behandeld worden. Hierbij zal achtereenvolgens aandacht besteed worden aan de aspecten:

- verloop van de wekelijks met het influent toegevoerde en met het effluent afgevoerde hoeveelheden verontreinigingen,
- totaalbalansen over beide onderzoeksperioden,
- fosfaatverwijdering en kalkverbruik,
- biologische zuivering,
- slibproductie en slibeigenschappen,
- procescondities.

Verontreinigingen in influent en effluent

De verwijdering van P, COD en N kan worden beoordeeld aan de hand van de resp. hoeveelheden, welke met het influent worden toegevoerd en met het effluent worden afgevoerd. Het verloop van deze wekelijkse hoeveelheden voor de volledige onderzoeksperiode (zonder en met kalkdosering) is weergegeven in afb. 3.

Uit het verloop van de grafieken is duidelijk te onderkennen het toenemen van de hoeveelheden aan verontreinigingen in het influent naarmate de kalveren ouder worden, het maximum in de vuilbelasting als gevolg van het reinigen van de roosters

en het minimum als gevolg van het leeghalen van de gierkelder.

Totaalbalansen

Zoals vermeld, dienen voor het opstellen van een massabalans over een verontreinigende component, behalve de hoeveelheden in influent en effluent, tevens bekend te zijn de hoeveelheden in het afgevoerd slib en de accumulatie van de componenten in aeratiebassin en slibput. Voor biologisch (gedeeltelijk) afbreekbare componenten (COD, N) geldt, dat tevens een deel van de via het influent toegevoerde hoeveelheid naar de omgevingslucht kan verdwijnen (door middel van dissimilatie resp. denitrificatie). Deze term, welke in het kader van het onderhavige onderzoek niet gemeten is, vormt de sluitpost van de desbetreffende balans. Bij biologisch niet-afbreekbare componenten als P en as zou in principe de discrepantie in de balans een maat voor de nauwkeurigheid van volumemetingen, bemonsteringen en analyses kunnen zijn. Dit was echter niet het geval voor de periode met kalkdosering vanwege een sliblaag op de bodem van het aeratiebassin, welke zich tijdens de beluchtingsperiode onvolledig opmengde met de rest van de bassin-inhoud. De monsternamen (aan het oppervlak) was daarom niet representatief en de volgens de analysesresultaten optredende discrepanties werden volledig tot de accumulatie-termen voor het aeratiebassin gerekend.

De balansen voor de perioden met en zonder kalk zijn weergegeven in tabel III. Behalve de massabalansen voor P, as, COD en N worden hierin tevens de totale volumebalansen gepresenteerd. Voor de asbalans over de periode met kalkdosering is aangenomen, dat van de toegevoerde kalk slechts de calcium hiertoe bijdraagt. Met name de volumebalans en de massa-

balansen over P en as voor de periode zonder kalkdosering, welke geringe discrepanties vertonen, duiden op nauwkeurige volumemetingen, bemonsteringen en analyses.

Fosfaatverwijdering en kalkgebruik

Uit de P-balansen in tabel III blijkt reeds, dat als gevolg van de kalkdosering de P-verwijdering sterk is toegenomen van vrijwel nihil tot gemiddeld meer dan 80%. De pH in het aeratiebassin (tijdens effluentafvoer) blijkt een grote invloed te hebben op de fosfaatverwijdering. Dit is te zien in afb. 4, waarin uitgezet zijn enerzijds de relatieve P-verwijdering en anderzijds de P-concentratie in het effluent als functie van deze pH, en waaruit blijkt dat bij olopende pH de fosfaatverwijdering toeneemt c.q. de P-concentratie in het effluent afneemt. Het zal duidelijk zijn, dat de toegevoegde hoeveelheid kalk via de pH van invloed is op de P-verwijdering. Tijdens het onderzoek werd de pH via de toegevoegde hoeveelheid kalk gevarieerd. Behalve voor de P-binding wordt de toegevoerde hoeveelheid kalk echter ook verbruikt voor de pH-verhoging van de bassinhoud en binding, resp. neutralisatie van het biologisch gevormde CO₂, nitriet en nitraat. Indirect spelen hierdoor bij het kalkverbruik een rol: de temperatuur en de veranderende influenthoeveelheid en -samenstelling tengevolge van enerzijds het ouder worden van de kalveren en anderzijds de toename van het aantal kalverplaatsen. Door deze wisselende omstandigheden kan niet voor de hele periode met kalkdosering een eenduidig verband tussen P-verwijdering en kalkverbruik afgeleid worden.

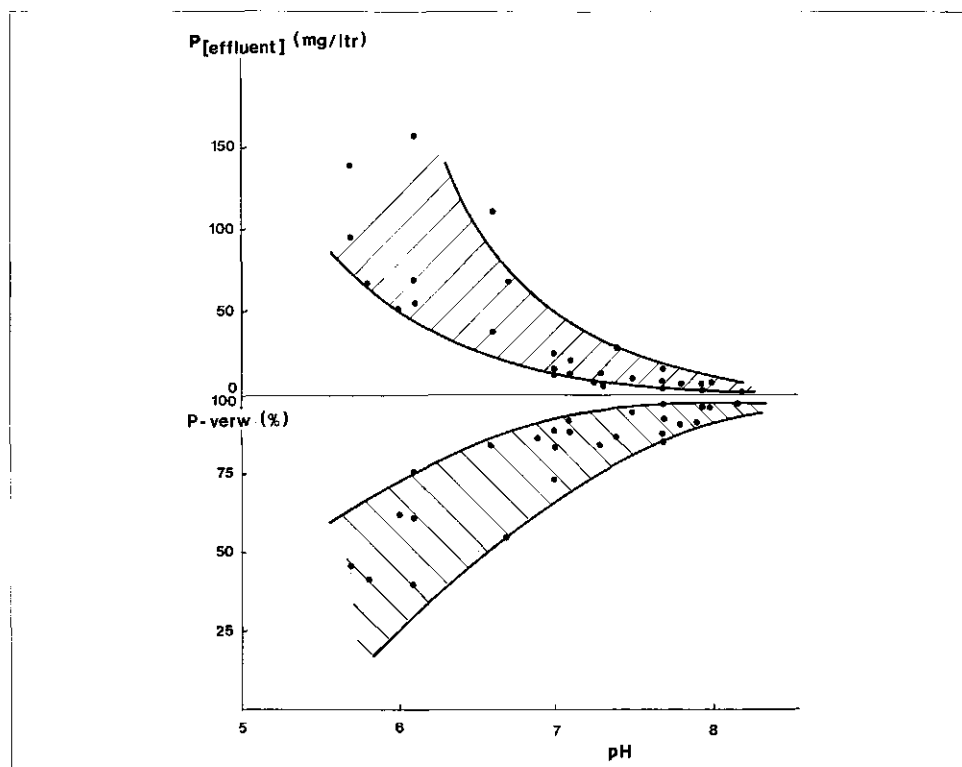
Voor een tweetal perioden met constante pH is dit echter wel mogelijk, wat leidt tot de resultaten, zoals die gepresenteerd worden

TABEL III - Balansen over de perioden zonder en met kalkdosering.

	Zonder kalkdosering (19 weken)					Met kalkdosering (34 weken)				
	Volume (m ³)	P (kg)	as (kg)	COD (kg)	N (kg)	Volume (m ³)	P (kg)	as (kg)	COD (kg)	N (kg)
influent	518,1	91,2	1586	1932	499,7	1117,2	230,4	3560	5023	1280,7
neerslag	22,5	—	—	—	—	59,9	—	—	—	—
kalksuspensie	—	—	—	—	—	17,4	—	1000	—	—
totaal in	540,6	91,2	1586	1932	499,7	1194,5	230,4	4560	5023	1280,7
effluent	544,5	84,5	1610	266	150,7	1194,7	42,9	3394	354	476,9
slibafvoer *	—	—	—	—	—	14,4	25,3	170	592	49,3
Δ-aeratiebassin **	—	0,5	14	13	- 31,6	—	149,4	907	1490	127,0
Δ-slibput **	—	3,2	25	150	12,7	—	12,8	89	41	3,4
dissimilatie/denitrificatie	—	—	—	1503	367,9	—	—	—	2546	624,1
totaal uit	544,5	88,2	1649	1932	499,7	1209,1	230,4	4560	5023	1280,7

* slibafvoer: in de periode zonder kalkdosering is geen slib afgevoerd; in de periode met kalkdosering 3 keer.

** Δ = toename (accumulatie).



Afb. 4 - Relatieve P-verwijdering en P-concentratie in het effluent als functie van de pH.

TABEL IV - Kalkverbruik bij verschillende pH, P-effluent en P-verwijdering.

pH	P-effluent (mg/)	P-verwijdering (%)	kg kalk
			kg P (verwijderd)
± 7,2	7—11	95	10
± 8,1	1—5	98	13

in tabel IV. Uit deze tabel volgt een kalkverbruik onder representatieve omstandigheden van globaal 10 à 13 kg kalk per kg verwijderde P.

Onder aanname van de vorming van calciumhydroxyapatiet ($\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$) leiden de in tabel IV gepresenteerde cijfers betreffende het kalkverbruik tot de conclusie dat slechts 30-40 % van de toegevoegde kalk benut wordt voor de binding van P. De rest van de kalk wordt voor een groot deel verbruikt voor neutralisatie van het bij de nitrificatie gevormd nitriet en nitraat, welke componenten onvolledig omgezet worden bij de denitrificatie.

Bij een optimaal denitrificatieproces zal het kalkverbruik aanzienlijk lager zijn, theoretisch ongeveer de helft van de hier gepresenteerde waarden onder dezelfde omstandigheden.

Biologische zuivering

Voor de beoordeling van de invloed van de kalkdosering op de biologische zuivering worden de concentraties van COD en N-verbindingen in influent en effluent in beschouwing genomen. De desbetreffende resultaten zijn gegeven in tabel V.

TABEL V - COD en N-verbindingen in influent en effluent.

		zonder kalkdosering	met kalkdosering
COD	influent	3750	4500
	effluent	500	300
N	influent (Kj)	950	1150
	effluent (NH_4^+)	70	20
	effluent (NO_2^-)	200	70
	effluent (NO_3^-)	10	310

Uit de tabel kan geconcludeerd worden, dat de kalkdosering een positieve invloed heeft op de biologische oxydatie. Voor wat betreft het toegenomen gehalte aan geoxydeerde N ($\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$) in het effluent kan de gemiddeld lagere temperatuur (9 °C ten opzichte van 13 °C) één van de mogelijke oorzaken zijn. Bovendien dient nogmaals benadrukt te worden, dat de procesvoering nooit voor denitrificatie geoptimaliseerd is.

Slibproductie en slibeigenschappen

Voor een vergelijking tussen de slibproductie met en zonder kalkdosering zijn onvoldoende eenduidige gegevens voorhanden. Enerzijds staat niet eenduidig vast, dat zich in de periode zonder kalkdosering geen sliblaag op de bodem van het bassin heeft bevonden. Anderzijds heeft ook het verschil in de gemiddelde temperatuur invloed op de slibproductie. Uit de resultaten kan alleen afgeleid worden, dat de slibproductie bij kalkdosering maximaal ca. 0,55 kg droge

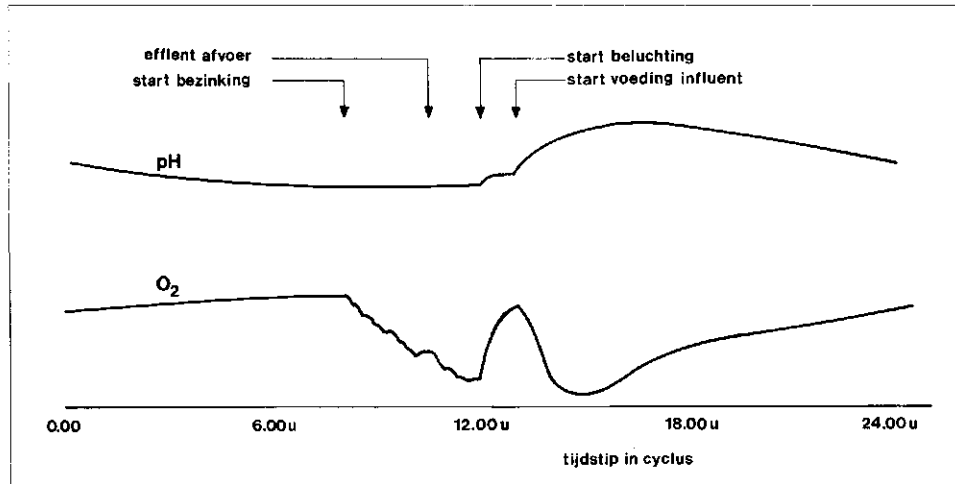
stof (suspended solids) per kg verwijderde COD heeft bedragen. Van de slibeigenschappen zijn vooral die, welke betrekking hebben op bezinking en ontwatering, van belang. De bezinking is beoordeeld aan de hand van de slibvolume-index (SVI) van de gemengde vloeistof uit het aeratiebassin, bepaald na 30 minuten bezinken in een Imhoff-glas. Bedroeg de SVI in de periode zonder kalkdosering gemiddeld 110 cm^3/g , in de periode met kalkdosering daalde de SVI tot ca. 50 cm^3/g , wat duidt op een betere bezinking van het met calciumfosfaatverbindingen verrijkt slib ten opzichte van zuiver biologisch slib. Voor wat betreft de ontwateringskenmerken zijn eenmalig bepaald de Capillary Suction Time (CST) en de afzuigtijd van de gemengde vloeistof, ingedikt tot een standard zwevende stofgehalte van 15 g/l. Dit resulteerde in waarden van 36 (CST) resp. 150 sec (afzuigtijd), welke aanzienlijk lager zijn dan de waarden, welke doorgaans gemeten worden voor niet-geconditioneerd slib van een oxydatiesloot of een oxydatiedenitrificatiezuiveringsinrichting [5] en dus vooralsnog duiden op een betere ontwatering, al dient deze conclusie, gezien de eenmalige analyse, met de nodige voorzichtigheid beschouwd te worden.

Verloop van pH en O₂-concentraties per cyclus

Een karakteristiek verloop van de pH en de concentratie aan opgeloste zuurstof in het aeratiebassin voor de periode zonder kalkdosering is gegeven in afb. 5, waaruit volgt, dat direct na het starten van de beluchter de zuurstofconcentratie oploopt. Als de influentvoeding gestart wordt, overheerste aanvankelijk de zuurstofonttrekkende biologische oxydatie, waardoor de zuurstofconcentratie daalt. Wanneer de biologische activiteit afneemt, gaat de zuurstofinbreng weer domineren met als gevolg dat de zuurstofconcentratie weer stijgt. In de bezinkfase daalt de zuurstofconcentratie als gevolg van de resterende biologische activiteit. De pH loopt na de influentvoeding — met een relatief hoge pH — op naar een maximum, waarna de biologische oxydatie gaat overheersen en de pH daalt als gevolg van de vorming van CO₂, nitriet en nitraat. De kalkdosering heeft, zoals verwacht, alleen invloed op het verloop van de pH-curve. Met name leidt de kalk tot een (extra) pH-verhoging ten tijde van de dosering.

Kosten

Een globale kostenberekening is opgezet voor de wijze van fosfaatverwijdering, zoals deze is uitgevoerd tijdens het onder-



Afb. 5 - Schematisch verloop pH en O_2 -concentratie in het aeratiebassin gedurende een zuiveringscyclus.

havige onderzoek. De procesvoering wordt hierbij gekenmerkt door enerzijds zuivering van relatief dunne drijfmest en anderzijds onvolledige denitrificatie. Voor de berekening zijn in rekening gebracht de kosten voor kalk (incl. transport) en de rente en afschrijving van de investeringen voor de kalkdoserinstallatie, bestaande uit een kunststof vat, een roerwerk met motor, een doseerpomp, een pH-unit (elektrode, transmitter en indicator) en de benodigde leidingen. De energiekosten (elektriciteit) zijn verwaarloosbaar. Het slib wordt verondersteld kosteloos in de landbouw te kunnen worden afgezet. Verder worden geen arbeidskosten in rekening gebracht. Voor het eerder gepresenteerde kalkverbruik van 10 à 13 kg per kg verwijderde P bedragen de onder deze aannamen berekende kosten f 2,50 tot f 3,— per afgeleverd kalf. Bij optimale denitrificatie zullen deze kosten waarschijnlijk verlaagd kunnen worden tot ca. f 2,— à f 2,50 per afgeleverd kalf.

Voor een vergelijkbare fosfaatverwijdering op grote schaal, bijv. bij centrale vóórzuivering, waar in principe de gehele drijfmest gezuiverd wordt, zijn kostenverhogende factoren aan te wijzen, met name dat enigszins meer P (naar schatting ca. 25 %) per afgeleverd kalf verwijderd dient te worden en dat tevens arbeidskosten in rekening gebracht dienen te worden. Ook kostenverlagende factoren zijn echter te onderkennen, met name wat betreft de 'economy-of-scale', zoals de kalkprijs (bulktransport à ca. f 125,—/ton in plaats van verpakking in zakken à ca. f 140,—/ton) en de post rente en afschrijving van de investeringen. Deze laatste factor is van doorslaggevende aard. Globaal wordt geschat, dat bij centrale voorzuivering, de kosten tot 50 à 80 % van de hiervoor gepresenteerde kosten voor particuliere zuivering verlaagd kunnen worden. De kalk vormt bij centrale voorzuivering de belang-

rijkste kostenpost. De voornoemde overwegingen resulteren in kosten voor fosfaatverwijdering bij centrale voorzuivering, welke in hoofdzaak bepaald worden door enerzijds de gewenste P-verwijdering (kalkverbruik) en anderzijds de mate van denitrificatie, van f 1,— à f 2,50 per afgeleverd kalf. Uitgedrukt per volume-eenheid — een afgeleverd kalf produceert ca. 1,75 m³ drijfmest — correspondeert dit met ca. f 0,50 à f 1,50 per m³ drijfmest.

Bedrijfszekerheid en algemene toepasbaarheid van het proces

De kalkdoserinstallatie, zoals deze is beproefd, kan probleemloos functioneren, wanneer een aantal adequate maatregelen getroffen worden. Deze maatregelen hebben met name betrekking op het voorkomen van storingen door vorst en verstoppingen door kalkafzetting. Daarnaast kan ook het verpompen van de ongezuiverde drijfmest van gierkelder naar aeratiebassin, afhankelijk van het toegepaste pomptype, een mogelijke bron van storingen zijn. De fosfaatverwijdering, zoals deze hier beschreven is, dat wil zeggen middels een pH-gestuurde kalkdosering, vraagt begeleiding van geïnstrueerde personen. Voor kleine, particuliere zuiveringsinstallaties lijkt een eenvoudiger kalkdoseermethode, bijv. via een voorschrift voor de dagelijkse toe te voeren hoeveelheid kalk in afhankelijkheid van het aantal en de leeftijd van de kalveren, te prefereren. Een dergelijk voorschrift kan worden opgesteld mede aan de hand van de hier bereikte resultaten. De geautomatiseerde en relatief geavanceerde kalkdosering, zoals die in het onderzoek is toegepast, lijkt vooral geschikt voor centrale vóórzuiveringsinstallaties en mogelijk in de industrie.

Conclusies

De fosfaatverwijdering uit kalverdrijfmest

met kalk, gelijktijdig met de biologische zuivering, is op praktijkschaal uitgetest. De procesvoering werd gekenmerkt door de zuivering van een relatief verdund influent en onvolledige denitrificatie. Onder deze specifieke procescondities zijn de belangrijkste conclusies:

- De fosfaatverwijdering is voornamelijk afhankelijk van de pH in het aeratiebassin: bij toenemende pH neemt de fosfaatverwijdering toe.
- Een verregaande fosfaatverwijdering is praktisch mogelijk: onder representatieve omstandigheden zullen de P-concentraties in het effluent bij pH = 7; 5-15 mg/l en bij pH = 8; 1-5 mg/l bedragen, corresponderend met P-verwijderingen, toenemend van 90 tot 98 %.

- Het corresponderende kalkverbruik bedraagt 10 - 13 kg kalk per kg verwijderde P. Naar schatting zal het kalkverbruik ca. 50 % lager kunnen worden bij optimale denitrificatie.

- De invloed van de kalkdosering op de biologische zuivering is positief. Met name de oxydatie (COD-verwijdering, nitrificatie) verloopt met een hoger rendement dan zonder kalkdosering.

- De slibproductie bij kalkdosering zal waarschijnlijk minder dan ca. 0,55 kg droge stof (suspended solids) per kg verwijderde COD bedragen. De bezinkings- en ontwateringseigenschappen van het met calciumfosfaatverbindingen verrijkte slib lijken vooralnog beter dan die van zuiver biologisch slib.

- De kosten voor fosfaatverwijdering zullen, afhankelijk van met name de mate van denitrificatie, voor particuliere zuivering van de met het onderzoek vergelijkbare dunne mest ca. f 2,— à f 3,— per afgeleverd kalf bedragen, voor centrale vóórzuivering (van de gehele drijfmest) ca. f 1,— à f 2,50 per afgeleverd kalf, ofwel f 0,50 à f 1,50 per m³ mest.

- De — vooralnog — optimale uitvoeringsvorm voor de kalkdosering lijkt rechtstreekse dosering van de kalk aan het aeratiebassin, gestuurd op de daarin heersende pH. Via adequate maatregelen zal een kalkdoserinstallatie, vergelijkbaar met die, welke tijdens het onderzoek is gebruikt, behalve bij strenge vorst, voldoende bedrijfszeker kunnen functioneren.

Verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd door de Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie TNO (MT-TNO) te Apeldoorn;

• *vervolg op pagina 387*