

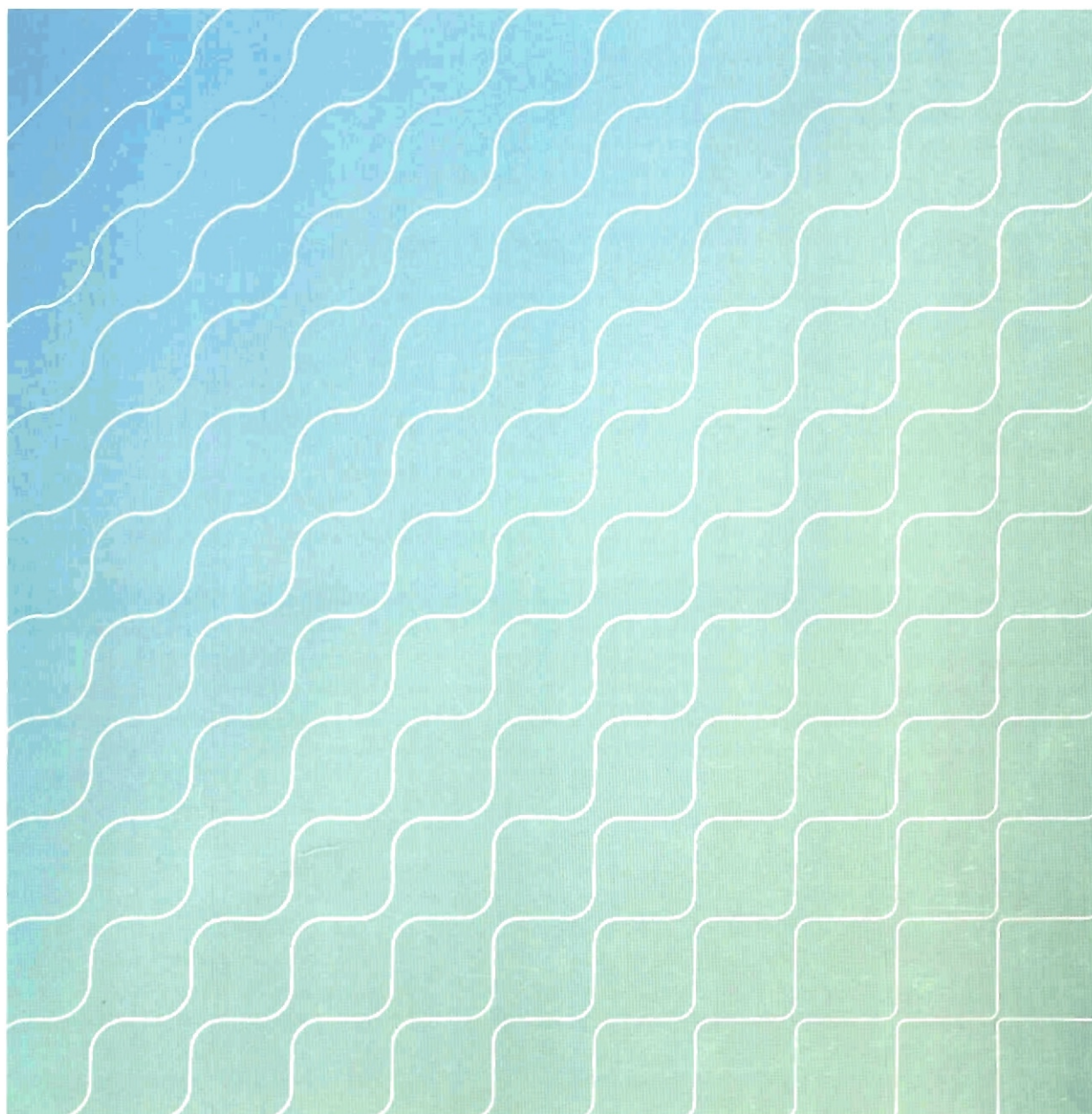
N31085.90-06

ig e  
rioolwater-  
zuiveringsinrichtingen



R90-06

## VERKENNING BIO-DENITRO / BIO-DENIPHO



# **DBW/RIZA**

rijkswaterstaat  
dienst binnenwateren/riza

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411



stichting toegepast onderzoek  
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-512710

NW 31085, go-06

## generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70467



**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

## **VERKENNING BIO-DENITRO / BIO-DENIPHO**

auteur(s):

Witteveen & Bos

ir. C.P. Petri

ir. P. de Jong

**RWZI 2000 90-06**

**17 SEP. 1997**

Het onderzoek "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000" is een samenwerkingsverband van de STORA en Rijkswaterstaat (DBW/RIZA).

Urn 529579

|  | Blz. |
|--|------|
| INHOUDSOPGAVE  | 1    |
| VOORWOORD  | 2    |
| SAMENVATTING   | 3    |
| 1 INLEIDING  | 4    |
| 2 ONTWIKKELINGEN N- EN P-VERWIJDERING IN DENEMARKEN      | 5    |
| 2.1 Wetgeving  | 5    |
| 2.2 Ontwikkeling Bio-Denitro-/Bio-Denipho processen      | 5    |
| 2.3 Situatie eind 1989                                   | 5    |
| 3 BESCHRIJVING VAN HET BIO-DENITRO EN BIO-DENIPHO PROCES | 6    |
| 3.1 Bio-Denitro proces                                   | 6    |
| 3.1.1 systeembeschrijving                                | 6    |
| 3.1.2 procesregeling Bio-Denitro                         | 8    |
| 3.2 Bio-Denipho  | 8    |
| 3.2.1 systeembeschrijving                                | 8    |
| 3.2.2 procesregeling Bio-Denipho                         | 10   |
| 3.2.3 slibbehandeling                                    | 10   |
| 4 PROCESRESULTATEN IN DENEMARKEN                         | 11   |
| 4.1 Landelijk overzicht                                  | 11   |
| 4.2 Procesgegevens van bezochte rwzi's                   | 12   |
| 4.2.1 Frederikssund                                      | 12   |
| 4.2.2 Odense NO  | 13   |
| 4.2.3 Ejby Mølle (Odense)                                | 14   |
| 4.2.4 Åalborg West                                       | 15   |
| 5 EVALUATIE  | 16   |
| 5.1 Bio-Denitro  | 16   |
| 5.2 Bio-Denipho  | 16   |
| 5.3 Vergelijking met andere technieken                   | 17   |
| 5.4 Toepassing Bio-Denipho in Nederlandse situatie       | 18   |
| 6 CONCLUSIES   | 20   |
| 7 LITERATUUR   | 21   |
| Bijlage 1: programma werkbezoek Denemarken december 1989 | 23   |

## VOORWOORD

Dit rapport geeft een inzicht in de praktijkervaring van de processen Bio-Denitro en Bio-Denipho in Denemarken en de mogelijke inpasbaarheid onder Nederlandse omstandigheden. Kennis hiervan is van belang in verband met de vergaande N- en P-verwijdering die in de komende jaren op de Nederlandse rwzi's is te verwachten.

Momenteel wordt door het Z.S. Veluwe op de rwzi Ede een semi-technisch onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van het Bio-Denipho proces uitgevoerd. Aan dit onderzoek is een participatiebijdrage toegerekend in het kader van het PNs-onderzoekprogramma van de STORA. De resultaten zullen najaar 1990 beschikbaar komen.

De studie is uitgevoerd door Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs en begeleid door ir. A.H. Dirkzwager, ir. E. van 't Oever en ir. P.C. Stamperius.

Lelystad, juni 1990

Voor de Stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong  
(voorzitter)

## SAMENVATTING

Mede als reactie op sterk verscherpte lozingseisen zijn in Denemarken door Krüger A.S. twee systemen voor vergaande biologische N- en P-verwijdering ontwikkeld (Bio-Denitro en Bio-Denipho) en in praktijk toegepast. Kenmerkend voor deze processen is een afwisseling van aërobe en anoxische fasen in paarsgeijs bedreven aëratietanks. Bij de Bio-Denipho-versie is hier een anaërobe fase voorgeschakeld ter stimulering van de biologische P-verwijdering in de waterlijn

Doelstelling van dit onderzoek is het vaststellen in hoeverre de Deense systemen voor de Nederlandse situatie van belang zijn en welke belemmeringen toepassing in de weg staan.

In Denemarken worden met het Bio-Denitro/Bio-Denipho proces effluentconcentraties van 3-8 mg N<sub>tot</sub>/l bereikt (influent gem. 31 mg N/l). De Bio-Denipho praktijkinstallaties behalen bij een influentconcentratie van 10 mg P/l effluentconcentraties van 3-4 mg P/l. Wanneer in de voorgeschakelde anaërobe reactor van de Bio-Denipho installatie een relatief kleine hoeveelheid chemicaliën (0,25-0,5 mol Fe/ mol P) wordt gedoseerd, daalt de effluentconcentratie naar 1-1,5 mg P/l. De Nederlandse omstandigheden zijn wat minder gunstig dan de Deense omstandigheden:

- hogere RWA/DWA verhouding in Nederland;
- hogere influentconcentratie N-totaal in Nederland;
- een lagere BZV/N-verhouding in Nederland.

Extrapolerend naar de Nederlandse situatie mag worden verwacht dat Bio-Denitro/Denipho ook in Nederland een N-verwijdering tot effluentwaarden < 10 mg N/l zal geven.

De praktijkervaring in Denemarken met vergaande P-verwijdering tot effluentconcentraties < 1 mg P/l is beperkt. Voor de Nederlandse situatie bestaat onduidelijkheid over de volgende punten:

- de hoeveelheid te doseren chemicaliën;
- de invloed van RWA/DWA fluctuaties.

De voorlopige resultaten van het semi-technisch onderzoek bij rwzi Ede geven aan dat P < 1 mg P/l en N-totaal < 10 mg N/l ook onder Nederlandse condities mogelijk zijn.

1 INLEIDING

In het licht van de recente maatregelen van de Rijnsoeverstaten om de lozingen van fosfaat per 1995 met 50 % te reduceren, zal op korte termijn op veel Nederlandse RWZI's defosfatering moeten worden ingevoerd. Ook de stikstofvracht zal in 1995 met 50 % moeten worden gereduceerd ten opzichte van 1985. Om dit te kunnen bereiken, zouden efluenteisen van 10 mg N/l (jaargemiddelde) en 1 mg P/l (voortschrijdend jaargemiddelde) nodig kunnen zijn. Met een dergelijke vergaande N- en P-verwijdering is in Nederland slechts beperkte ervaring beschikbaar.

Als reactie op de in 1987 sterk verscherpte lozingseisen voor N en P zijn in Denemarken systemen voor vergaande biologische N- en P-verwijdering (Bio-Denitro en Bio-Denipho) ontwikkeld en in praktijk toegepast. Deze technieken zouden ook voor Nederland belangrijk kunnen zijn.

Deze notitie geeft een evaluatie van de Deense systemen op basis van literatuurgegevens en een werkbezoek van 12-15 december 1989 (zie bijlage). Centraal hierbij staan de praktische ervaringen in Denemarken en de vertaling naar mogelijke toepassing onder Nederlandse condities.

Doelstelling van het onderzoek is de stand van ontwikkeling vast te stellen en na te gaan in hoeverre de Bio-Denitro en Bio-Denipho processen voor de Nederlandse situatie van belang zijn. Tevens dient te worden vastgesteld welke belemmeringen een Nederlandse introductie in de weg zouden kunnen staan.

## 2 ONTWIKKELINGEN N- EN P-VERWIJDERING IN DENEMARKEN

### 2.1 Wetgeving

Per januari 1992 zullen de volgende effluenteisen in Denemarken gelden:

$N_{tot} \leq 8 \text{ mg N/l}$        $NH_4 \leq 2 \text{ mg N/l}$  (zomer)       $NH_4 \leq 4 \text{ mg N/l}$  (winter)  
 $P_{tot} \leq 1,5 \text{ mg P/l}$        $BZV \leq 15 \text{ mg/l}$

Als toetsingsgrootheid geldt het gemiddelde over de betreffende periode plus de standaarddeviatie.

Deze eisen gelden voor nieuwe installaties groter dan 5.000 i.e.. Voor bestaande installaties gelden de N-eisen vanaf 15.000 i.e. en de P-eisen vanaf 5.000 i.e.. Lokaal kunnen strengere eisen gelden.

In Denemarken is men sinds 1987 bezig de bestaande installaties om te bouwen om te kunnen voldoen aan deze eisen.

### 2.2 Ontwikkeling Bio-Denitro-/Bio-Denipho processen

Het Bio-Denitro proces is in het begin van de jaren '70 ontwikkeld in een samenwerkingsverband tussen de Technische Universiteit van Kopenhagen en het ingenieursbureau Krüger.

Het Bio-Denipho proces is een gemodificeerde vorm van het Bio-Denitro proces, waarbij een anaërobe reactor vóór de aëratietanks is geschakeld. Het Bio-Denipho proces is later ontwikkeld om naast vergaande N-verwijdering ook vergaande biologische P-verwijdering te verkrijgen.

### 2.3 Situatie eind 1989

De eerste Bio-Denitro installatie is in 1976 gebouwd te Frederikssund. Sindsdien is een dertigtal Bio-Denitro praktijkinstallaties gebouwd. Bij een aantal Bio-Denitro installaties wordt simultane chemische defosfatering toegepast. Eind 1989 waren vijf Bio-Denipho praktijkinstallaties in bedrijf.

In 1989 is het aantal praktijkinstallaties, gebouwd door Krüger, in Denemarken als volgt verdeeld:

|                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| r.w.z.i's met N-verwijdering       | 20 stuks (Bio-Denitro)     |
| r.w.z.i's met N- en P-verwijdering | 15 stuks (Bio-Denitro/pho) |
| r.w.z.i's met P-verwijdering       | 20 stuks                   |
| r.w.z.i's gepland en in aanbouw    | <u>80 stuks</u>            |
|                                    | 135 stuks                  |



### 3 BESCHRIJVING VAN HET BIO-DENITRO EN BIO-DENIPHO PROCES

#### 3.1 Bio-Denitro proces

##### 3.1.1 *systembeschrijving*

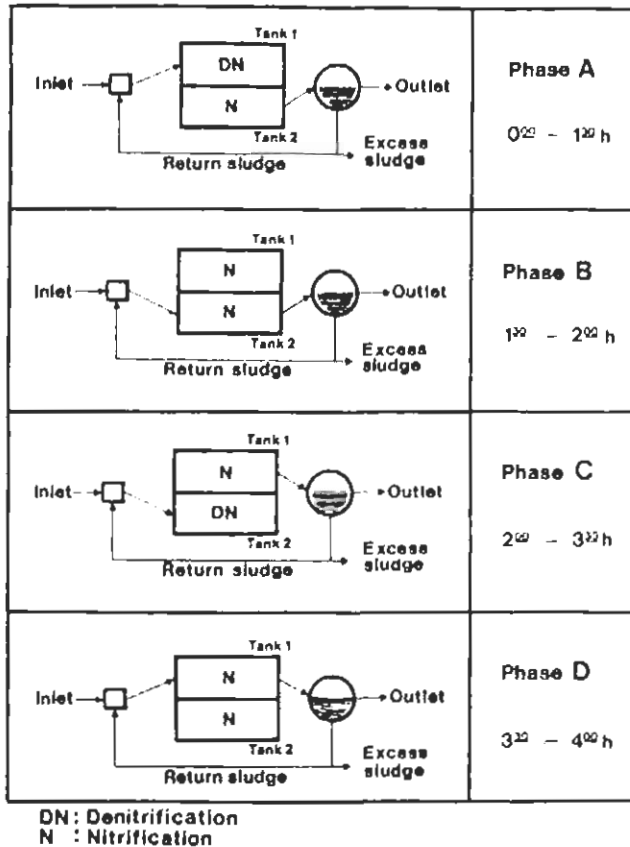
Het principe van Bio-Denitro berust op alternerende nitrificatie en denitrificatie in twee gekoppelde aëratiecircuits. Omdat beide processen achtereenvolgens in dezelfde ruimte plaatsvinden, ontbreekt een recirculatiestroom, die het gevormde nitraat terugvoert naar de denitrificatiezone.

De Bio-Denitro installatie bestaat uit twee paarsgewijs geschakelde beluchtingscircuits die alternerend worden belucht en gevoed. Door middel van een onderlinge verbinding en geregelde in- en uitvoerklappen kan de waterstroom in wisselende volgorde door de beide tanks worden gestuurd. De tanks zijn voorzien van beluchting en voortstuwing, waardoor zowel aërobe als anoxische condities kunnen worden gecreëerd. Nitrificatie vindt plaats in de beluchte fase. Denitrificatie vindt plaats in de niet-beluchte fase onder toevoering van influent-BZV.

Algemene uitvoering Bio-Denitro:

- beide tanks uitgerust met beluchting en voortstuwing
- tijdgeschakelde regelbare kleppen voor in- en uitgaande stromen
- slibbelasting 0,05-0,1 kg BZV/kg d.s.d
- slibconcentratie 3-5 kg d.s./m<sup>3</sup>
- slibleeftijd 10-30 dagen.

Er zijn vier fasen met variërende tijdsduur. Tijdens iedere fase wordt het afvalwater op verschillende wijze door de beide tanks geleid. In figuur 1 worden de verschillende fasen weergegeven.



Figuur 1 De vier fasen van het Bio-Denitro proces

Tabel 1 Beschrijving van de fasen van Bio-Denitro voor tank 1

| FASE | TIJDSDUUR | BELUCHTING | (DE)NITRIFICATIE | VOEDING    | AFVOER     |
|------|-----------|------------|------------------|------------|------------|
| A    | 1,5 uur   | nee        | denitrificatie   | influent   | naar tank2 |
| B    | 0,5       | ja         | nitrificatie     | geen       | geen       |
| C    | 1,5       | ja         | nitrificatie     | uit tank 2 | NBT        |
| D    | 0,5       | ja         | nitrificatie     | influent   | NBT        |

Fase A: In tank 1 wordt het in de voorgaande fasen gevormde nitraat gedenitrificeerd onder toevoer van influent-BZV. Het ammoniumhoudende mengsel stroomt vervolgens naar tank 2 voor nitrificatie en verwijdering van het resterend BZV.

Fase B: In fase B (en D) vindt uitsluitend nitrificatie plaats. In tank 1 wordt het aanwezige ammonium genitrificeerd (geen aan- of afvoer). In tank 2 wordt aanwezig ammonium en influent-NH<sub>4</sub> genitrificeerd. De duur van fase B is relatief kort en afhankelijk van de tijd die nodig is om het ammonium in tank 1 te nitrificeren.

Fase C: Als fase A, maar dan met tank 1 en 2 omgewisseld

Fase D: Als fase B, maar dan met tank 1 en 2 omgewisseld

De duur van fase B/D in verhouding tot A/C bepaalt de verhouding nitrificatie/ denitrificatie.

### 3.1.2 *procesregeling Bio-Denitro*

De in figuur 1 aangegeven tijden geven een indicatie van de duur van de verschillende fasen. Aanpassing aan de procesomstandigheden is als volgt mogelijk:

- fase A dient lang genoeg te zijn om het in tank 1 aanwezige nitraat te denitrificeren;
- de duur van fase B+D in verhouding tot A+C bepaalt de verhouding nitrificatie/denitrificatie. Wanneer relatief lang moet worden gedenitrificeerd (bij lage BZV/N verhouding) kunnen de overgangsfasen B en D zelfs helemaal vervallen (verdeling nitrificatie/denitrificatie 50/50);
- bij een verhouding BZV/N < 4 kan meer dan 50 % denitrificatie worden bereikt door in fase B+D de beide tanks anoxisch te bedrijven. Om een aëroob effluent te produceren wordt dan een korte nabeluchting achtergeschakeld.

In de Deense praktijk wordt de verdeling van de fasen ingesteld op basis van de afvalwaterkarakteristiek. In de praktijk worden verschillende programma's voor werkdagen/weekeinde en dag/nacht toegepast. Processturing op basis van effluentmonitoring van ammonium en nitraat wordt momenteel onderzocht, maar wordt nog niet op praktisch-schaal toegepast.

De P-verwijdering bleek bij Bio-Denitro beter te zijn dan bij de conventionele actief-slibinstallaties. Het altemnerend beluchten bevordert blijkbaar de ontwikkeling van Acinetobacter. Dit gaf aanleiding tot de ontwikkeling van het Bio-Denipho-systeem.

## 3.2 Bio-Denipho

### 3.2.1 *systeembeschrijving*

Bio-Denipho is een gemodificeerde uitvoering van Bio-Denitro met een voorgeschakelde anaërobe tank. De anaërobe tank bevordert de ontwikkeling van de P-bindende Acinetobacter bacteriën. Het volume van de anaërobe reactor bedraagt ongeveer 20 % van het volume van de beluchtingstanks. In de anaërobe reactor wordt het slib met roeders in suspensie gehouden. De anaërobe tank is in minimaal drie compartimenten verdeeld ter bevordering van het propstroomkarakter. Ter ondersteuning van de biologische fosfaatverwijdering kunnen in de anaërobe reactor Fe- of Al-zouten worden gedoseerd (Me/P veelal 0,2-0,5 mol/mol).

De afwisseling van voeding, beluchting en effluentafvoer is vergelijkbaar met die van het Bio-Denitro systeem. Het water wordt vanuit een beluchte fase naar de nabezinktanks afgevoerd, omdat dan de vrije P-concentratie het laagst is.

In bijzondere gevallen kan een tijdschakeling met zes fasen worden toegepast (figuur 2). In figuur 3 wordt het verloop van de  $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{PO}_4^-$  concentraties gegeven gedurende een cyclus van zes fasen.



### 3.2.2 procesregeling Bio-Denitro

De N-verwijdering van de Bio-Denitro installatie komt overeen met de N-verwijdering van een Bio-Denitro. De anaërobe reactor zal geen grote bijdrage leveren aan de N-verwijdering omdat de nitraatconcentratie in het retourslib laag is.

In de anaërobe reactor wordt een verblijftijd van minimaal 1 uur gehanteerd. Bij RWA kan een gedeelte van het influent langs de anaërobe reactor worden geleid om een voldoende verblijftijd te kunnen garanderen.

Bij een hoge BZV/P-verhouding in het influent wordt relatief meer P in het surplusslib ingebouwd. Bovendien is meer substraat beschikbaar voor vetzuurvorming in de anaërobe tank. Voor een goede biologische P-verwijdering dient de verhouding BZV/P > 30 te zijn.

De P-release in de anaërobe reactor gaat het snelst wanneer de hoeveelheid makkelijk afbreekbare CZV in het influent hoog is. In de anaërobe reactor mag geen NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> of O<sub>2</sub> aanwezig zijn.

Voor effluentwaarden van 2 mg P/l of lager dient aanvullend chemisch te worden geprecipiteerd. Hiertoe wordt FeSO<sub>4</sub> of een ander Fe- of Al-zout in de anaërobe reactor gedoseerd in verhoudingen van 0,2-0,5 mol Fe/mol P. Dit is lager dan bij simultane (chemische) defosfatering (1,5-2 mol Fe/mol P).

De ervaringen met Bio-Denitro om P-concentraties kleiner dan 1,5 mg P/l te bereiken zijn nog beperkt. Dit hangt samen met het relatief geringe aantal operationele installaties en de Deense effluentnorm van 1,5 mg P/l.

In enkele gevallen waar effluentconcentraties van 1 mg P/l worden geëist, wordt snelfiltratie toegepast om P-houdend zwevend materiaal weg te vangen. Om het fosfaatgehalte nog verder te doen dalen, kunnen in de toeloop van het filter metaalzouten worden gedoseerd (vlokkingsfiltratie).

### 3.2.3 slibbehandeling

Het surplusslib van het Bio-Denitro systeem moet aëroob worden behandeld, aangezien onder anaërobe omstandigheden P-release kan optreden. Hiertoe wordt het slib soms al voor de nabezinktank afgetapt. Om anaërobie te voorkomen, wordt in plaats van gravitatie-indikking mechanischeindikking toegepast (centrifuge, zeefindikker, aquabelt). Vervolgens wordt het slib verder ontwaterd en afgevoerd samen met het eventueel gestabiliseerde primaire slib.

4 PROCESRESULTATEN IN DENEMARKEN

4.1 Landelijk overzicht

In Denemarken wordt het Bio-Denitro proces sinds de tweede helft van de jaren '70 op praktijkschaal toegepast. In tabel 2 staan de N-verwijderingsresultaten van 15 Deense installaties weergegeven.

Tabel 2 Analyseresultaten van 15 Deense installaties met N-verwijdering<sup>20</sup>

| Installatie   | Type   | Ontwerp-<br>bel. i.e. | Influent    |               |       | Effluent    |              |              |               |
|---------------|--------|-----------------------|-------------|---------------|-------|-------------|--------------|--------------|---------------|
|               |        |                       | BZV<br>mg/l | Ntot<br>mgN/l | BZV/N | BZV<br>mg/l | NH4<br>mgN/l | NO3<br>mgN/l | Ntot<br>mgN/l |
| Bording       | BD     | 6.000                 | 138         | 31            | 4,5   | 5           | 0,6          | 8,6          | -             |
| Engesvang     | BD     | 5.000                 | 152         | 33            | 4,6   | 6           | 0,4          | 6,3          | -             |
| Fiskbæk       | BD     | 4.000                 | 280         | 37            | 7,6   | 7           | 1,0          | 4,6          | 8,2           |
| Karup         | BD     | 10.000                | 154         | 23            | 6,7   | 5           | 0,4          | 6,5          | 7,6           |
| Odense NV     | BD/2t  | 85.000                | 238         | 40            | 6,0   | 8           | 1,4          | 4,1          | 7,6           |
| Vejby         | BD     | 2.000                 | 103         | 16            | 6,4   | 4           | 0,9          | 6,1          | 7,5           |
| Søholt        | BD     | 105.000               | 197         | 30            | 6,6   | 6           | 2,1          | 4,2          | 8,3           |
| Frederikssund | BD     | 33.000                | 300         | 36            | 8,3   | 9           | 0,5          | 1,5          | 3,5           |
| Skals         | BDP    | 4.000                 | 116         | 25            | 4,6   | 9           | 0,9          | 8,4          | 11,8          |
| Nørre Åby     | BDP    | 13.000                | 206         | 25            | 8,2   | 7           | 1,0          | 2,7          | 4,0           |
| Odense NO     | BDP/2t | 55.000                | 207         | 36            | 5,8   | 6           | 1,0          | 6,0          | 8,0           |
| Ejby Mølle    | BDP/2t | 275.000               | 241         | 35            | 6,9   | 21          | 0,5          | 4,0          | 6,0           |
| Åalborg W     | BDP    | 330.000               | 175         | 37            | 4,7   |             | 1,0          | 6,0          | 8,0           |
|               |        | gemiddelden:          | 193         | 31            | 6,2   | 8           | 0,9          | 5,2          | 7,2           |

\*) BD = Bio-Denitro, BDP = Bio-Denipho, 2t = twee-traps installatie

De gemiddelde effluentconcentratie Ntot bedraagt 7,2 mg N/l bij een influentconcentratie van gemiddeld 31 mg Ntot/l en een gemiddelde verhouding BZV/N van 6,2. De ammoniumconcentratie is in veel gevallen kleiner dan 1 mg N/l.

Het Bio-Denipho proces is bij vijf installaties op praktijkschaal toegepast. De installaties van Odense NO en Nørre Åby krijgen zowel huishoudelijk als industrieel afvalwater. Dit afvalwater heeft een gunstige samenstelling voor vergaande N/P-verwijdering (hoge BZV/N/P-verhouding). De in november 1989 opgestarte installatie van Åalborg W krijgt voornamelijk huishoudelijk afvalwater en is qua afvalwater-samenstelling en voedingsregime vergelijkbaar met de Nederlandse situatie.

4.2 Procesgegevens van bezochte rwzi's

4.2.1 *Frederikssund*

De installatie van Frederikssund behandelt huishoudelijk afvalwater en afvalwater van een vruchtesapfabriek en een slachterij. De installatie heeft geen voorbezinking.

Tijdens de beluchte periode draaien de borstels op hoog toerental. In de onbeluchte periode draaien de borstels op laag toerental en zorgen zo voor de menging van de tank.

Tabel 3 Parameters van de Bio-Denitro van Frederikssund <sup>1.11.19</sup>

| PARAMETER           | FREDERIKSSUND  |
|---------------------|----------------|
| In bedrijf sinds    | 1976           |
| Ontwerpcapaciteit*  | 55.000 i.e.    |
| Aërobe slibleeftijd | > 10 d         |
| BZV/N in            | 10 kg/kg       |
| BZV/P in            | 29 kg/kg       |
| N-totaal - in       | 30-40 mg/l     |
| - uit               | 2-6 mg/l       |
| N-verwijdering      | 90 %           |
| P-totaal - in       | 11,5 mg/l      |
| - uit               | 2,5-4 mg/l     |
| P-verwijdering      | 71 %           |
| P-gehalte slib      | 2,5 % van d.s. |

\*) : 1 i.e. = 60 g BZV/d + 12,5 g Ntot/d

De temperatuur daalt in de winter tot 6 à 8 °C. De effluentwaarden bedragen voor BZV 6-9 mg/l, Ntot 2-6 mg/l, Ptot 2,5-4 mg/l en voor zwevende stof <10 mg/l. De hoge BZV/N-verhouding en het makkelijk afbreekbare BZV zorgen voor een goede N-verwijdering.

Mede door de gunstige BZV/N-verhouding kan in de onbeluchte perioden het nitraat volledig door denitrificatie worden verwijderd. Door de anaërobe perioden die dan ontstaan, wordt de ontwikkeling van specifieke bacteriën (P-bindende Acinetobacter) bevorderd. De P-verwijdering is vergelijkbaar met de P-verwijdering van een Bio-Denipho installatie.

4.2.2 Odense NO

Odense NO behandelt huishoudelijk afvalwater. De installatie is van het type AB, waarbij de B-trap is uitgevoerd als Bio-Denipho. De installatie is 25 % belast. Om nog enige BZV voor de B-trap over te houden, wordt de A-trap slechts licht belucht om het slib in suspensie te houden (by-pass niet mogelijk).

De sturing van de verschillende fasen gebeurt aan de hand van een vast tijdschema, dat een dag- en een nachtprogramma heeft.

Het slib uit de A-trap wordt vergist; het actief slib uit de B-trap wordt vóór de nabezinktank afgetapt, ingedikt in een centrifuge en ontwaterd in een filterpers.

Er zijn weinig betrouwbare gegevens beschikbaar over het functioneren van de installatie. De effluentwaarden voor N en P (ca. 8 mg Ntot/l en 7 mg Ptot/l) zijn niet goed te noemen, als gevolg van de onderbelasting en problemen met de gisting. Naar verwachting zal de FeCl<sub>3</sub> dosering de effluentconcentratie verlagen tot 1,5-2 mg Ptot/l (eind december 1989 dosering gestart).

Tabel 4 Parameters van de Bio-Denipho installatie van Odense NO

| PARAMETER                | ODENSE NO                  |
|--------------------------|----------------------------|
| Type                     | Twee-traps                 |
| In bedrijf sinds         | 1985                       |
| Ontwerpcapaciteit        | 55.000 i.e.*)              |
| Vol anaë.r.tank          | 700 m <sup>3</sup> (17%)   |
| Vol aë.r.tanks           | 3.500 m <sup>3</sup> (83%) |
| Volume NBT               | 2.200 m <sup>3</sup>       |
| BZV - in                 | 207 mg/l                   |
| - uit                    | 6 mg/l                     |
| Zwevende stof - in       | 365 mg/l                   |
| - uit                    | 5 mg/l                     |
| BZV/N in                 | 6 kg/kg                    |
| BZV/P in                 | 15 kg/kg                   |
| N-totaal - in            | 36 mg/l                    |
| NH <sub>4</sub> -N - in  | 17 mg/l                    |
| N-totaal - uit           | 8 mg/l                     |
| NH <sub>4</sub> -N - uit | 1 mg/l                     |
| NO <sub>3</sub> -N - uit | 5 mg/l                     |
| N-verwijdering           | 78 %                       |
| P-totaal - in            | 14 mg/l                    |
| P-ortho - in             | 7 mg/l                     |
| P-totaal - uit           | 7 mg/l                     |
| P-ortho - uit            | 6 mg/l                     |
| P-verwijdering           | 50 %                       |

\*) : 1 i.e. = 60 g BZV/d + 12,5 g Ntot/d



4.2.3 Ejby Mølle (Odense)

De installatie bestaat uit een oude oxydatiebedinrichting, waarachter een Bio-Denipho eenheid is geschakeld (in bedrijf sinds medio 1989). Bij DWA wordt slechts 30 % van het voorbezonden water in de oxydatiebedden voorbehandeld; de overige 70 % gaat direct naar de Bio-Denipho.

De fasen van de Bio-Denipho installatie worden gestuurd volgens een tijdschema met aparte programma's voor de dag- en nachturen. 's Nachts duurt de onbeluchte fase langer.

Het primaire slib en het slib uit de tussenbezinking worden vergist en vervolgens ontwaterd in centrifuges. Het secundaire slib uit de nabezinktanks wordt mechanisch ingedikt en vervolgens ontwaterd in een zeebandpers.

De dosering van  $FeCl_3$  is gestart in januari 1990. Zonder dosering varieert de effluent-P-concentratie van 1-4 mg Ptot/l. Er zijn nog geen gegevens beschikbaar over de periode met dosering. De effluent-N-concentratie bedraagt circa 5 mg Ntot/l.

Tabel 5 Parameters van de Bio-Denipho installatie van Ejby Mølle (Odense)

| PARAMETER                | EJBY MØLLE                  |
|--------------------------|-----------------------------|
| Type                     | Twee-traps                  |
| In bedrijf sinds         | 1989                        |
| Ontwerpcapaciteit*       | 275.000 i.e.                |
| Vol anaër.tank           | 6.400 m <sup>3</sup> (16%)  |
| Vol aër.tanks            | 32.500 m <sup>3</sup> (84%) |
| Volume NBT               | 15.080 m <sup>3</sup>       |
| Slibindex                | 170 ml/g                    |
| BZV - in                 | 241 mg/l                    |
| - uit                    | 8 mg/l                      |
| Zwevende stof - in       | 310 mg/l                    |
| - uit                    | 25 mg/l                     |
| BZV/N in                 | 7 kg/kg                     |
| BZV/P in                 | 27 kg/kg                    |
| N-totaal - in            | 35 mg/l                     |
| NH <sub>4</sub> -N - in  | 15 mg/l                     |
| N-totaal - uit           | 5 mg/l                      |
| NH <sub>4</sub> -N - uit | < 1 mg/l                    |
| NO <sub>3</sub> -N - uit | 3 mg/l                      |
| N-verwijdering           | 86 %                        |
| P-totaal - in            | 9 mg/l                      |
| P-ortho - in             | 4 mg/l                      |
| P-totaal - uit           | 3 mg/l                      |
| P-ortho - uit            | 3 mg/l                      |
| P-verwijdering           | 67 %                        |

\*): 1 i.e. = 60 g BZV/d + 12,5 g Ntot/d

#### 4.2.4 Åalborg West

De Bio-Denipho installatie van Åalborg West (330.000 i.e.) is sinds november 1989 in bedrijf. De bedrijfsvoering ten aanzien van de N- en P-verwijdering was ten tijde van het bezoek in december 1989 nog niet geoptimaliseerd. De effluentconcentraties bedroegen circa 7 mg N/l en 5 mg P/l (zie tabel 6). Er werd in december '89 nog geen ijzersulfaat gedoseerd.

Het primaire slib wordt vergist. Het secundaire slib wordt vóór de nabezinktank afgetapt, voorontwaterd en vervolgens met het uitgegiste primaire slib ontwaterd met een zeefbandpers.

Tabel 6 Parameters van de Bio-Denipho installatie van Åalborg W (december 1989)

| PARAMETER                | ÅALBORG West                |
|--------------------------|-----------------------------|
| Type                     | Eén-traps                   |
| In bedrijf sinds         | 1989                        |
| Ontwerpcap.*)            | 330.000 i.e.                |
| Vol anaër.tank           | 7.500 m <sup>3</sup> (16%)  |
| Vol aër.tanks            | 39.400 m <sup>3</sup> (84%) |
| Volume NBT               | 13.700 m <sup>3</sup>       |
| BZV in                   | 175 mg/l                    |
| BZV/N in                 | 5 kg/kg                     |
| BZV/P in                 | 18 kg/kg                    |
| N-totaal - in            | 37 mg/l                     |
| N-totaal - uit           | 7 mg/l                      |
| NH <sub>4</sub> -N - uit | < 0,5 mg/l                  |
| NO <sub>3</sub> -N - uit | 5 mg/l                      |
| N-org - uit              | 2 mg/l                      |
| N-verwijdering           | 84 %                        |
| P-totaal - in            | 10 mg/l                     |
| - uit                    | 5 mg/l                      |
| P-verwijdering           | 50 %                        |

\*) : 1 i.e. = 60 g BZV/d + 12,5 g Ntot/d

Inmiddels zijn de gemiddelde effluentwaarden van het eerste halfjaar van 1990 beschikbaar. De BZV (10 mg/l) en N-totaal (8 mg N/l) stemmen overeen met de gegevens van december. De P-verwijdering met dosering van FeSO<sub>4</sub> (Me/P onbekend) is verbeterd tot 1 mg P/l. De installatie voldoet hiermee aan de eisen.

## 5 EVALUATIE

### 5.1 Bio-Denitro

Bio-Denitro is in Denemarken goed in staat om bij slibbelastingen van < 0,1 kg BZV/kg d.s. een effluentwaarde van 2-8 mg N/l te bereiken. Gebruikelijke effluentconcentraties bedragen 3 mg Nkj-N/l (waarvan 1 mg NH<sub>4</sub>-N/l), 5 mg NO<sub>3</sub>-N/l en 8 mg Ntot/l. Bij omstandigheden die overeenkomen met de Nederlandse situatie (lage BZV/N verhouding en hoge N-influentconcentratie) blijken effluentwaarden < 10 mg Ntot/l haalbaar te zijn.

Bij hoge BZV/N verhoudingen blijkt in Bio-Denitro installaties tevens biologische P-verwijdering op te treden (bijvoorbeeld 70-75% bij rwzi Frederikssund).

Geconcludeerd kan worden:

- in Deense omstandigheden worden bij Bio-Denitro N-totaal waarden van < 8 mg N/l (waarvan ca. 1 mg NH<sub>4</sub>-N/l) gehaald bij een verhouding BZV/N van ca. 6 en een slibbelasting van 0,05-0,1 kg BZV/kg d.s.d.;
- de beschouwde systemen bieden een efficiënte en goed stuurbare verhouding van nitrificatie en denitrificatie;
- door aanpassing van procesuitvoering, dimensionering en processturing kan in principe worden ingespeeld op minder gunstige condities met name een lagere BZV/N-verhouding dan in Denemarken gebruikelijk;
- bij hoge BZV/N/P verhoudingen kan 70-75 % biologische P-verwijdering optreden;
- hoewel de omstandigheden (BZV/N, influent N-concentratie, RWA/DWA) van de Nederlandse installaties niet geheel vergelijkbaar zijn met de situatie in Denemarken, lijken bij een aangepaste opzet ook in de Nederlandse situatie effluentwaarden van < 10 mg Ntot/l haalbaar.

### 5.2 Bio-Denipho

De N-verwijdering van de Bio-Denipho installaties komt goed overeen met de resultaten van de Bio-Denitro installaties. De ervaring op praktijkschaal met vergaande fosfaatverwijdering is echter nog beperkt. De installaties van Åalborg West, Odense NO en Ejby Mølle zijn recentelijk opgestart en/of de P-verwijdering is nog niet geoptimaliseerd.

De Bio-Denipho praktijkinstallaties bereiken effluentconcentraties van 3-4 mg P/l zonder dosering van chemicaliën. Met dosering van FeSO<sub>4</sub> of FeCl<sub>3</sub> in de anaërobie reactor daalt de effluentconcentratie tot circa 1,5 mg P/l.

Praktijkgegevens onder omstandigheden die goed vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie zijn niet beschikbaar.

Geconcludeerd kan worden:

- Bio-Denipho heeft vergelijkbare N-verwijdering als Bio-Denitro bij gelijke BZV/N verhoudingen;
- de BZV/N/P-verhouding heeft een grote invloed op de biologische P-verwijdering;
- effluentconcentraties van 1-1,5 mg P/l worden bereikt met dosering van 0,25-0,5 mol Fe/mol P in de anaërobe reactor;
- voor effluentconcentraties < 1 mg P/l dient effluentfiltratie te worden toegepast, eventueel in combinatie met dosering van FeCl<sub>3</sub> (vlokkingsfiltratie);
- praktijkresultaten onder Nederlandse omstandigheden ontbreken.

### 5.3 Vergelijking met andere technieken

De Deense systemen kunnen ten aanzien van de N-verwijdering (Bio-Denitro) worden vergeleken met voordennitrificatie en simultane denitrificatie en ten aanzien van de P-verwijdering (Bio-Denipho) met simultane precipitatie en P-strippen.

#### N-verwijdering

Nadelen van het Bio-Denitro systeem zijn:

- er is beluchtingsapparatuur voor de nitrificatie, roeders voor de denitrificatie en gestuurde kleppen in beide aëratietanks nodig; door deze "dubbele uitvoering" is meer apparatuur nodig dan bij andere technieken;
- de sturing is meer complex dan bij conventionele systemen.

Voordelen:

- de verhouding tussen denitrificatieruimte en nitrificatieruimte kan nauwkeurig en flexibel worden geregeld, afhankelijk van de omstandigheden;
- geen recirculatiestroom van nitrificatie naar denitrificatie nodig;
- goede benutting van influent-BZV voor de denitrificatie.

#### P-verwijdering

Nadelen:

- kans op loslaten van gebonden P onder anaërobe condities.

Voordelen:

- bij dosering van kleine hoeveelheden chemicaliën (< 0,5 mol Fe/mol P) in de anaërobe reactor wordt vergaande P-verwijdering bereikt;
- goede P- en N-verwijdering;
- geringe produktie chemisch slib (circa 1/5 -1/3 van simultane precipitatie);
- bedrijfsvoering eenvoudiger dan bij nevenstroomprocessen (P-strippen).

De nog beperkte praktijkervaring met Bio-Denipho geeft aan dat in Denemarken goed aan de geldende N- en P-eis kan worden voldaan.

Praktijkervaring voor de Nederlandse situatie (effluenteis 1 mg P/l en veelal minder gunstige RWA/DWA en BZV/N verhoudingen) is echter niet voor handen.

#### 5.4 Toepassing Bio-Denipho/Bio-Denitro in Nederlandse situatie

De gegevens van het afvalwater in Nederland zijn gebaseerd op de CBS milieustatistieken, 1987<sup>19</sup>. Het afvalwaterdebiet bedraagt circa 270 l/i.e.d.

De gegevens van Denemarken zijn gebaseerd op de gemiddelden van tabel 2 en indicaties uit andere bronnen. Het afvalwaterdebiet bedraagt 200-500 l per i.e. per dag<sup>8</sup>.

In het algemeen heeft het Nederlandse afvalwater in vergelijking met het Deense afvalwater een hogere N-totaal-concentratie, een lagere BZV/N-verhouding en een ongeveer gelijke P-concentratie. In Denemarken is de RWA/DWA-verhouding in de regel wat kleiner dan in Nederland door een groter aandeel gescheiden stelsels. De genoemde verschillen zijn voor de Nederlandse situatie licht in het nadeel ten opzichte van de Deense situatie.

Tabel 7 Parameters voor Nederland en Denemarken

|  | Nederland<br>1987  | Denemarken |
|--|--------------------|------------|
| - influent:  |                    |            |
| RWA/DWA  | 2,5 à 4            | 2          |
| CZV/BZV  | 2,72               | 2,1        |
| BZV/N  | 4,3                | 6,2        |
| BZV/P  | 15,6               | 19         |
| CZV (mg/l)   | 563                | 410        |
| BZV (mg/l)   | 211                | 193        |
| Nkj (mg N/l)   | 49                 | 31         |
| Ptot (mg P/l)  | 13,5 ('88:10)      | 10         |
| - effluenteisen N,P:                                 |                    |            |
| N-tot (jaargemiddelde) (mg N/l)                      | 10                 | 8          |
| P-tot (mg P/l):                                      |                    | 1-1,5      |
| > 100.000 i.e.:voort.gem.10 waarn.<br>jaargemiddelde | 1<br>0,7 (geschat) |            |
| 20.000-100.000:voort.gem.10 waarn.<br>jaargemiddelde | 2<br>1,4 (geschat) |            |
| < 20.000 i.e.:geen eisen voor P                      |                    |            |

De effluenteis in Denemarken ligt op 1,5 mg P/l. Er is nog weinig ervaring met het behalen van een effluenteis van < 1 mg P/l.

In tabel 7 worden de influentparameters en de effluenteisen vergeleken voor de Deense en de Nederlandse situatie.

Extrapolatie naar de Nederlandse situatie geeft aan dat het Bio-Denipho proces goede mogelijkheden biedt om ook in Nederland een goede N-verwijdering te bewerkstelligen. Of zonder effluentfiltratie een effluenteis van < 1 mg P/l kan worden behaald is echter onzeker.

Geconcludeerd kan worden:

- in de Nederlandse situatie is de N-verwijdering wellicht iets minder gunstig dan in de Deense situatie. Effluentconcentraties van < 10 mg N/l lijken echter mogelijk door de gunstige en flexibele condities voor nitrificatie en denitrificatie;
- de biologische P-verwijdering levert een effluentconcentratie in de orde van 3-4 mg P/l;
- door ondersteunende Fe-dosering (0,25-0,5 mol Fe/mol P) kan de effluentconcentratie worden teruggebracht tot circa 1-1,5 mg P/l. De ervaringen hiermee zijn echter nog beperkt;
- er is geen informatie over de invloed van RWA op de P-verwijdering en de mogelijkheid van verhoogde dosering in de anaërobe reactor tijdens RWA.

Onderzoek met het Bio-Denipho systeem onder Nederlandse condities is wenselijk om aan te geven of vergaande P- en N-verwijdering hier mogelijk is. De grootste onzekerheid lijkt de mogelijkheid om een stabiele defosfatering tot 1 mg P/l te halen.

Bij rwzi Ede worden proeven uitgevoerd op semi-technische schaal. Het Bio-Denipho systeem wordt vergeleken met het fosfaatstripproces. De voorlopige resultaten van deze proeven tonen aan dat het Bio-Denipho proces ook in Nederland tot vergaande N- en P-verwijdering kan leiden.

6 CONCLUSIES

1. Onder Deense omstandigheden voldoen het Bio-Denitro en het Bio-Denipho systeem goed:
  - de vergaande N-verwijdering leidt tot effluentconcentraties van 3-8 mg N/l;
  - de anaërobe tank bij Bio-Denipho heeft een positieve invloed op de biologische fosfaatverwijdering;
  - de biologische P-verwijdering leidt bij een influentconcentratie van circa 10 mg P/l tot een effluentconcentratie van 3-4 mg P/l;
  - aanvullende chemische fosfaatverwijdering door dosering van 0,25-0,5 mol Fe/mol P geeft een effluentconcentratie van circa 1,5 mg P/l;
  - voor effluentconcentraties lager dan 1 mg P/l dient effluentfiltratie eventueel met chemicaliëndosering plaats te vinden.
  
2. Het Bio-Denitro/Denipho systeem heeft voor de N-verwijdering in vergelijking met voordennitrificatie en simultane denitrificatie het voordeel van een variabele en nauwkeurig in te stellen nitrificatie/denitrificatie zonder grote recirculatiestromen. Bij vergaande P-verwijdering levert het Bio-Denipho systeem een lager chemicaliënverbruik en slibproductie dan simultane defosfatering, en een eenvoudiger bedrijfsvoering dan biologische defosfatering met fosfaatstrippen. De toepassing bij effluenteisen van 1 mg P/l is echter nog niet geheel duidelijk.
  
3. De belangrijkste verschillen tussen de Deense en de Nederlandse omstandigheden zijn:
  - hogere verhouding RWA/DWA in Nederland;
  - hogere influentconcentratie N-totaal in Nederland;
  - een lagere BZV/N-verhouding in Nederland.
  
4. Extrapolerend naar de Nederlandse situatie mag worden verwacht dat Bio-Denitro/Denipho ook in Nederland een N-verwijdering tot effluentwaarden < 10 mg N/l zal geven.
  
5. De praktijkervaring in Denemarken met vergaande P-verwijdering door Bio-Denipho is beperkt. De omstandigheden voor vergaande P-verwijdering zijn wat minder gunstig in Nederland en de effluenteis van 1 mg P/l is strenger dan in Denemarken (1,5 mg P/l). Onduidelijkheid bestaat over de volgende punten:
  - de hoeveelheid te doseren chemicaliën;
  - invloed van RWA/DWA fluctuaties.
  
6. Onderzoek onder Nederlandse condities is gewenst om vertaling naar de Nederlandse praktijk mogelijk te maken, met name bij effluentconcentraties rond 1 mg P/l. Bij rwzi Ede wordt semi-technisch onderzoek uitgevoerd naar het Bio-Denipho proces. De proeven tonen aan dat ook in Nederland vergaande N- en P-verwijdering kan worden bereikt met het Bio-Denipho systeem.

7 LITERATUUR

1. Bundgaard, E., Kristensen, G.H. en Arvin, E., Full scale experience with phosphorus removal in an alternating system. Wat. Sci. Tech. vol 15, pp 197-217 (1983).
2. Andersen, K.L. en Petersen G., Mathematical Modelling of Activated Sludge Systems. The Bio-Denitro and Bio-Denipho alternating tank systems. Presented at Wageningen University, Holland, feb. 1988 (1988).
3. Elin, L et al, Danish Activities on Biological Phosphorus Removal. Lab, Pilot Scale end Full Scale Applications. I. Krüger AS. (1988 of 1989).
4. Nørre Åby Municipality, Nørre Åby Sewage Treatment Plant. Folder van I. Krüger AS, Søborg, Denmark (1989).
5. The Municipality of Odense, Sewage Treatment Plant North East. Folder van I. Krüger AS, Søborg, Denmark.
6. The Municipality of Aalborg, Sewage Treatment Plant West. Folder van I. Krüger AS, Søborg, Denmark (1988).
7. Bundgaard, E. et al., Bio-DENITRO and Bio-DENIPHO systems. Experiences and advanced model development. The Danish Systems for Biological N and P removal. I. Krüger AS (1988 of 1989).
8. Tetreault, M.J. et al., Assessment of Phased Isolation Ditch Technologies. Journal WPCF, sept. 1987 (1987).
9. Kristensen, G.H., Exchange of Organics, Phosphate and Cations between Sludge and Water in Biological and Nitrogen Removal Processes. Presented at the IAWPCR Post-Conference Seminar in Paris, 24-25 sept. 1984 (1984).
- 10 Arvin E. et al., A Model for Biological and Chemical Mechanisms. Presented at 'International Conf. Management Strategies for Phosphorus in the Environment', Lisbon, july, 1985 (1985).
- 11 Bundgaard, E. et al, Advanced Biological Treatment - Nutrient Removal Monte Carlo, 1986 (1986).
- 12 Bundgaard, E., Nitrogen and Phosphorus Removal by the Bio-Denitro & Bio-Denipho Processes. Experience and development. Intern. Workshop on Wastewater Treatment Technology Copenhagen, januari 1988 (1988).
- 13 Bundgaard, E. and Petersen, G., The Bio-Denipho process for biological phosphate removal. The Danish system for biological N and P removal. P-symposium februari 1988, Wageningen, The Netherlands (1988).
- 14 Petersen, G., Upgrading of a combined industrial and municipal wastewater treatment plant. The Fredericia Plant, Denmark. Intern. Special. Conf. on Upgrading of wastewater treatment plants, Munich, sept. 1989 (1989).
- 15 Kristensen, G.H. en La Cour Jansen, J., Nutrient removal - Danish Practice. Translation of Paper presented at IFAT, Intern. Conf., Munich, 1987 (1987).
- 16 La Cour Jansen, J., Erfahrungen mit nitrifizierenden Belebungsanlagen in Dänemark. GWF Wasser/Abwasser, 130, Nr.8 (1989).
- 17 Assessment of Phased Isolation Ditch Technologies. U.S. EPA report contractnr. 68-03-1818, Brown and Caldwell Consulting Engineers (1985).
- 18 Scientific and Technical Reports No.1. Activated Sludge Model No. 1, IAWPRC (1986).
- 19 Waterkwaliteitsbeheer, deel B zuivering van afvalwater 1987. CBS, milieustatistieken (1989).



- 20 Bundgaard, E. en Nielsen, F.M., Stability of effluents from biological nutrient removal plants- Danish long-term operating and optimization experience. WPCF 62<sup>nd</sup> Annual Conference, San Francisco, oct. 16-19, 1989 (1989).
- 21 The Municipality of Odense, Sewage Treatment Plant Ejby Mølle. Folder van I. Krüger AS, Søborg, Denmark (1989).
- 22 The Municipality of Frederikssund, Sewage Treatment Plant Frederikssund. Folder van I. Krüger AS, Søborg, Denmark (1988).
- 23 Bundgaard, E. et al, Bio-Denitro and Bio-Denipho systems - Experiences and advanced model development: the Danish systems for biological N and P removal Wat. Sci. Tech. vol 21, pp 1727-1730 (1989).

Bijlage 1: programma werkbezoek Denemarken december 1989

Deelnemers

|                        |   |                     |                    |
|------------------------|---|---------------------|--------------------|
| DBW/RIZA               | : | ir. A.H. Dirkzwager | 12 t/m 14 december |
| Witteveen + Bos        | : | ir. C. Petri        | idem               |
| Witteveen + Bos        | : | ir. P. de Jong      | 12 t/m 15 december |
| Zuiveringsschap Veluwe | : | ir. E. van 't Oever | idem               |

Programma

Dinsdagmiddag 12 december  
reis naar Kopenhagen

Woensdag 13 december

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| ochtend: bezoek rwzi Odense Noordoost | 37.000 i.e.  |
| middag: bezoek rwzi Odense Ejby Mølle | 275.000 i.e. |

Donderdag 14 december

|  |              |
|--|--------------|
| ochtend: hoofdkantoor Krüger, gesprek met medewerkers R&D division |              |
| middag: bezoek rwzi Åalborg West                                   | 330.000 i.e. |

Vrijdag 15 december

|  |             |
|--|-------------|
| ochtend: hoofdkantoor Krüger, overleg rwzi Ede, pilot onderzoek e.d. |             |
| middag: bezoek rwzi Frederikssund                                    | 33.000 i.e. |
| avond: terugreis Schiphol  |             |