

NN31085.90-04

g e

g e n e r a t i 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

R90-04

HET AFLEIDEN VAN PROCES- TECHNOLOGISCHE RELATIES UIT BEDRIJFSGEGEVENS VAN RWZI'S

RIZA

rijkswaterstaat
rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer
en afvalwaterbehandeling

postbus 17, 8200 AA IJlstad 03200-70411

stora

stichting toegepast onderzoek
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-3512710

2004

NAI 3100's, 30-04

ratie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

ariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70467



STOR
STAF

HET AFLEIDEN VAN PROCESTECHNOLOGISCHE RELATIES UIT BEDRIJFSGEGEVENS VAN RWZI'S



0000 0635 4977

RWZI 2000 90-04

27 1000 1001

auteur(s):

DHV:

ing. P.P. Weesendorp

INHOUD	BLZ
INHOUD	1
VOORWOORD	3
1 SAMENVATTING	6
2 INLEIDING	8
3 TECHNOLOGISCHE RELATIES	10
3.1 Keuze van de procesonderdelen	10
3.2 Vaststelling van belangrijke technologische relaties	12
3.2.1 Procesonderdeel voorbezinking	12
3.2.2 Procesonderdeel actief-slibbeluchtingstank (één trap) + nabezinking	13
3.2.3 Procesonderdeel oxydatiebed (één traps) + nabezinking	15
3.2.4 Procesonderdeel indikers (gravitatie)	16
3.2.5 Procesonderdeel slibgisting (ééntraps)	17
3.2.6 Procesonderdeel zeefbandpers	19
4 UITWERKING TECHNOLOGISCHE RELATIES	22
4.1 De relatie tussen de slibproductie en het verwijderde BZV	23
4.1.1 Inleiding	23
4.1.2 Procesbeschrijving	23
4.1.3 Procesbepalende parameters	23
4.1.4 Selectiecriteria	25
4.1.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens	25
4.2 Relatie tussen de effluentkwaliteit en de belasting van actief-slibinstallaties	25
4.3 Relatie BZV/CZV van het effluent met de belasting	26
4.3.1 Procesbeschrijving	26
4.3.2 Procesbepalende parameters	28
4.3.3 Selectiecriteria	30
4.3.4 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens	31
4.4 Relatie NKj van het effluent met de belasting	31
4.4.1 Procesbeschrijving	31
4.4.2 Maatgevende parameters voor de beschrijving van de belasting	33
4.4.3 Procesbepalende parameters	33
4.4.4 Selectiecriteria	34
4.4.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens	34

4.5	Relatie tussen het einddrogestofgehalte na indikking en de slibsoort	35
4.5.1	Inleiding	35
4.5.2	Procesbeschrijving	35
4.5.3	Procesbepalende parameters	36
4.5.4	Selectiecriteria	39
4.5.5	Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van bedrijfsgegevens	39
4.6	Relaties tussen het energieverbruik en het zuiveringsresultaat	40
4.6.1	Inleiding	40
4.6.3	Maatgevende parameters voor de beschrijving van het zuiveringsrendement	41
4.6.4	Procesbepalende parameters	41
4.6.5	Selectiecriteria	43
4.6.6	Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens	44
4.7	Relatie tussen het einddrogestofgehalte van de zeefband en de slibsoort	45
4.7.1	Inleiding	45
4.7.2	Procesbeschrijving	45
4.7.3	Procesbepalende parameters	46
4.7.4	Selectiecriteria	48
4.7.5	Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van bedrijfsgegevens	49
4.8	Relatie tussen de gasproductie en de afbraak van het slib en het organisch drogestofgehalte in vers slib	50
4.8.1	Inleiding	50
4.8.2	Procesbeschrijving	50
4.8.3	Maatgevende parameters voor de beschrijving van de relaties	51
4.8.4	Procesbepalende parameters	52
4.8.5	Selectiecriteria	54
4.8.6	Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens	54
5	UITWERKING VAN DE RELATIES OP BASIS VAN DE N-VERWIJDERING	56
5.1	Selectie bedrijfsgegevens	56
5.2	Selectie relaties	57
5.3	Resultaten	59
5.3.1	Inleiding	59
5.3.2	Nitrificatie	59
5.3.3	N-verwijdering	69
5.3.4	Aandachtspunten	71
5.4	Conclusies	75
6	EVALUATIE	78
	Literatuur	75
	Bijlage 1: Berekening aërobe slibleeftijd	76

VOORWOORD

Door de waterkwaliteitsbeheerders worden grote hoeveelheden bedrijfsgegevens van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) verzameld voor de bedrijfsvoering van de rwzi als geheel of van zijn procesonderdelen.

Centrale opslag en verwerking van jaargegevens vindt plaats door het Centraal Bureau voor de Statistiek, dat deze gegevens verwerkt in zijn jaaroverzichten. Met het bijeenbrengen van de gegevens zijn aanzienlijke kosten gemoeid. Het rendement van deze omvangrijke hoeveelheid veelsoortige gegevens is door het beperkte gebruik echter gering.

In de voorliggende studie is onderzocht welke mogelijkheden de diverse bestanden van bedrijfsgegevens bieden bij het afleiden van procestechnologische relaties tussen procesparameters, en welke knelpunten (betrouwbaarheid, volledigheid en aard van de gegevens) daarbij optreden.

Gezien de actualiteit van de N-verwijdering en de gecompliceerdheid van de daarbij optredende relaties is in het rapport uitsluitend uitwerking gegeven aan de toepassing van de gegevensbestanden bij het afleiden van procestechnologische relaties voor de N-verwijdering.

Het afleiden van relaties naar overige procesvariabelen is in deze studie achterwege gelaten, mede in afwachting van de behoefte bij waterkwaliteitsbeheerders. Er is in algemene zin een route ontwikkeld, die als leidraad kan dienen bij het afleiden van relaties en het omgaan met de bedrijfsgegevens.

Het onderzoek werd uitgevoerd door DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. en begeleid door een commissie bestaande uit ir. P.J.M. Knaapen (voorzitter), ir. Th.P.H. van Cruchten, ir. A.H. Dirkzwager, ir. P. de Jong, ir. P.M. Schlösser en ir. P.C. Stamperius.

Lelystad, december 1990

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

dr. J. de Jong
(voorzitter)

SAMENVATTING

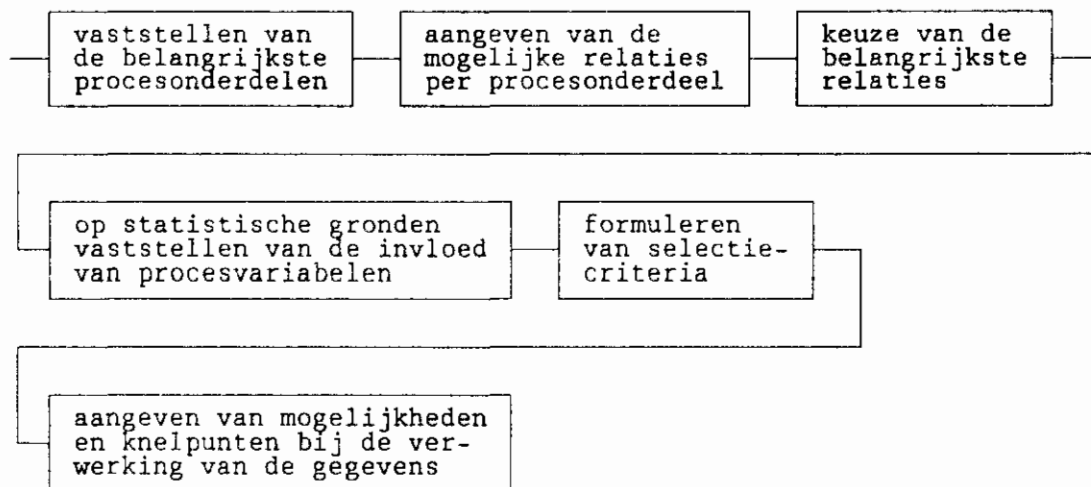
Door de waterkwaliteitsbeheerders worden grote hoeveelheden bedrijfsgegevens van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) verzameld. Deze gegevens worden gebruikt voor de bedrijfsvoering van de rwzi's en hebben onder meer betrekking op het energieverbruik, de slibverwerking, de belasting en de effluentkwaliteit.

Met het verzamelen en verwerken van deze gegevens zijn aanzienlijke kosten gemoeid.

De waterkwaliteitsbeheerders beschikken derhalve over een grote hoeveelheid bedrijfsgegevens. Centrale opslag en verwerking van de jaargegevens (totalen, gemiddelden) vindt plaats door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Daarnaast zijn incidenteel bedrijfsgegevens verwerkt met als doel het vastleggen van specifieke informatie [11, 12].

In deze studie is onderzocht welke mogelijkheden bedrijfsgegevens bieden voor het afleiden van technologische relaties tussen procesparameters en wat hierbij de knelpunten zijn.

De gevolgde methodiek is hieronder schematisch weergegeven:



Na selectie van de procesonderdelen zijn in eerste instantie van de belangrijkste procesonderdelen de technologische relaties tussen de procesparameters weergegeven. Vervolgens is een aantal belangrijke technologische relaties uitgewerkt. De relaties hebben betrekking op de surplus-slibproductie, de effluentkwaliteit, het krachtverbruik van de beluchting, de gasproductie bij de gisting, de indikking van slib en de ontwatering van slib op een zeefbandpers. In de uitwerking is op basis van de theorie aangegeven welke parameters de relatie beïnvloeden. Na deze uitwerking zijn de selectiecriteria geformuleerd die bij de verwerking van de bedrijfsgegevens worden gebruikt.

Door vergelijking van de hiervoor benodigde gegevens en de gewenste betrouwbaarheid met het bestaande gegevensbestand, zijn de mogelijkheden en knelpunten aangegeven bij de verwerking van bedrijfsgegevens tot een procestechnologische relatie.

Deze aanpak is nader uitgewerkt in de toepassing van het gegevensbestand bij het afleiden van procestechnologische relaties voor de N-verwijdering. De N-verwijdering bevat de meeste gecompliceerde relaties, vanwege de afhankelijkheid van een groot aantal procesvariabelen. Toepassing van het gegevensbestand op andere relaties zal naar verwachting eenvoudiger zijn.

Op basis van deze studie is een route ontwikkeld welke als leidraad kan dienen bij het afleiden van relaties en het omgaan met de bedrijfsgegevens.

Hierbij dient vanuit de vraagstelling te worden vastgesteld welke selectie de benodigde informatie zal opleveren, welke selectiecriteria van belang zijn en met welk gegevensbestand moet worden gewerkt: uitgegaan kan worden van onbewerkte bestanden met meetgegevens (daggegevens) of van bewerkte bestanden (gemiddelden of totalen over een bepaalde periode).

Bij de verwerking van bedrijfsgegevens moet worden onderzocht of een verbetering van de correlatie mogelijk is door selectie op basis van de geformuleerde selectiecriteria. Is de vraagstelling algemeen van aard dan zal na selectie een grote hoeveelheid gegevens resterend en een betrouwbare relatie kunnen worden gelegd. Is de vraagstelling zeer specifiek dan zal, door de veelal noodzakelijke verdergaande selectie, de resterende hoeveelheid gegevens beperkt zijn.

Uit de studie is naar voren gekomen dat verwerking met behulp van de computer alléén niet mogelijk is: technologische kennis van het zuiveringsproces is noodzakelijk, met name bij het nemen van de juiste beslissingen bij de verschillende keuzes en het beoordelen van uitkomsten.

In het algemeen bevat het bestaande gegevensbestand voldoende informatie om de relaties tussen procesparameters af te leiden. Indien enkele meetgegevens worden toegevoegd aan het bestand en/of de meetnauwkeurigheid kan worden vergroot, zal de informatievoorziening op basis van het gegevensbestand merkbaar kunnen worden verbeterd. Omdat minder rwzi's buiten beschouwing blijven zijn meer bruikbare gegevens beschikbaar zodat de afgeleide relatie een grotere algemeen geldende waarde krijgt.

INLEIDING

Door de waterkwaliteitsbeheerders worden grote hoeveelheden bedrijfsgegevens van rwzi's verzameld aan de hand van het Nationaal Standaard Programma (NSP), dat de STORA voor de controle van de werking van de rwzi's heeft opgesteld. Deze gegevens worden door de waterkwaliteitsbeheerders gebruikt voor de bedrijfsvoering van de rwzi als geheel of van de verschillende procesonderdelen afzonderlijk.

Verzameling van de gegevens van de rwzi's vindt jaarlijks plaats door het CBS. Een deel van deze gegevens wordt verwerkt tot een jaaroverzicht. Hierin is een aantal belangrijke grootheden over de werking van de rwzi's opgenomen.

Het bedrijfsonderzoek en de verwerking van de gegevens kost jaarlijks naar schatting enige tientallen miljoenen gulden. Het rendement van de verzamelde gegevens is, door het beperkte gebruik, echter gering. Vermoedelijk kan uit deze gegevensbron meer informatie gehaald worden zodat de kennis over de werking van de zuiveringssystemen wordt vergroot. Vergelijking van prestaties, optimalisatie en het verkrijgen van betere ontwerpcriteria zijn hierdoor mogelijk.

Voordat tot doelmatige verwerking van de bedrijfsgegevens overgegaan kan worden zal in eerste instantie op basis van theoretische kennis vastgesteld moeten worden:

- welke grootheden de werking van de zuivering of van de procesonderdelen weergeven
- wat de invloed is van de verschillende procesparameters
- op welke wijze de gegevens geselecteerd moeten worden
- welke bedrijfsgegevens noodzakelijk en/of gewenst zijn bij de verwerking.

Door vergelijking met de beschikbare bedrijfsgegevens kunnen de mogelijkheden en de knelpunten aangegeven worden.

In deze studie zijn deze aspecten voor een aantal procesonderdelen uitgewerkt.

Gevolgd is een werkwijze waarbij eerst de procesonderdelen van waterlijn en de sliblijn onderscheiden zijn. Daarna zijn van een aantal procesonderdelen de dimensioneringsgrondslagen, de procesparameters en de kenmerkende relaties kort weergegeven (hoofdstuk 3). Na selectie zijn de belangrijkste relaties verder uitgewerkt (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 heeft, met behulp van het gegevensbestand, uitwerking van de relaties op basis van de N-verwijdering plaatsgevonden. De evaluatie is in hoofdstuk 6 beschreven.

3 TECHNOLOGISCHE RELATIES

Voor de controle en de procesvoering worden op de rwzi's gegevens verzameld die te onderscheiden zijn in procesresultaten (BZV-effluent, slibproductie e.d.) en in procesomstandigheden (temperatuur, slibbelasting e.d.). Door combinatie van een aantal van deze technologische gegevens wordt een relatie verkregen die informatie geeft over de toestand van het proces.

Zo kan het verloop van het gistingsproces beschreven worden door de relatie tussen de aangevoerde organische drogestof en de afgevoerde organische drogestof weer te geven in de procentuele afbraak. Voor de beschrijving van het zuiveringsresultaat van een actief-slibinstallatie wordt onder andere de relatie tussen de slibbelasting en het BZV van het effluent gebruikt.

Omdat vrijwel altijd meerdere procesparameters het verloop van het proces bepalen, zal bij het weergeven van de relatie ook de informatie van de procesparameters die van invloed zijn, worden aangegeven.

Een belangrijk aspect bij de verwerking van de gegevens tot een relatie is de betrouwbaarheid. Hierbij zijn van belang de nauwkeurigheid waarmee de gegevens op de rwzi tot stand komen en het aantal gegevens dat wordt gebruikt bij de verwerking.

In dit hoofdstuk zijn van een aantal proceseenheden de technologische relaties beschreven.

De waterlijn en de sliblijn zijn onderverdeeld in proceseenheden om vast te stellen welke technologische relaties van belang zijn.

Na een keuze van de belangrijkste procesonderdelen (hoofdstuk 3.1.) is door analyse van de verschillende processen een groot aantal relaties geformuleerd (hoofdstuk 3.2.).

3.1 Keuze van de procesonderdelen

Naast een onderverdeling in de waterlijn en de sliblijn zijn de zuiveringsprocessen onder te verdelen in een aantal op zichzelf staande proceseenheden. Dit zijn proceseenheden met een duidelijk aan te geven functie en een goed te kwantificeren invoer en uitvoer.

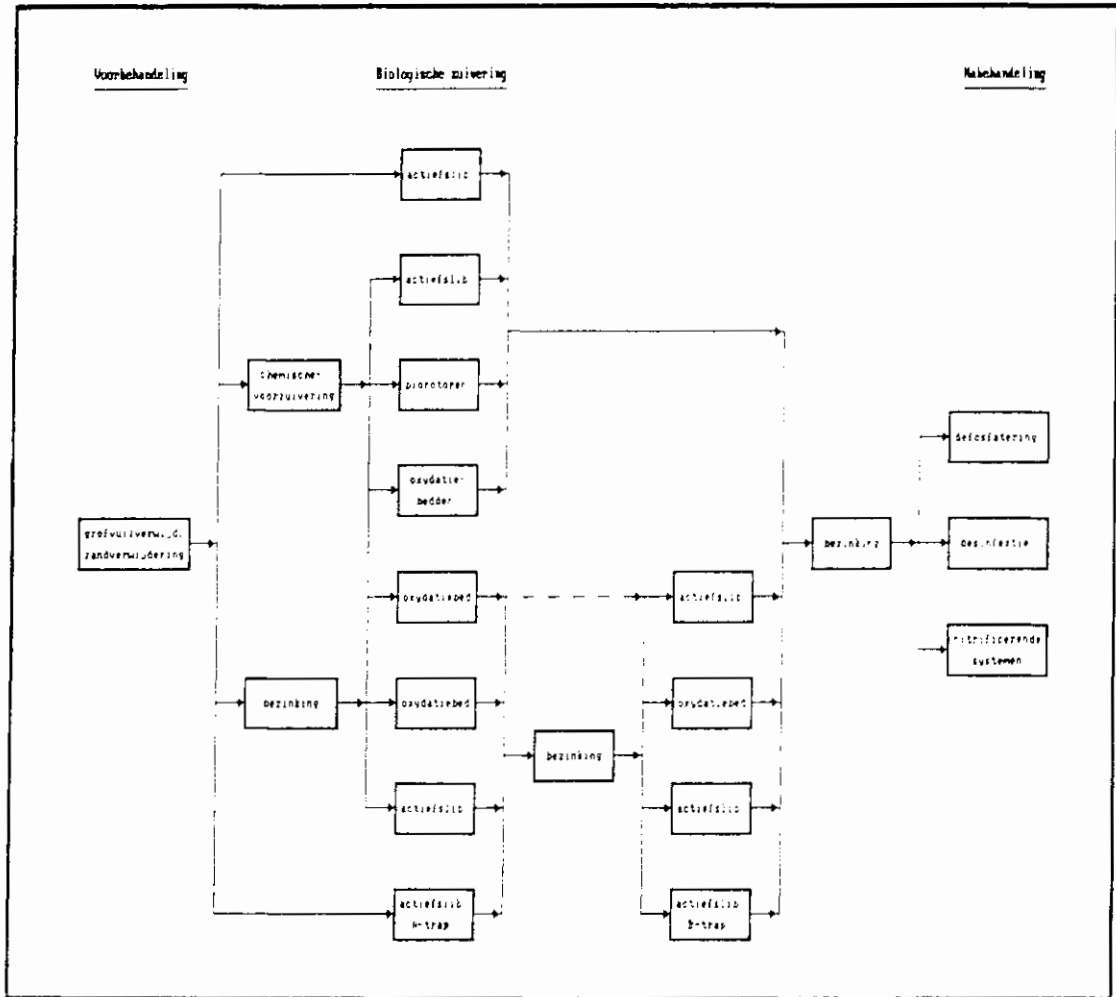
In de schema's 1 en 2 zijn deze verschillende procesonderdelen voor de waterlijn en de sliblijn beschreven.

Voor een verdere uitwerking in hoofdstuk 3.2. is een aantal procesonderdelen geselecteerd.

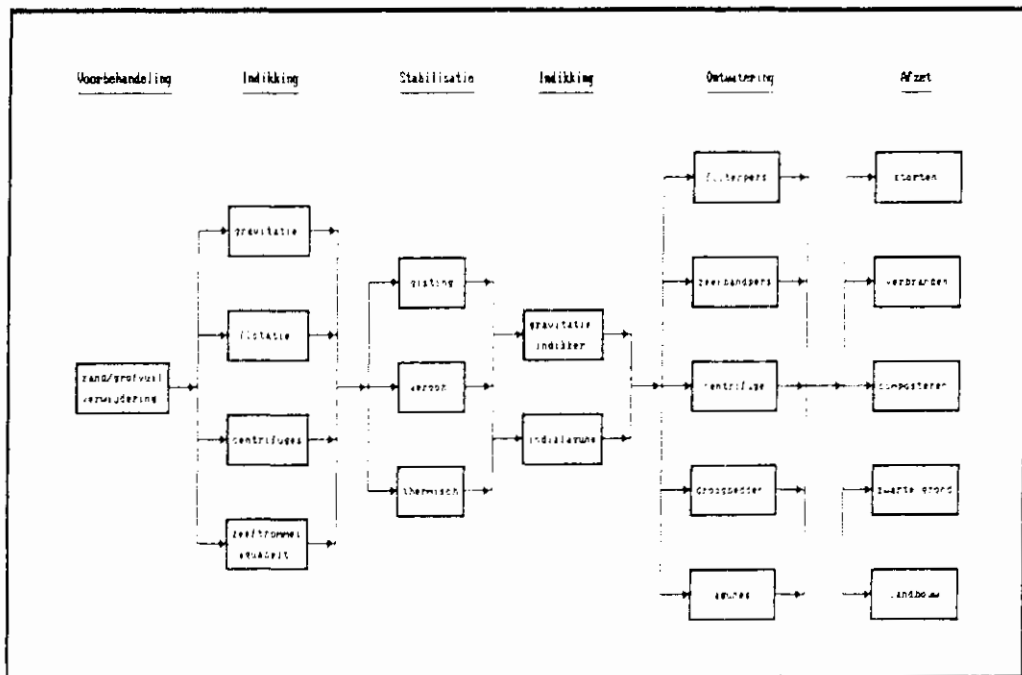
Criteria bij deze selectie zijn:

- Het onderdeel moet veel toegepast worden. Dit is van belang omdat voor een betrouwbaar resultaat bij de verwerking van de bedrijfsgegevens veel cijfermateriaal beschikbaar moet zijn. Het aantal installaties met hetzelfde procesonderdeel en min of meer vergelijkbare omstandigheden moet derhalve niet te klein zijn.
- Het onderdeel moet in de procesvoering mogelijkheden tot optimalisatie hebben.
- Van het onderdeel moeten frequent de bedrijfsgegevens geregistreerd worden. Hierbij is het Nationaal Standaard Bemonsteringsprogramma als richtlijn gehanteerd.

Op basis van deze selectiecriteria is gekozen voor de proceseenheden: voorbezinking, actief-slibproces, oxydatiebed, gravitatie-indinking, slibgisting en ontwatering met de zeefbandpers.



Schema 1 Onderdelen waterlijn



Schema 2 Onderdelen sliblijn

3.2 Vaststelling van belangrijke technologische relaties

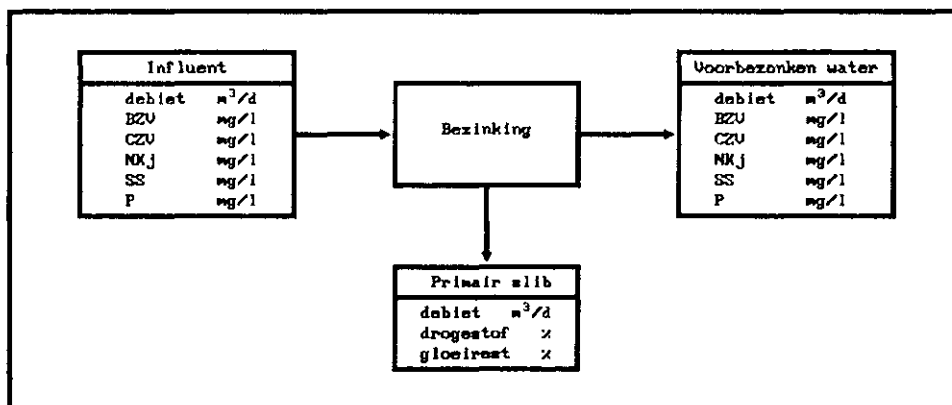
Om inzicht te verkrijgen in de technologische relaties is van de in hoofdstuk 3.1 gekozen procesonderdelen een procesbeschrijving weergegeven. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in de volgende aspecten: het proces, het doel van het proces, de in- en uitvoerstromen, de dimensioneringsgrondslagen, de regelbare en niet regelbare procesparameters en de procescontrole-parameters. Daarna zijn de belangrijkste relaties tussen de verschillende procesparameters geformuleerd.

3.2.1 Procesonderdeel voorbezinking

Proces : verwijdering van afbreekbare en niet-afbreekbare stoffen uit afvalwater door afscheiding van deeltjes door bezinking

Doel : verlaging van de belasting van de biologische zuivering

Blokschema in- en uitvoer



Dimensioneringsgrondslagen

1. oppervlaktebelasting
2. hydraulische verblijftijd
3. mesbelasting
4. lengte/breedteverhouding (rechthoekige tanks)
5. Reynolds- en Froude-getallen (rechthoekige tanks)

Regelbare procesparameters

-

Niet regelbare procesparameters

1. debiet
2. temperatuur

Procescontroleparameters

1. debiet
2. bezinkbare onopgeloste bestanddelen in voorbezonden water
3. totale onopgeloste bestanddelen in voorbezonden water

Relaties

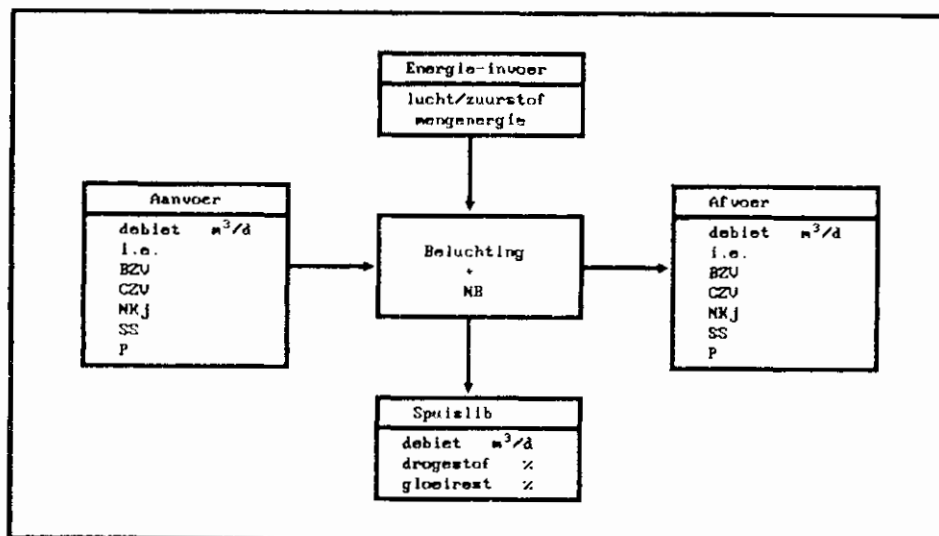
1. procentuele verwijdering bezinkbare onopgeloste bestanddelen - oppervlaktebelasting
2. procentuele verwijdering bezinkbare onopgeloste bestanddelen - hydraulische verblijftijd
3. procentuele verwijdering bezinkbare onopgeloste bestanddelen - aangevoerde totale onopgeloste bestanddelen
4. procentuele verwijdering totale onopgeloste bestanddelen - oppervlaktebelasting
5. procentuele verwijdering totale onopgeloste bestanddelen - hydraulische verblijftijd
6. procentuele verwijdering totale onopgeloste bestanddelen - aangevoerde totale onopgeloste bestanddelen
7. (procentuele) verwijdering totale zwevende stof - (procentuele) verwijdering CZV, BZV, Nkj, P

NB: Deze uitwerking is niet gericht op voorbezinking met dosering van vlokmiddelen ten behoeve van een verhoging van het bezinkingsrendement of defosfatering.

3.2.2 Procesonderdeel actief-slibbeluchtingstank (één trap) + nabezinking

Proces : - biologische afbraak en omzetting van organische- en stikstof-verbindingen onder aërobe condities door actiefslib
- bij zeer laagbelaste systemen gecombineerd met een aërobe slibstabilisatie

Doel : verwijdering van afbreekbare en niet afbreekbare stoffen uit afvalwater

Blokschema in- en uitvoer

Dimensioneringsgrondslagen

1. slibbelasting/slibleeftijd
2. temperatuur
3. uitvoeringsvorm beluchtingstank
4. hydraulische verblijftijd
5. zuurstofinbrengcapaciteit
6. uitvoeringsvorm beluchting

Regelbare procesparameters

2. zuurstofinbreng
3. slibgehalte
4. uitvoeringsvorm (invoerpunt infl. - retourslib)
5. recirculatiedebiet
6. pH

Niet regelbare procesparameters

1. debiet
1. aangevoerde vrachten BZV, CZV, NKj, onopgeloste bestanddelen, P
2. samenstelling influent (toxische stoffen)
3. Slibvolume-index (SVI)
4. temperatuur

Procescontroleparameters

1. debiet
2. zuurstofgehalte
3. slibgehalte
4. Slibvolume-index (SVI)
5. effluentkwaliteit
6. pH

Relaties

- | | | | |
|-----|--|---|---|
| 1. | slibbelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | effluent BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 2. | slibbelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | procentuele verwijdering
BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 3. | ruimtebelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | effluent BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 4. | ruimtebelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | procentuele verwijdering
BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 5. | slibleeftijd | - | effluent BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 6. | slibleeftijd | - | procentuele verwijdering
BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 7. | BZV-effluent | - | onopgeloste bestanddelen-effluent |
| 8. | krachtverbruik | - | procentuele afname aantal i.e. |
| 9. | krachtverbruik | - | procentuele afname TZV |
| 10. | krachtverbruik | - | procentuele afname TZV
gecorrigeerd voor NO ₃ |
| 11. | slibproduktie | - | verwijderde BZV of CZV |
| 12. | slibproduktie | - | verwijderde N of P |
| 13. | slibproduktie | - | slibbelasting |
| 14. | slibproduktie | - | slibleeftijd |
| 15. | slibleeftijd | - | gloeirest |

- | | | |
|-------------------|---|------------------------------|
| 16. slibbelasting | - | gloeirest |
| 17. temperatuur | - | effluent BZV, CZV, Nkj, Ntot |
| 18. temperatuur | - | procentuele verwijdering |
| 19. temperatuur | - | slibproductie |
| 20. temperatuur | - | gloeirest |

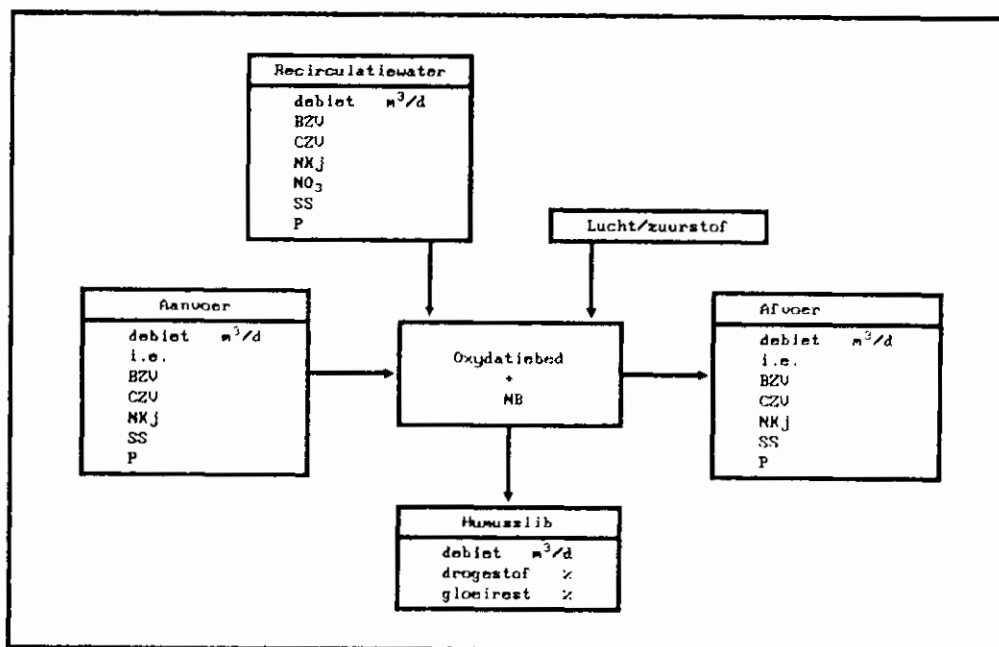
N.B. Deze uitwerking is niet gericht op simultane defosfatering.

3.2.3 Procesonderdeel oxydatiebed (één traps) + nabezinking

Proces : biologische afbraak en omzetting van organische- en stikstofverbindingen onder aërobe condities aan een biofilm gehecht op vast dragermateriaal

Doel : verwijdering van afbreekbare en niet afbreekbare stoffen uit afvalwater

Blokschema in- en uitvoer



Dimensioneringsgrondslagen

1. volumebelasting
2. temperatuur
3. uitvoeringsvorm (hoogte + type vulmateriaal)
4. recirculatieverhouding
5. hydraulische oppervlaktebelasting
6. zuurstofinbrengcapaciteit (afgedekte bedden)
7. draaisnelheid sproei-armen

Regelbare procesparameters

1. recirculatie-debiet
2. zuurstofinbreng (overdekte bedden)
3. draaisnelheidsproei-armen (alleen bij mechanische aandrijving)

Niet regelbare procesparameters

1. debiet
2. aangevoerde vrachten BZV, CZV, NKj, zwevende stof, P
3. samenstelling aangevoerd water (toxische stoffen)
4. temperatuur
5. zuurstofinbreng (niet overdekte bedden)
6. draaisnelheid sproei-armen (bij hydraulische voortstuwing)

Procescontroleparameters

1. debiet/recirculatiedebiet
2. effluentkwaliteit

Relaties

- | | | | |
|-----|--|---|---|
| 1. | volumebelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | effluent BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 2. | volumebelasting
(BZV of CZV of NKj) | - | procentuele verwijzering BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 3. | volumebelasting | - | gloeirest |
| 4. | oppervlaktebelasting- | - | effluent BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 5. | oppervlaktebelasting- | - | procentuele verwijdering BZV, CZV, NKj, Ntot |
| 6. | temperatuur | - | effluent BZV, CZV, NKj, N tot |
| 7. | temperatuur | - | procentuele verwijdering BZV, CZV, NKj, N tot |
| 8. | recirculatie-
verhouding | - | effluent BZV, CZV, NKj |
| 9. | recirculatie-
verhouding | - | procentuele verwijdering BZV, CZV, NKj |
| 10. | BZV of CZV of NKj-
of P-influent | - | BZV of CZV of NKj- of P-effluent |
| 11. | BZV-effluent | - | onopgeloste bestanddelen-effluent |
| 12. | slibproductie | - | volumebelasting |
| 13. | slibproductie | - | verwijderde BZV of CZV |
| 14. | slibproductie | - | verwijderde N of P |

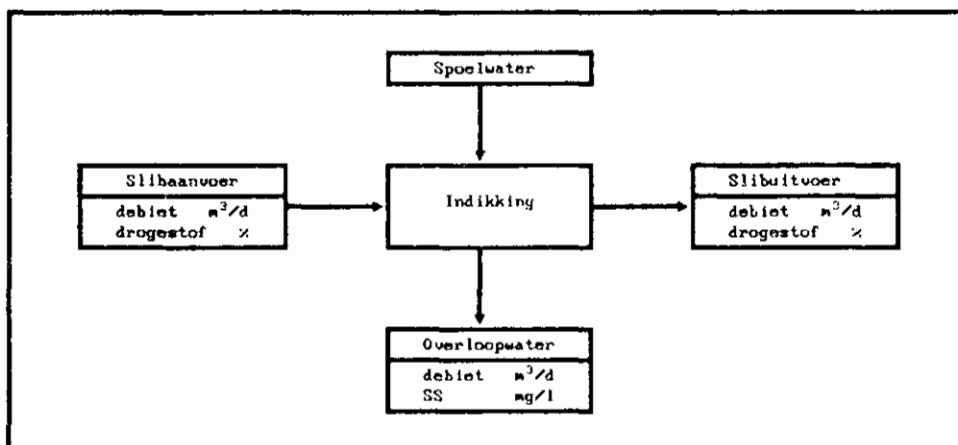
3.2.4 Procesonderdeel indikkers (gravitatie)

Proces : concentreren van de drogestof in de slibmassa door verwijdering van vrij water onder invloed van de zwaartekracht

Doel : verkleining van het slibvolume

Dimensioneringsgrondslagen

1. drogestofoppervlaktebelasting
2. verblijftijd
3. slibsoort
4. chemicaliëndosering
5. spoelwaterdebiet
6. hoogte van de slibspiegel

Blokschema in- en uitvoerRegelbare procesparameters

1. verblijftijd/slibspiegelhoogte
2. poly-electrolietdosering
3. spoelwaterdebiet

Niet regelbare procesparameters

1. debiet/drogestofaanvoer
2. slibsoort (waaronder SVI en gloeirest)
3. temperatuur/viscositeit

Procescontroleparameters

1. eind drogestof
2. onopgeloste bestanddelen in overloopwater
3. debiet
4. drogestofaanvoer

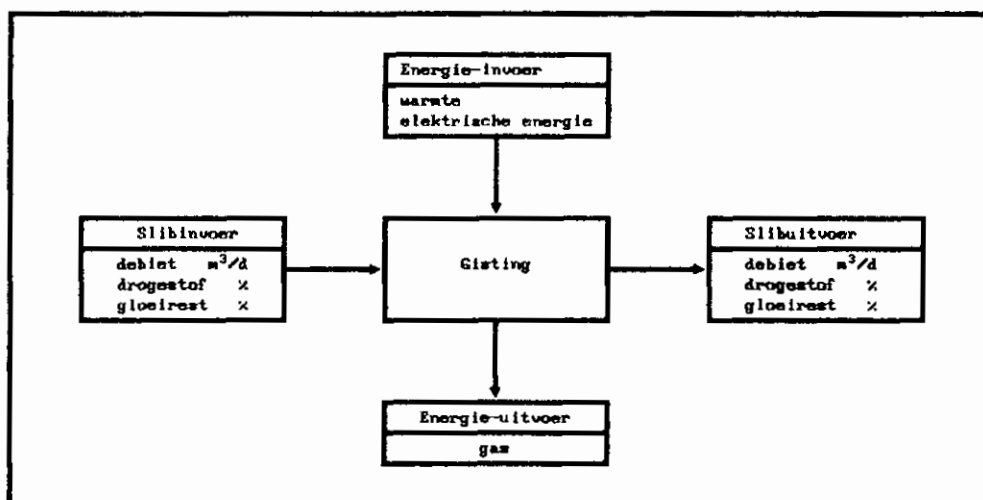
Relaties

- | | | |
|-------------------------|---|-------------------------------|
| 1. einddrogestofgehalte | - | drogestofoppervlaktebelasting |
| 2. einddrogestofgehalte | - | slibspiegelhoogte |
| 3. einddrogestofgehalte | - | verblijftijd slib |
| 4. einddrogestofgehalte | - | slibsoort (herkomst) |
| 5. einddrogestofgehalte | - | SVI |
| 6. einddrogestofgehalte | - | begin drogestofgehalte |
| 7. einddrogestofgehalte | - | gloeirest |
| 8. einddrogestofgehalte | - | poly-electrolietdosering |
| 9. einddrogestofgehalte | - | spelen |

3.2.5 Procesonderdeel slibgisting (ééntraps)

Proces : anaërobe afbraak van organische stof

Doel : - verkrijgen van niet-rotbaar slib
 - gasproductie (eigen energievoorziening)
 - verkrijgen van beter ontwaterbaar slib
 - reductie hoeveelheid slib

Blokschema in- en uitvoerDimensioneringsgrondslagen

1. temperatuur
2. hydraulische verblijftijd
3. mengenergie/menging
4. drogestofbelasting

Regelbare procesparameters

1. debiet
2. temperatuur
3. menging

Niet-regelbare procesparameters

1. gloeirest ingevoerd slib
2. samenstelling ingevoerd slib

Procescontroleparameters

1. gasproductie
2. CO₂-gehalte of calorische waarde van het gas
3. pH, gehalte aan vluchtige vetzuren, alkaliteit

Relaties

- | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| 1. gehalte o.d.s. in uitgegist slib | - | gehalte o.d.s. in vers slib |
| 2. gehalte o.d.s. in uitgegist slib | - | verblijftijd |
| 3. gehalte o.d.s. in uitgegist slib | - | temperatuur |
| 4. afbraakpercentage | - | gehalte o.d.s. in vers slib |
| 5. afbraakpercentage | - | verblijftijd |
| 6. afbraakpercentage | - | temperatuur |
| 7. afbraakpercentage | - | o.d.s. belasting |
| 8. gasproductie | - | ingevoerde d.s. of o.d.s. |

- | | | |
|------------------|---|-------------------|
| 9. gasproduktie | - | afgebroken o.d.s. |
| 10. gasproduktie | - | verblijftijd |
| 11. gasproduktie | - | temperatuur |

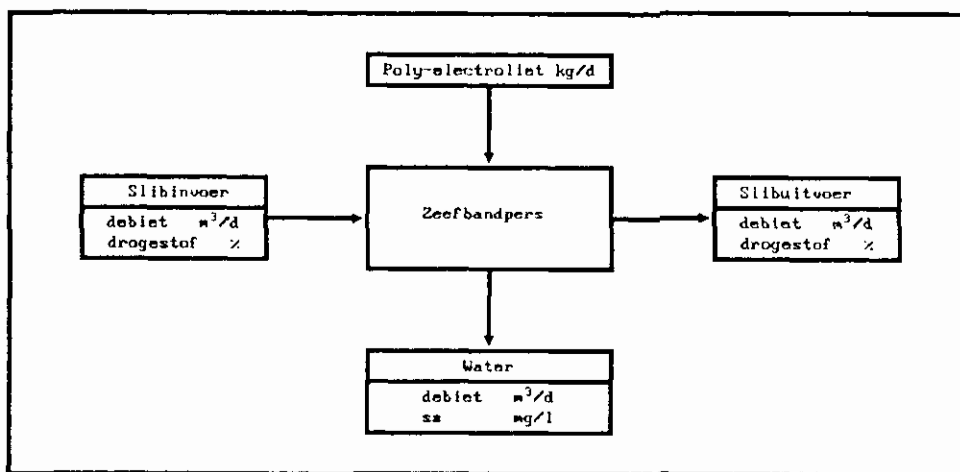
* o.d.s. = organische drogestof

3.2.6 Procesonderdeel zeefbandpers

Proces : het met behulp van poly-electroliet onder lage druk ontwateren van slib

Doel : verkleining van het slibvolume

Blokschema in- en uitvoer



Dimensioneringsgrondslagen

1. hydraulische belasting en/of drogestofbelasting
2. poly-electrolietdosering
3. slibsoort
4. type poly-electroliet (fabrikaat)
5. vlokvormingstijd
6. bandbreedte
7. bedrijfstijd

Regelbare procesparameters

1. debiet/drogestofaanvoer
2. poly-electrolietdosering
3. bandsnelheid
4. vlokvormingstijd (afhankelijk van systeem)

Niet regelbare procesparameters

1. slibsoort
2. vlokvormingstijd

Procescontroleparameters

1. einddrogestofgehalte
2. onopgeloste bestanddelen in "overloopwater"
3. poly-electroliet in "overloopwater"
4. debiet/drogestofaanvoer
5. poly-electrolietdosering

Relaties

- | | | | |
|-----|---|---|--|
| 1. | einddrogestofgehalte | - | slibsoort |
| 2. | einddrogestofgehalte | - | gloeirest |
| 3. | einddrogestofgehalte | - | poly-electrolietdosering |
| 4. | einddrogestofgehalte | - | hydraulische/drogestofbelasting |
| 5. | einddrogestofgehalte | - | bandsnelheid |
| 6. | einddrogestofgehalte | - | aangevoerde drogestof |
| 7. | einddrogestofgehalte | - | vlokvormingstijd |
| 8. | poly-electroliet-
dosering | - | slibsoort |
| 9. | poly-electroliet-
dosering | - | gloeirest |
| 10. | poly-electroliet-
dosering | - | onopgeloste bestanddelen in
overloopwater |
| 11. | poly-electroliet-
dosering | - | poly-electroliet in overloopwater |
| 12. | hydraulische belasting/
drogestofbelasting | - | slibsoort |
| 13. | hydraulische belasting/
drogestofbelasting | - | gloeirest |

UITWERKING TECHNOLOGISCHE RELATIES

Op basis van de gekozen procesonderdelen is een aantal technologische relaties geselecteerd. Selectie heeft plaatsgevonden op basis van dezelfde criteria als welke zijn gehanteerd bij de keuze van de belangrijkste procesonderdelen. Al deze relaties worden veel gebruikt bij de dimensionering en bedrijfsvoering van rwzi's.

In dit hoofdstuk zijn als technologische relaties uitgewerkt:

- de specifieke slibproductie. Deze parameter is van groot belang bij de dimensionering van de waterlijn en van de sliblijn, in verband met de nitrificatie, stabilisatie, de ontwatering en de verdergaande slibverwerking;
- de effluentkwaliteit en de belasting van actief-slibinstallaties. Deze relatie wordt veelvuldig gebruikt bij de dimensionering van de installatie, de toetsing van de bereikte effluentkwaliteit en bij het vaststellen van lozingseisen;
- het krachtverbruik en het zuiveringsresultaat. Zowel in de dagelijkse bedrijfsvoering als bij de vergelijking van verschillende beluchtingssystemen is deze relatie van belang. Een toename van het krachtverbruik in relatie tot het zuiveringsrendement is een indicatie van bijvoorbeeld de vervuiling van beluchtingselementen. Bij de keuze van verschillende soorten beluchtingssystemen is het benodigde energieverbruik onder praktijkcondities van belang;
- de gasproductie en de belasting van de gisting of de afbraak van de organisch drogestof
- einddrogestofgehalte na indikking en de slibsoort. Het goed voorspellen van het te verwachten einddrogestofgehalte na indikking is van groot belang voor de dimensionering van opvolgende procesonderdelen als slibgisting en verdergaande ontwatering. Het is derhalve noodzakelijk te beschikken over bedrijfsresultaten in relatie tot de procesparameters, waarvan de slibsoort de belangrijkste is;
- einddrogestofgehalte van de zeefband en de slibsoort.

Bij de uitwerking van de relaties in dit hoofdstuk is, om een goed inzicht te hebben in alle aspecten die betrekking hebben op de relatie, een procesbeschrijving opgenomen. Daarna wordt, indien er meerdere mogelijkheden bestaan, ingegaan op de verschillende parameters die voor de beschrijving van de relaties gebruikt kunnen worden.

Om de criteria te formuleren die bij de selectie van de bedrijfsgegevens gebruikt moeten worden, wordt de invloed van de verschillende procesparameters aangegeven. Daarna zijn op basis van de theoretische beschouwingen de selectiecriteria aangegeven. Omdat een cijfermatige onderbouwing ontbreekt, is het meestal niet mogelijk bij de genoemde criteria ook waarden op te geven. Op zich is dit geen probleem omdat bij de verwerking van de bedrijfsgegevens met de computer, waarden voor de selectiecriteria eenvoudig te wijzigen zijn.

Om aan te geven wat de mogelijkheden zijn om met het huidige bestand aan bedrijfsgegevens de relatie te onderbouwen worden in dit hoofdstuk de mogelijkheden en knelpunten genoemd. Hierbij is ingegaan op de bruikbaarheid van het huidige bestand, de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gezochte relatie, het verbeteren hiervan door middel van selectie, de beperkingen in het gebruik van de huidige gegevens en de mogelijke verbetering hiervan.

Onder het huidige gegevensbestand wordt verstaan het totaal aan meetgegevens. Vanuit dit gegevensbestand kunnen door bewerking andere gegevensbestanden worden opgebouwd (o.a. CBS).

Vanuit de vraagstelling dient te worden beoordeeld van welk bestand gebruik zal worden gemaakt. Voor het gebruik van bewerkte gegevensbestanden geldt dat bekend moet zijn of er is geselecteerd en op welke wijze deze selectie heeft plaatsgevonden.

4.1 De relatie tussen de slibproductie en het verwijderde BZV

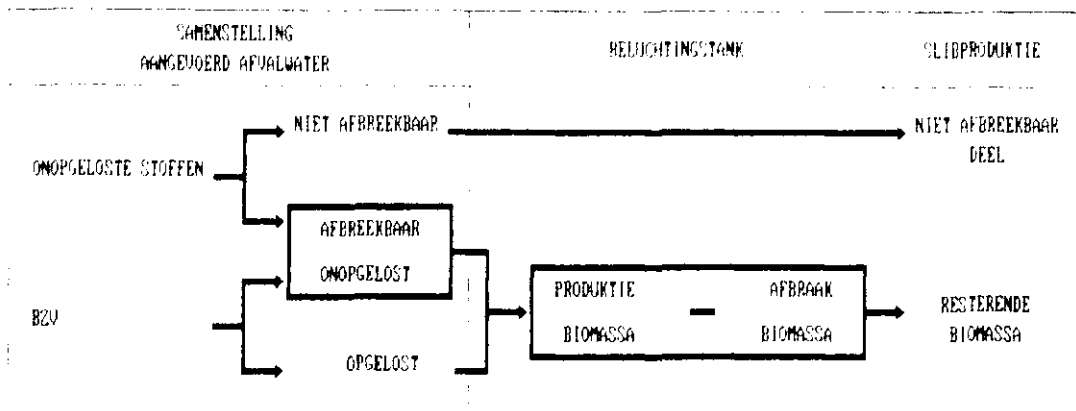
4.1.1 Inleiding

Deze relatie wordt uitgedrukt als de "specifieke slibproductie" en is als ontwerpparameter van groot belang bij de dimensionering van waterlijn en sliblijn. Bij de waterlijn wordt de specifieke slibproductie gebruikt voor de berekening van de slibleeftijd, die bepalend is voor de slibstabilisatie en de nitrificatie. In de sliblijn wordt de dimensionering van een aantal procesonderdelen bepaald door de hoeveelheid surplusslib.

4.1.2 Procesbeschrijving

Bij de biologische zuivering van het afvalwater wordt slib geproduceerd.

Deze slibproductie is het resultaat van een aantal verschillende biologische processen die in sterke mate afhankelijk zijn van de procesomstandigheden en de samenstelling van het aangevoerde afvalwater. Onderstaand is sterk vereenvoudigd weergegeven op welke wijze de slibproductie is opgebouwd.



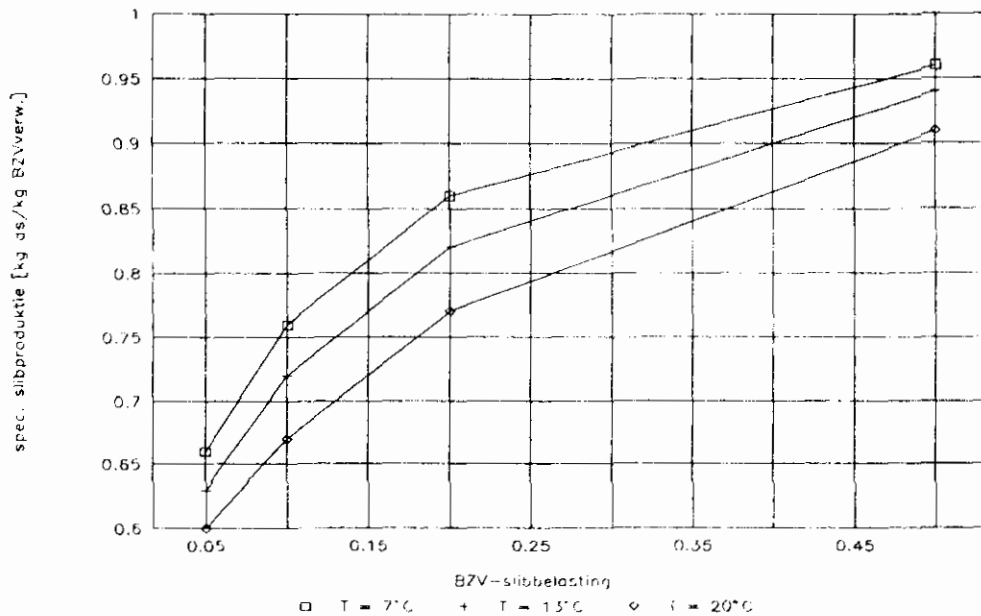
Schema 3 Slibproductie

Een belangrijke conclusie uit dit schema is, dat de slibproductie niet alleen afkomstig is uit het BZV maar dat een deel afkomstig is van de niet afbreekbare fractie van de onopgeloste stoffen in de aanvoer naar de beluchtingstank.

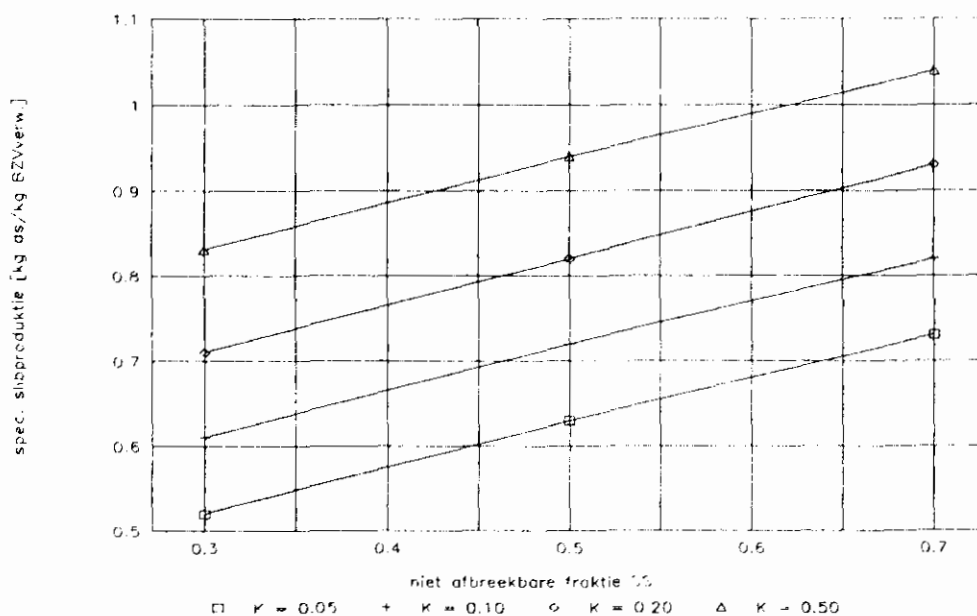
4.1.3 Procesbepalende parameters

De surplusslibproductie is opgebouwd uit de niet afbreekbare fractie van de aangevoerde onopgeloste stoffen en de biomassa welke geproduceerd is uit het BZV en het afbreekbare deel van de onopgeloste stof-

fen. Van invloed op het eerste is alleen de niet-afbreekbare fractie zelf. De geproduceerde biomassa is naast de aangevoerde onopgeloste stoffen en het BZV nog afhankelijk van de slibbelasting of de slibleef-tijd en de temperatuur. Hoe lager de slibbelasting of hoe hoger de slibleef-tijd, des te groter is de afbraak van de geproduceerde biomassa en daarmee des te lager is de surplusslibproductie. Omdat de afbraak van de biomassa afhankelijk is van de temperatuur wordt ook de surplusslibproductie beïnvloed door de temperatuur. Een toename van de temperatuur leidt tot een afname van de slibproductie. Deze relaties zijn in de grafieken 1 en 2 weergegeven. Voorwaarde voor een regelmatig verloop van deze processen is een voldoende hoog zuurstofgehalte.



Figuur 1 Specifieke slibproductie als functie van de slibbelasting (Chudoba [4])



Figuur 2 Specifieke slibproductie als functie van de niet-afbreekbare fractie van de onopgeloste stoffen (Chudoba [4])

4.1.4 Selectiecriteria

Selectiecriteria bij de bepaling van de specifieke slibproductie zijn:

- de slibbelasting of slibleeftijd: de verschillende slibbelastingen of slibleeftijden moeten onderscheiden worden.
- de watertemperatuur: gezien het effect is het voldoende uit te gaan van temperatuurtrajecten, waarbij een temperatuurverschil van 3-5°C kan worden aangehouden.
- de niet-afbreekbare fractie van de onopgeloste stoffen in het aangevoerde water: de invloed hiervan is dermate groot dat onderverdeling in stappen van circa 0,1 noodzakelijk is.
- het zuurstofgehalte: dit moet groter zijn dan 1-2 mg/l. Bij zeer laag belaste systemen groter dan 0,5 mg/l.
- het industriële aandeel: rwzi's met een belangrijk aandeel industrieel afvalwater moeten bij de selectie nader worden onderzocht. Er moet worden gelet op de mogelijke aanwezigheid van stoffen die het biologisch afbraakproces remmen.

4.1.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens

Deze relatie is met de gegevens uit het bestaande bestand goed aan te geven, omdat zowel de slibproductie als het verwijderd BZV frequent wordt gemeten.

De betrouwbaarheid van de relatie wordt in belangrijke mate bepaald door de nauwkeurigheid waarmee de surplusslibproductie wordt gemeten. Omdat dit op een aantal rwzi's onvoldoende nauwkeurig gebeurt, dient dit aspect bij de selectie van de gegevens te worden betrokken. Gezien de invloed van de verschillende parameters zal voor een goede correlatie vergaand moeten worden geselecteerd. De belangrijkste selectiecriteria zijn de slibbelasting of de slibleeftijd, de aangevoerde onopgeloste stoffen, de fractie niet-afbreekbare onopgeloste stoffen, het aangevoerde opgeloste BZV en de temperatuur. De slibproductie dient te worden gecorrigeerd voor de met het effluent afgevoerde drogestof. Uitgezonderd de niet-afbreekbare fractie van de onopgeloste stoffen en het aangevoerde opgelost BZV, worden de parameters frequent gemeten op de rwzi's. Zo lang hiervan geen gegevens beschikbaar zijn, kan worden uitgegaan van de in de literatuur beschreven waarden. Het effect van industrieel afvalwater, lange persleidingen, voorbezinking en temperatuur dient hierbij in beschouwing te worden genomen. Bij een uitbreiding van het meetprogramma verdient het aanbeveling het aandeel niet-opgeloste stof in het influent te meten, hiervan de fractie niet-afbreekbaar te bepalen en het aandeel opgelost BZV (filtraat BZV) te meten.

4.2 Relatie tussen de effluentkwaliteit en de belasting van actief-slibinstallaties

Deze relatie is voor wat betreft de effluentkwaliteit te onderscheiden in een aantal waterkwaliteitsparameters waarvan het BZV, het CZV en het NKj de belangrijkste zijn. Als maatgevende parameters voor de belasting van het systeem kan gekozen worden tussen de ruimtebelasting, de slibbelasting (BZV, CZV, N) en de slibleeftijd.

Omdat de groeiselheid bij de verwijdering van het NKj een veel nadrukkelijker rol speelt dan bij de verwijdering van het BZV of CZV worden de relaties gescheiden besproken.

4.3 Relatie BZV/CZV van het effluent met de belasting

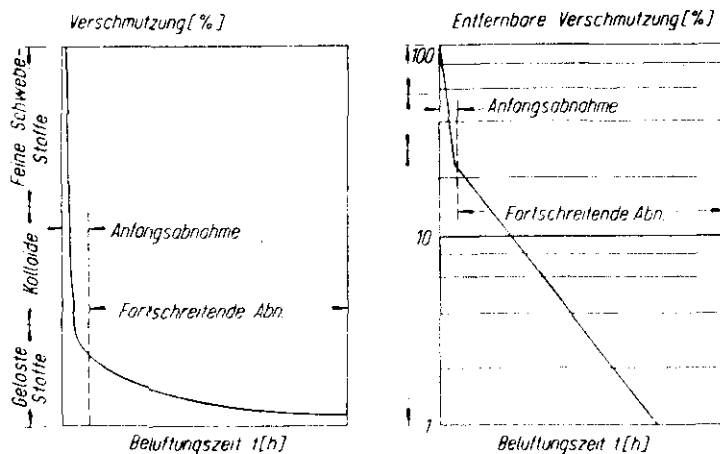
4.3.1 Procesbeschrijving

Bij het zuiveringsproces kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- een beginafname waarin voornamelijk adsorptie en opslag van de verontreinigingen plaatsvindt. Dit proces duurt ongeveer 10 minuten
- een vervolgafname waarin voornamelijk verwijdering van organische stoffen plaatsvindt door omzetting in nieuw celmateriaal, CO₂ en water.

De grootte van de afname aan het begin is afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater, met name de verhouding tussen opgeloste stoffen en zwevend en colloïdaal materiaal. Daarnaast speelt ook de activiteit van het slib een belangrijke rol. In figuur 3 is deze afname weergegeven.

Gedurende de vervolgafname moeten de opgenomen en geadsorbeerde verontreinigingen omgezet of afgebroken worden om de activiteit van de bacteriën te handhaven. Is deze verwijdering onvoldoende dan neemt ook de beginopname af.



Figuur 3 Afname (verwijderbare) vervuilingswaarde versus beluchtingstijd

Maatgevende parameters voor de beschrijving van de belasting

In de literatuur wordt voor de relatie tussen de effluentkwaliteit en de belasting uitgegaan van de ruimtebelasting, de slibbelasting en de slibleeftijd. Hoewel deze parameters nauw aan elkaar verwant zijn, is het niet zo dat ze alle het biologisch proces op dezelfde manier beschrijven

De ruimtebelasting is gelijk aan het per m³ beluchtingstank toegevoegde BZV of CZV. Hiermee wordt dus informatie gegeven over de concentratie van de verontreiniging.

Bij deze relatie ontbreekt het verband met de aanwezige biomassa, doordat alleen wordt uitgegaan van het volume voor de beluchtingstank.

Om deze reden is deze relatie alleen bruikbaar bij een vergelijking tussen systemen met een vergelijkbaar slibgehalte. In met name de Duitse literatuur wordt de relatie tussen de ruimtebelasting en het BZV in het effluent gebruikt.

In de slibbelasting is het toegevoerde BZV/CZV betrokken op de aanwezige hoeveelheid slib. Het bezwaar is dat de hoeveelheid slib niet overeenkomt met de actieve biomassa. Deels niet omdat een fractie van het slib uit anorganische stof bestaat en deels niet omdat niet alle organische stof uit actieve biomassa bestaat. Het eerste probleem is te ondervangen wanneer de slibbelasting betrokken wordt op het organische deel van het slib. Het aangeven van het actieve deel is alleen mogelijk met ingewikkelde technieken en derhalve in de praktijk niet bruikbaar. Het zal duidelijk zijn dat naast de samenstelling van het afvalwater, de actieve biomassa afhankelijk is van de voorbehandeling van het afvalwater (voorbezinking, A-trap, oxydatiebed). De relatie tussen de BZV-slibbelasting en het BZV/CZV in het effluent wordt in de literatuur veel gebruikt [2], [11], [12].

De slibleeftijd is gelijk aan de totale hoeveelheid slib in het systeem gedeeld door de hoeveelheid surplus-slib. Wanneer uitgegaan wordt van een homogene samenstelling van het slib maakt het niet uit welk deel actief is en welk deel niet. De verhouding blijft immers gelijk. Hierdoor is, theoretisch gezien, de slibleeftijd het meest geschikt om de belasting van de installatie te beschrijven. In de literatuur wordt de relatie tussen het BZV of CZV in het effluent en de slibleeftijd echter zelden beschreven. Een referentiekader ontbreekt derhalve. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk gelegen in een relatief ingewikkelde en vaak onnauwkeurige meetmethode voor de bepaling van de slibleeftijd. Om deze redenen is de relatie met de slibbelasting in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

Problemen bij de definiëring van de slibbelasting

In het voorgaande hoofdstuk is het onderscheid tussen het organisch slibgehalte en de actieve biomassa gemaakt. Verdere onduidelijkheden bij de definiëring van de slibbelasting worden veroorzaakt door:

- de ongelijkmatige aanvoer van het BZV en CZV in de tijd
- de bepaling van de hoeveelheid slib. Wisselende slibgehalten in de beluchtingstanks en het niet meerekenen van het slib in de nabezinktanks zijn hiervan de oorzaak.

Problemen bij de definiëring van BZV en CZV in het effluent

In het effluent komt naast de opgeloste stoffen ook slib voor, dat in belangrijke mate kan bijdragen aan het totale BZV en CZV in het effluent.

Voor Nederlandse rwzi's is het verband tussen het slibgehalte en het BZV onderzocht door Trentelman [12] en door STORA [11].

Trentelman leidde de volgende relaties af:

slibbelasting 0,06 : BZV : $3,0 + 0,26.SS$

slibbelasting 0,1 - 0,15 : BZV : $5,9 + 0,47.SS$

De correlatiecoëfficiënten zijn echter laag.

STORA stelde vast dat een goede correlatie gevonden wordt wanneer geselecteerd wordt naar type rwzi in plaats van op slibbelasting.

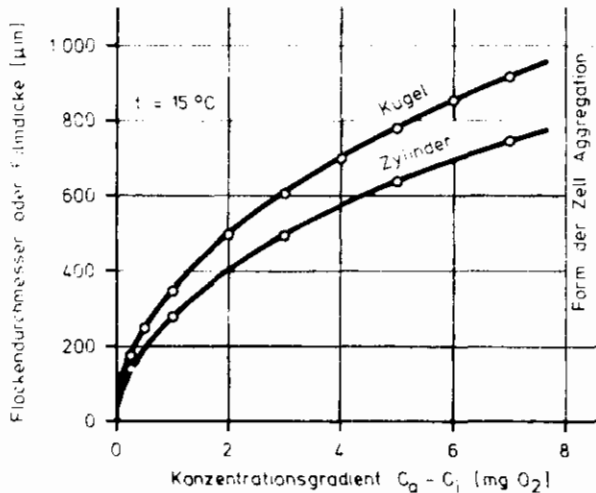
De hoogte van het gehalte in het effluent is voornamelijk afhankelijk van de oppervlaktebelasting van de nabezinktanks en van de slibindex. De slibindex kan zowel een positieve als een negatieve invloed hebben op het slibgehalte in het effluent.

Een zeer lage slibindex zal niet tot overstort leiden, maar door het ontbreken van draadvormige bacteriën zal geen filterende werking voor kleine slibdeeltjes plaatsvinden en kan het slibgehalte in het effluent alsnog hoog zijn. Bij een hoge slibindex is de kans op meespoeling van het slib groter.

4.3.2 Procesbepalende parameters

Van invloed op het zuiveringsproces zijn naast de slibbelasting: het zuurstofgehalte, de verblijftijd, de samenstelling van het afvalwater, de temperatuur, de menging of turbulentie en de pH. Deze parameters zijn veelal niet onafhankelijk van elkaar zodat verandering van de één gevolgen heeft voor de ander. In dit hoofdstuk zijn van deze parameters de belangrijkste aspecten besproken om er rekening mee te kunnen houden bij de beoordeling van de relatie tussen BZV en CZV van het effluent en de slibbelasting.

Zuurstofgehalte: wanneer alle organismen in de vlok in het stofwisselingsproces deel moeten nemen moet zuurstof door diffusie tot in het centrum van de vlok door kunnen dringen. Deze diffusie is afhankelijk van de concentratiegradiënten, de temperatuur, de vlokform en de afmeting. In figuur 4 is dat verband weergegeven.



Figuur 4 De zuurstofgradiënt als functie van de vlokafmeting [6]

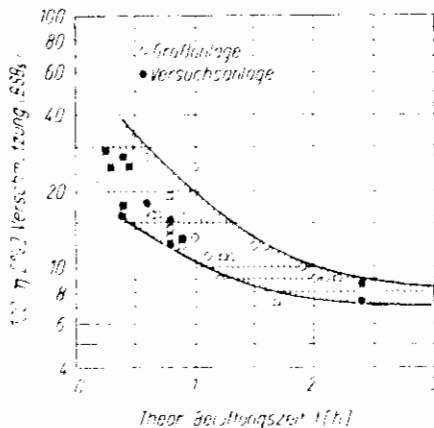
In dit voorbeeld bedraagt de concentratiegradiënt 2 mg O₂/l voor bolvormig actiefslib met een gemiddelde diameter van 500 µm. Bij een gewenste concentratie in het centrum van de vlok (C_1) van 0,1 mg/l moet het zuurstofgehalte buiten de vlok gelijk zijn aan 2,1 mg/l. Bij hogerbelaste systemen is het zuurstofverbruik in de vlok groter dan bij laagbelaste systemen. De benodigde zuurstofconcentratie zal hierdoor hoger moeten zijn. Zo kan bij zeer laagbelaste systemen een zuurstofgehalte van 0,5 mg/l voldoende zijn. Uit praktijkervaringen blijkt dat over het algemeen een zuurstofgehalte van 1-2 mg/l voldoende is.

Verblijftijd: Bij huishoudelijk afvalwater bereikt het BZV binnen een tijd van 2-3 uur zijn eindwaarde. In figuur 5 is dit verband weer-gegeven.

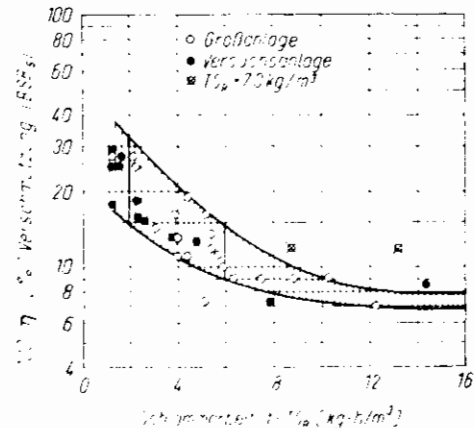
Om in de verblijftijd ook het slibgehalte te betrekken wordt in de Duitse literatuur gebruik gemaakt van de term: "slibarbeid", waarbij dit kengetal gedefinieerd is als het produkt van het slibgehalte en de beluchtingstijd. De relatie tussen de slibarbeid en de verwijdering van het BZV, weergegeven in figuur 6, komt overeen met de in figuur 5 weergegeven relatie.

Dit is te verwachten omdat, binnen zekere grenzen, de relatie tussen het slibgehalte en de BZV-verwijdering lineair verloopt.

Omdat voor huishoudelijk afvalwater bij slibbelastingen lager dan ongeveer 0,5 kg BZV/(kg d.s..d) de gemiddelde verblijftijd in de meeste zuiveringen langer is dan 3 uur is de verblijftijd niet bepalend voor de effluentkwaliteit.



Figuur 5



Figuur 6

Figuur 5 Zuiveringseffekt versus beluchtingstijd [2]

Figuur 6 Zuiveringseffekt als functie van het produkt van beluchtingstijd en slibgehalte (slibarbeid) [2]

Samenstelling van het afvalwater: afvalwater bevat afhankelijk van de herkomst een grote verscheidenheid aan opgeloste, colloïdale, en aan slib gebonden stoffen.

Voor de restvervuiling uitgedrukt als BZV en CZV is het van belang in hoeverre deze stoffen naast de verwijdering door adsorptie, biologisch afbreekbaar zijn. Veelal wordt onderscheid gemaakt in biologisch, gemakkelijk, moeilijk en niet-afbreekbare stoffen. Gemakkelijk afbreekbare stoffen worden in vrijwel ieder systeem onafhankelijk van de belasting verwijderd. Bij moeilijk afbreekbare stoffen zijn bepaalde micro-organismen nodig die alleen aanwezig zijn bij een voldoende lange slibleeftijd. Bij hogerbelaaste systemen worden deze bacteriën met het surplusslib afgevoerd en neemt de restvervuiling toe.

In het algemeen wordt de verhouding CZV:BZV gebruikt om de biologische afbreekbaarheid van het afvalwater te beoordelen. Bij een lage verhouding is de afbreekbaarheid groot. Figuur 7 geeft dit weer.

Er moet worden opgemerkt dat rest-BZV en -CZV niet behoeven te bestaan uit de in het afvalwater aangevoerde stoffen. Een deel zal bestaan uit stofwisselings- en bijprodukten van de biologische afbraak.

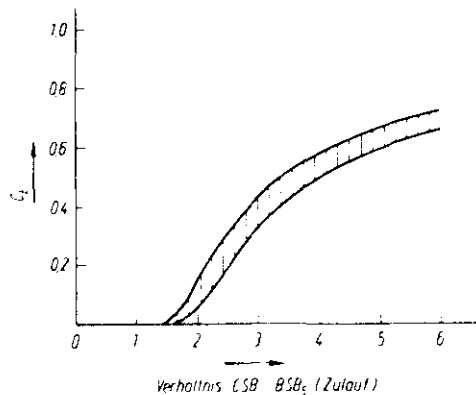
Zo zouden slijmcomponenten als bijproduct van de biologische afbraak 70-80% van het totale CZV in het effluent uitmaken [11].

Temperatuur: Bij stijging van de temperatuur neemt de biologische activiteit toe. Bij huishoudelijk afvalwater en lage slijbelastingen blijkt dit in geringe mate het geval, aangezien BZV hier grotendeels gesuspenseerd en colloïdaal aanwezig is. De verwijdering is voornamelijk een fysisch proces en derhalve minder temperatuurgevoelig. Daarentegen kan het effect bij industrieel afvalwater met goed opgeloste verbindingen groter zijn.

Menging en turbulentie als gevolg van het type reactor en het beluchtingssysteem. De hoofdvormen van de reactor zijn het volledig gemengde systeem en het propstroomsysteem. Uit oogpunt van verblijftijdspreiding zou propstroom tot een betere effluentkwaliteit moeten leiden; in de praktijk blijkt daar weinig onderscheid in te zijn [2]. Dit is te verklaren aan de hand van het verwijderingsproces. Het grootste deel van het BZV is of in korte tijd afgebroken of aan het slijb geadsorbeerd.

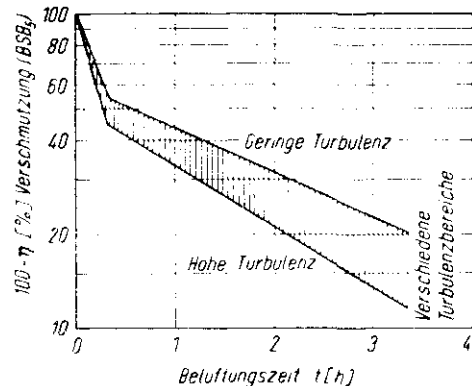
De turbulentie als gevolg van het beluchtingssysteem kan bij hogerbelaste systemen het zuiveringsproces beïnvloeden. Een hoge turbulentie leidt tot kleine vlokken en een grotere biologische activiteit door een groter gezamenlijk oppervlak.

In figuur 8 is deze verhoogde activiteit weergegeven.



Figuur 7

Figuur 7 Fractie niet-afbreekbare CZV in effluent versus CZV/BZV-verhouding in het influent [2]



Figuur 8

Figuur 8 Zuiveringseffect bij verschillende mengintensiteiten [2]

pH: pH's tussen 6,0-8,5 in het actief-slijmsysteem, beïnvloeden het BZV en CZV-gehalte in het effluent niet. Lozingen van zuren of basen met een relatief kortdurende daling van de pH zijn te beschouwen als een toxische lozing.

4.3.3 Selectiecriteria

Bij de beschouwing van de relatie BZV en CZV in het effluent en de slijbelasting zullen de bedrijfsgegevens geselecteerd moeten worden. Hierbij dienen de volgende aspecten in aanmerking genomen te worden met de volgende restricties:

- geen onderdelen van de rwzi buiten bedrijf;
- hydraulische pieken en zeer hoge vuillasten worden niet in de verwerking opgenomen;
- zuurstofgehalte hoger dan 1-2 mg/l. Bij zeer laagbelaste systemen hoger dan 0,5 mg/l;
- onderscheid tussen systemen met een hydraulische verblijftijd van meer en minder dan 3 uur;
- onderscheid in hoge en lage BZV/CZV-verhoudingen in het aangevoerde water. Een ander selectie criterium is het gehalte aan onopgeloste stoffen. De methode van voorbehandeling kan hierbij als selectie criterium worden aangehouden;
- bij normale watertemperaturen (5-20°C) is de temperatuur geen criterium;
- bij laag- en zeer laagbelaste systemen hebben uitvoeringsvormen van beluchtingstank en beluchtingssysteem niet of nauwelijks invloed en zijn geen criterium.

4.3.4 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens

Gegevensbestanden zijn in de praktijk goed bruikbaar omdat alle gegevens van effluentkwaliteit en belasting van de meeste rwzi's per bemonsteringsdag beschikbaar zijn. De procesparameters zijn goed meetbaar zodat mag worden verwacht dat de verwerking van de bedrijfsgegevens tot een betrouwbaar resultaat zal leiden.

De betrouwbaarheid van de relatie kan nog worden verbeterd door uit te gaan van het opgelost BZV en CZV in het effluent (BZV/CZV-gefiltreerd). Omdat deze waarden normaal niet beschikbaar zijn, kunnen deze waarden worden benaderd door gebruik te maken van de relatie tussen het gehalte aan niet-opgeloste stoffen en het BZV/CZV. Tevens verdient het de voorkeur bij de slibbelasting alleen rekening te houden met het organisch deel in het slib.

Omdat in de meeste gevallen de gloeirest van het biologisch slib wordt bepaald, kan de slibbelasting worden betrokken op de organische drogestof.

Om een goede relatie te vinden is het noodzakelijk te selecteren, waarbij voor de in Nederland gebruikelijke laag- en zeer laagbelaste actief-slibsystemen het aantal selectiecriteria beperkt is.

Het belangrijkste selectie criterium is de samenstelling van het afvalwater (BZV:CZV). De benodigde kwaliteitsgegevens kunnen dus met een redelijk grote nauwkeurigheid worden bepaald. Voor het opgelost BZV of CZV moet dan wel een goede correlatie worden gevonden met de niet-opgeloste stoffen.

4.4 Relatie NKj van het effluent met de belasting

4.4.1 Procesbeschrijving

De afname van NH_4^+ uit het afvalwater is het gevolg van een opname van stikstof in het slib en van de omzetting van NH_4^+ tot NO_3^- . Het stikstofgehalte in het slib bedraagt ongeveer 6% van de organische drogestof. De totale verwijdering van stikstof met het slib is dus afhankelijk van de slibproductie en bedraagt 15-30% van de aangevoerde hoeveelheid NKj.

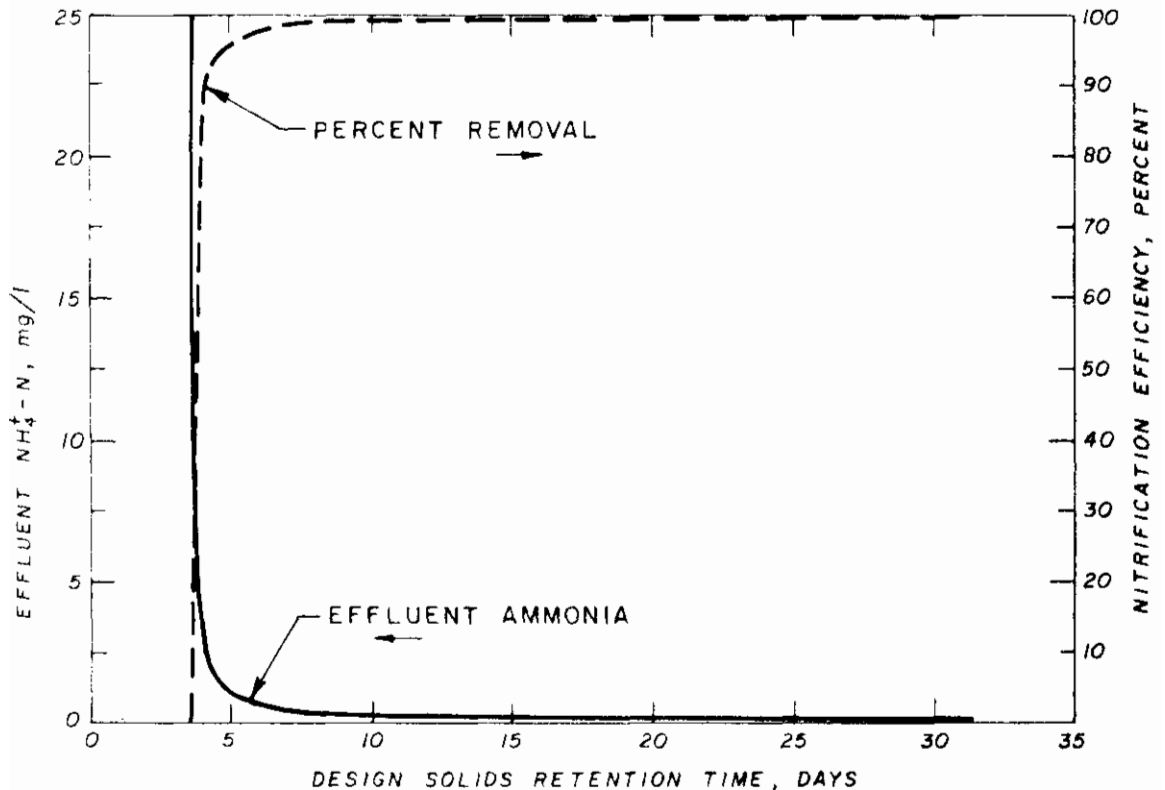
De bacteriële oxydatie van NH_4^+ tot NO_3^- , de nitrificatie, wordt uitgevoerd door gespecialiseerde bacteriën (de nitrificeerders). Omdat de groeisnelheid van deze bacteriën laag is ten opzichte van de heterotrofe bacteriën is het noodzakelijk om voor de nitrificatie in een

actief-slibstelsysteem een minimale slibleeftijd aan te houden. Groeisnelheid en minimale slibleeftijd worden beïnvloed door het zuurstofgehalte, de temperatuur, de pH en de aanwezigheid van toxische stoffen.

Omdat nitrificerders alleen groeien onder aërobe condities is het van belang het zuurstofgehalte voldoende hoog te houden. Boven een waarde van 2 mg/l zou de groeisnelheid niet verder toenemen. De minimale slibleeftijd is derhalve betrokken op het aërobe deel van de beluchting.

In de literatuur worden verschillende waarden genoemd voor de invloed van de temperatuur op de groeisnelheid. Een toename van de groeisnelheid met een factor 2 bij een stijging van de temperatuur met 10°C is aannemelijk.

De optimale pH voor nitrificatie ligt tussen 7,0 en 8,0. Met name de ondergrens is van belang, wanneer chemische precipitatie ten behoeve van de fosfaatverwijdering plaatsvindt. Remming van de groei van nitrificerders kan het gevolg zijn van toxische stoffen. Dit kan met name het geval zijn bij de behandeling van industrieel afvalwater.



Figuur 9 Effect van de slibleeftijd op het NH_4^+ -gehalte in het effluent [5]

Is de aërobe slibleeftijd van het systeem hoger dan de vereiste slibleeftijd dan zal de fractie nitrificerders in de biomassa worden bepaald door het substrataanbod.

Dit houdt in dat de fractie nitrificerders in staat is een bepaalde hoeveelheid NH_4^+ te oxyderen. Het restgehalte in het effluent is dan zeer gering (zie figuur 9). Wordt gedurende kortere tijd een grotere

hoeveelheid NH_4^+ aangevoerd, dan zal een deel niet worden geoxydeerd en met het effluent worden afgevoerd (figuur 10).

4.4.2 Maatgevende parameters voor de beschrijving van de belasting

Uit de procesbeschrijving kan worden afgeleid dat de aërobe slibleeftijd als parameter voor de belasting zou moeten worden gebruikt. Deze is te berekenen uit de totale slibleeftijd, de door denitrificatie beschikbaar gekomen hoeveelheid nitraat-zuurstof en de totaal benodigde hoeveelheid zuurstof voor de koolstofademing. Een bezwaar van het gebruik van de aërobe slibleeftijd is de geringe nauwkeurigheid waarmee zowel de totale slibleeftijd als de voor de koolstofademing benodigde hoeveelheid zuurstof berekend kunnen worden. De berekeningswijze voor de aërobe slibleeftijd is in bijlage 1 opgenomen.

Door Trentelman en STORA wordt zowel de BZV- als de N-belasting gebruikt om de relatie met het Nkj -gehalte in het effluent weer te geven. In belangrijke mate voor de N-belasting en iets mindere mate voor de BZV-belasting geldt dat er geen direct verband bestaat met de slibleeftijd. Dit houdt in dat bij laagbelaste systemen, waarbij bij hogere temperaturen de slibleeftijd voldoende hoog zal zijn voor de nitrificatie en bij lage temperaturen geen nitrificatie mogelijk is, de relatie met de BZV-of N-belasting niet constant is of zelfs geheel afwezig kan zijn.

Het gebruik van de slibbelasting is derhalve alleen toepasbaar wanneer een min of meer vaste relatie met de slibleeftijd aanwezig is of als de minimale slibleeftijd als randvoorwaarde in de relatie betrokken wordt.

4.4.3 Procesbepalende parameters

Een kortdurende toename van de NKj -aanvoer kan het NH_4^+ -gehalte in het effluent beïnvloeden.

De invloed van een piekaanvoer op de effluentkwaliteit wordt bepaald door de hoogte van de piek, de hydraulische verblijftijd in het systeem en het type reactor. Het effect van de hydraulische verblijftijd is af te leiden uit figuur 10.

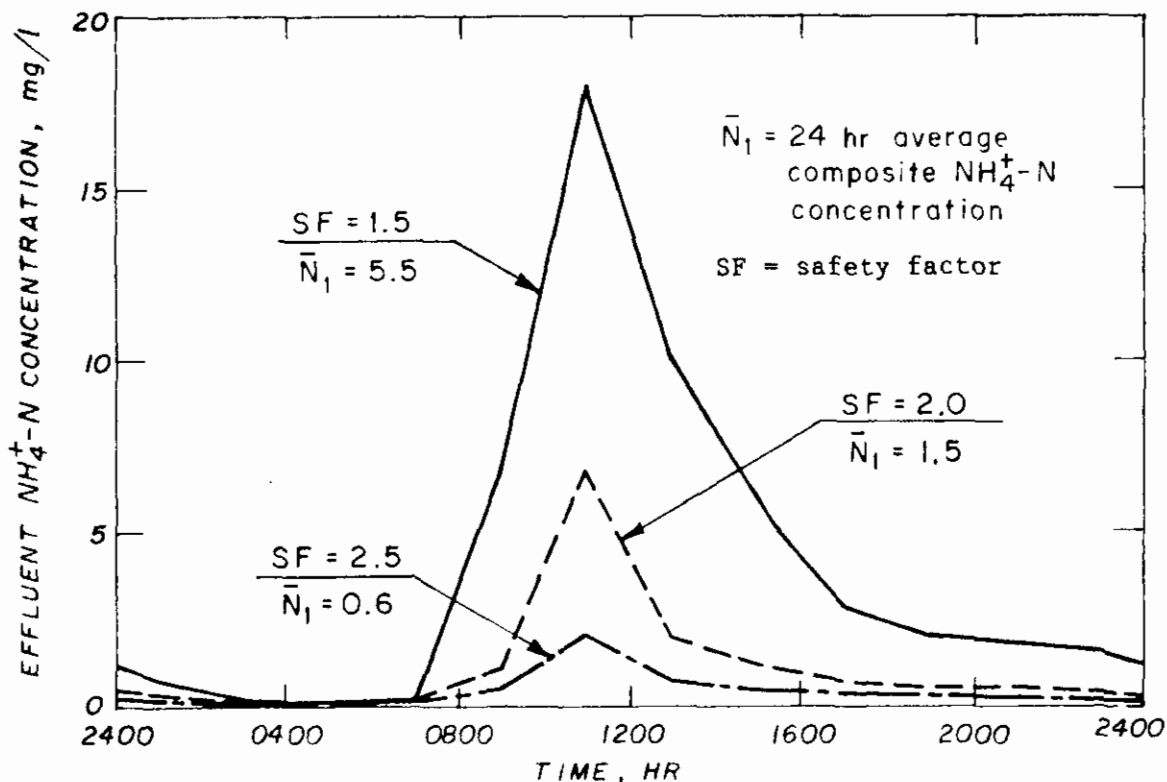
Op basis van een kinetisch model is hier het effect van een piekaanvoer van 2,2 x de normale aanvoer (safety factor $\text{SF} = 1,0$) weergegeven van een compleet gemengde reactor. De hydraulische verblijftijd, welke in de figuur is uitgedrukt als safetyfactor, is hierbij gevarieerd.

Omdat de verblijftijdspreiding bij propstroomreactoren veel minder groot is dan bij compleet gemengde systemen zal ook het effect van piekaanvoer minder groot zijn. Voorwaarde hierbij is wel dat het eerste deel van de propstroomreactor aëroob is. Dit is veelal niet het geval omdat het zuurstofverbruik voor de afbraak van organische stof in dit deel van de beluchtingstank hoog is.

Uit het voorgaande blijkt dat de invloed van de procesparameters op de nitrificatie en daarmee op het NH_4^+ -gehalte in het effluent groot is. Het weergeven van de relatie tussen de belasting en het NH_4^+ -gehalte in het effluent is derhalve niet mogelijk zonder rekening te houden met deze invloed.

Dit wordt bevestigd door de resultaten van de statistische onderzoeken van Trentelman [12] en STORA [11] waarbij lage correlatiecoëfficiënten (0,77 en 0,68) worden gevonden.

Om een betere correlatie te verkrijgen zal minimaal op een aantal van de beschreven procesparameters moeten worden geselecteerd.



Figuur 10 Effect van piekaanvoer op NH_4^+ -gehalte in effluent [5]

4.4.4 Selectiecriteria

Bij de selectie van de gegevens moet rekening worden gehouden met de volgende restricties:

- geen procesonderdelen van de rwzi buiten bedrijf; indien slib-overstort bij de nabezinking is voorgekomen, moet worden nagegaan of dit de effluentkwaliteit en de slibleeftijd heeft beïnvloed;
- vergelijking van de minimaal benodigde aërobe slibleeftijd met de werkelijke aërobe slibleeftijd;
- gegevens waarbij remming optreedt door een te lage pH uitzonderen;
- rwzi's met een aanzienlijk aandeel industrieel afvalwater met vermoedelijk toxische stoffen worden uitgeselecteerd;
- bedrijfsgegevens afkomstig uit perioden met hoge debieten moeten apart worden onderzocht, evenals bij piekaanvoeren;
- onderscheid tussen verschillende zuiveringssystemen en uitvoeringsvormen van de beluchting;
- gezien de grote invloed van de temperatuur moeten de gegevens hierop worden geselecteerd.

4.4.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens

Gegevensbestanden zijn in de praktijk goed bruikbaar, omdat alle gegevens van effluentkwaliteit en belasting van de meeste rwzi's per bemonsteringsdag beschikbaar zijn.

Er is geen directe relatie tussen de N_{Kj} -effluentkwaliteit en de N-slibbelasting. Dit geldt in mindere mate voor de relatie met de BZV-slibbelasting. In plaats van het N_{Kj} -gehalte in het effluent kan beter worden uitgegaan van het NH_4^+ -gehalte in het effluent. Bij lage N_{Kj} -gehalten en relatief hoge slibgehalten in het effluent heeft het

gebruik van het N_{xj} -gehalte het nadeel dat ook het aan het slib gebonden stikstof wordt meegerekend. Dit nadeel is afwezig bij het gebruik van het NH_4^+ -gehalte. Indien het NH_4^+ -gehalte niet wordt gemeten kan het NH_4^+ -gehalte worden berekend door het N_{xj} -gehalte te corrigeren voor het N-gehalte in het slib.

Omdat de relatie tussen het NH_4^+ -gehalte in het effluent en de BZV-slibbelasting veelal niet constant en mogelijk zelfs geheel afwezig is, dient in de praktijk minimaal te worden geselecteerd op de tijdsduur van de nitrificatie (het gehele jaar, een deel van het jaar en geen nitrificatie).

Centraal bij de nitrificatie staat de aërobe slibleeftijd. Uitgezonderd de aërobe slibleeftijd worden de overige parameters op de rwzi's gemeten. De aërobe slibleeftijd kan worden berekend volgens de in de bijlage 1 beschreven methode.

In de praktijk zal de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid afhankelijk zijn van een juiste selectie en de nauwkeurigheid van de slibleeftijd. Aanbevolen wordt niet (alleen) het N_{xj} -gehalte in het effluent te meten maar (tevens) het NH_4^+ -gehalte.

4.5 Relatie tussen het einddrogestofgehalte na indikking en de slibsoort

4.5.1 Inleiding

Bij de zuivering van het afvalwater wordt op verschillende plaatsen in het systeem slib geproduceerd. Dit slib bestaat grotendeels uit water. Omdat de dimensionering en de werking van de slibstabilisatie en de verdergaande ontwateringstechnieken veelal door de hydraulische belasting worden bepaald, is volumevermindering door voorafgaande indikking een economisch verantwoorde stap.

Belangrijk is het dan wel om het drogestofgehalte na indikking goed te kunnen voorspellen. Een schijnbaar gering verschil in drogestofgehalte is immers van grote invloed op de kosten. Zo zal bij de dimensionering van een slibgisting uitgaande van een drogestofgehalte van 2% het volume 20% groter zijn dan bij een aanname van het drogestofgehalte van 2,5%.

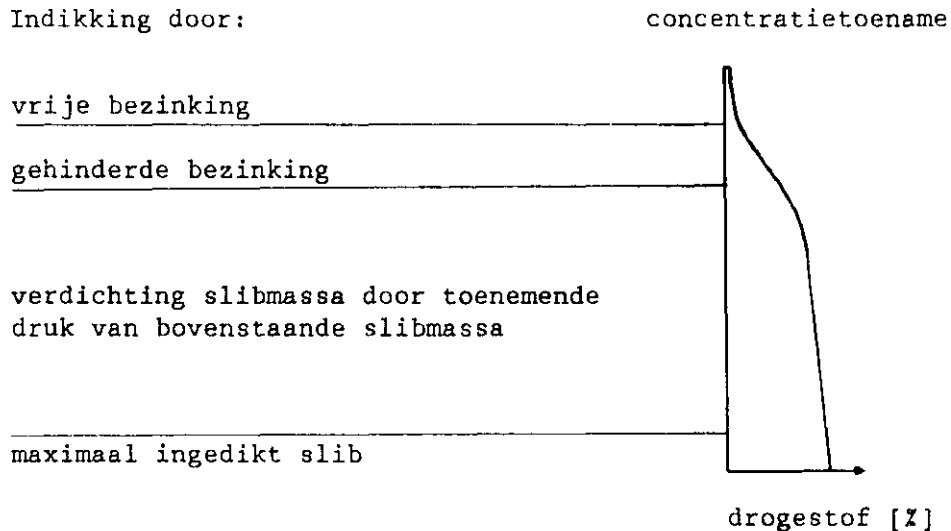
Het resultaat van de indikking is afhankelijk van een groot aantal parameters (hoofdstuk 3.2.4). De slibsoort neemt hierbij een bijzondere plaats in, omdat deze parameter niet te beïnvloeden is.

In dit hoofdstuk is daarom gekozen voor de relatie tussen de slibsoort en het einddrogestofgehalte, waarbij de invloed van de overige parameters zal worden getoetst.

4.5.2 Procesbeschrijving

In het bovenste deel van de indikker treedt een ongehinderde bezinking van het slib op. De bezinksnelheid in deze fase moet groter zijn dan de opwaartse snelheid van het afgevoerde slibwater. Met een toenemend slibgehalte gaat de ongehinderde bezinking over in een zone met een gehinderde bezinking. In deze zone neemt het drogestofgehalte snel toe bij toenemende slibhoogte. Verdichting van de slibmassa vindt plaats in de compressiezone en komt tot stand door de (mechanische) druk van de bovenliggende sliblagen. Het vrije water wordt door het slib via de poriën omhoog geperst. De hoeveelheid water, die uit de compressiezone kan ontwijken wordt voornamelijk bepaald door de capillaire druk en de doorlaatbaarheid van de bovenliggende sliblagen. Na het bereiken van een evenwichtstoestand tussen de compressie, de capillaire druk en de stromingsweerstand neemt de drogestofconcentratie van het slib niet

meer toe. De onderste laag van de indikker, waarin geen toename van het drogestofgehalte meer plaatsvindt, fungeert als bufferruimte voor de slibonttrekking. In figuur 11 is het proces weergegeven.



Figuur 11 Indikkingszones [2]

4.5.3 Procesbepalende parameters

Parameters die het indikkingsproces beïnvloeden worden onderverdeeld naar:

- slibeigenschappen: hiertoe behoren de structuur, de grootte en de samenstelling van de slibvlokken. Omdat deze eigenschappen alleen met zeer uitgebreide analysemethoden zijn te beschrijven, worden de slibeigenschappen gekarakteriseerd met de plaats van herkomst (primair slib, aëroob gestabiliseerd slib e.d.), de gloeirest en de slibindex;
- dimensionering van de indikker: de belangrijkste parameters zijn de drogestof-oppervlaktebelasting, de verblijftijd en de slibspiegelhoogte;
- operationele aspecten: hiertoe behoren de temperatuur, de chemi-caliëndosering, de pH en het spoelen.

Onderstaand zal nader op deze parameters worden ingegaan. Men dient zich hierbij te realiseren dat de beoordeling van de invloed van bepaalde procesparameters op basis van literatuurgegevens niet altijd mogelijk is, doordat tijdens deze onderzoeken veelal ook andere procesparameters zijn gewijzigd.

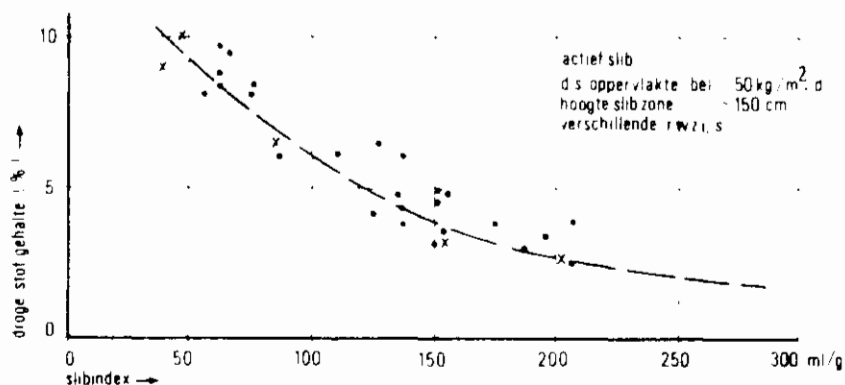
De slibeigenschappen

Deze hebben de grootste invloed op het drogestofgehalte. In tabel 1 is voor een aantal soorten slib het drogestofgehalte weergegeven dat bij indikking kan worden bereikt.

In deze tabel is ook de invloed van de slibvolume-index aangegeven. Uit onderzoeken in Duitsland is het in figuur 12 weergegeven verband gevonden.

Tabel 1 Indikresultaten van verschillende slibsoorten [8]
(zonder toevoeging van chemicaliën)

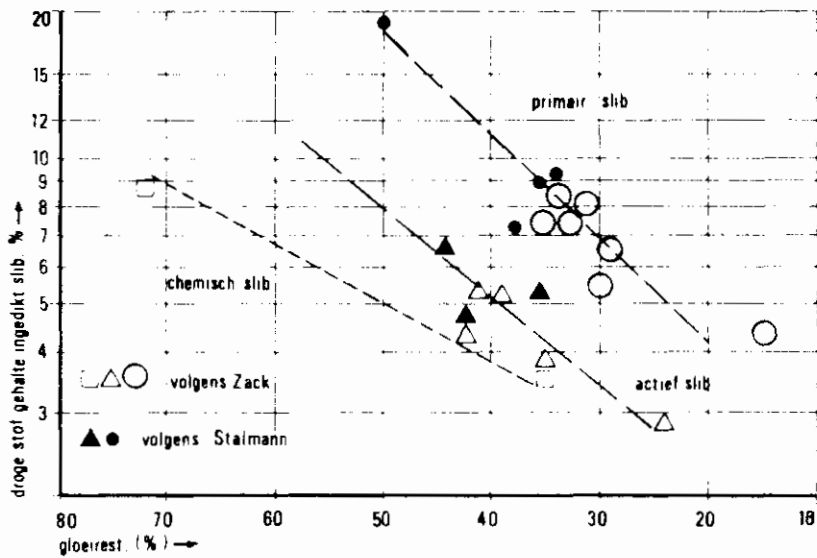
Slibsoort	Haalbare drogestofconcentratie
primair slib - gloeirest < 35 % - gloeirest > 35 % - uitgegist	5 - 7 % 7 - 12 % 8 - 14 %
actiefslib - uitgegist - thermisch geconditioneerd	6 - 9 % 10 - 15 %
actief + primair slib - aëroob gestabiliseerd - slibindex > 100 ml/g - slibindex < 100 ml/g	3 - 5 % 4 - 6 % 6 - 11 %
humus + primair slib	7 - 10 %
primair + zwaar industrieslib	10 - 30 %



Figuur 12 Slibindex versus drogestofgehalte van ingedikt actiefslib [8]

Door STORA wordt erop gewezen dat het voor de vergelijkbaarheid van belang is uit te gaan van één methode voor de bepaling van de slibvolume-index.

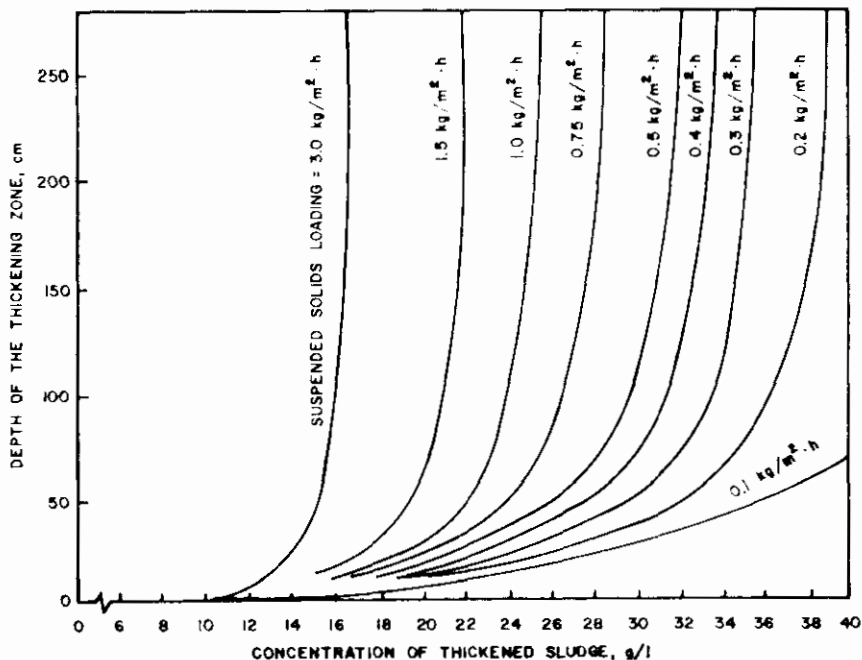
De invloed van de hoeveelheid organisch stof op het drogestofgehalte is in figuur 13 weergegeven. Een toename van de gloeirest leidt tot een toename van het drogestofgehalte.



Figuur 13 Organischstofgehalte versus drogestofgehalte [8]

De dimensionering van de indikker

Het bereikbare drogestofgehalte is voor een bepaalde slibsoort en procesvoering afhankelijk van de verblijftijd in de compressiezone en van de daarin optredende druk. De verblijftijd in de compressiezone wordt bij een gelijkblijvend slibniveau in de indikker bepaald door de drogestofbelasting ($\text{kg d.s./m}^2\text{.d.}$). De druk in de compressiezone hangt af van de hoogte van het slibniveau. De afhankelijkheid van het indikeffect van deze twee dimensioneringsgrootheden is in figuur 14 weergegeven.



Figuur 14 Bereikbare drogestofgehalte als functie van de hoogte van de indikzone bij verschillende belastingen [15]

Verhoging van het slibniveau tot boven een bepaalde waarde blijkt niet zinvol, omdat het opwaartse transport van het water door het ingedikte slib steeds moeilijker verloopt.

Een tweede storende factor is de rotting van het slib door een te lange slibverblijftijd. Bij een hoog slibniveau en/of een lage drogestofbelasting zal door rotting van het slib gas worden geproduceerd, dat de indikking verstoort.

De operationele aspecten

Hiertoe behoren temperatuur, spoelen en chemicaliëndosering. De temperatuur beïnvloedt rotten van het slib en daarmee de maximale verblijftijd, de viscositeit van het water en de stratificatie. Problemen met stratificatie kunnen alleen optreden bij de indikking van warm slib uit de gisting. Door koelen met koud water kan dit effect worden voorkomen. De afnemende viscositeit bij hogere temperaturen is alleen van invloed op de bezinksnelheid. In de praktijk verloopt de indikking het best tussen 10 en 20°C. Spoelen van slib heeft invloed op de hydraulische belasting, heeft een wassende werking en kan worden gebruikt voor de koeling. De hydraulische belasting beïnvloedt over het algemeen alleen het bezinkingsrendement. Wanneer, afhankelijk van de slibsoort, geen overschrijding van de maximale waarden (0,5-1,3 m³/m².h) plaatsvindt, zullen geen nadelige gevolgen op het indikeffect meetbaar zijn. Door wassen van het slib worden onder meer de fijne deeltjes afgevoerd. De indikking wordt hierdoor enigszins verbeterd.

Bij de dosering van chemicaliën worden vrijwel altijd organische vlok-middelen gebruikt, waardoor het indikproces versnelt. Dit leidt niet altijd tot een hoger einddrogestofgehalte. Naast de vlokmiddelen kunnen ook bacterieremmende chemicaliën en inerte materialen worden gebruikt. Om de ongewenste afbraak van organische stof te voorkomen wordt chloor gedoseerd. In sommige gevallen is hierdoor een verbetering van het indikeffect gevonden. De toevoeging van inerte materialen met het doel de vlok te verzwaren heeft tot wisselende resultaten geleid.

4.5.4 Selectiecriteria

Bij de selectie van de gegevens moet rekening worden gehouden met de volgende restricties:

- de plaats van herkomst van het slib moet duidelijk zijn. Indikkers met gemengd slib blijven buiten beschouwing. Gloeirest en de slibvolume-index zijn belangrijke selectiecriteria;
- voor de drogestofoppervlaktebelasting is een onderverdeling in bepaalde trajecten nodig;
- een minimale slibspiegelhoogte dient te worden aangehouden;
- wanneer geen sprake is van extreme situaties (afwijkende pH, temperatuur > 20 of < 5°C, gasvorming door rotting of denitrificatie) is alleen selectie op de dosering van chemicaliën nodig.

4.5.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van bedrijfsgegevens

Gegevensbestanden zijn goed bruikbaar omdat het drogestofgehalte frequent wordt gemeten en de verschillende slibsoorten worden onderscheiden.

Het is van belang de herkomst van het slib goed te definiëren. Voor het gebruik van de bedrijfsgegevens betekent dit dat niet alleen de gemengde indikkers van bijvoorbeeld primair- en surplusslib buiten beschouwing moeten blijven, maar dat ook onderzocht moet worden of bij gescheiden indikking, door frequent overstorten, geen vermenging van slibsoorten optreedt. Een voorbeeld hiervan is het overstorten van een surplus-slibindikker waardoor de primair-slibindikker via de voorbezinking alsnog met surplusslib wordt belast.

Een tweede belangrijk aspect is de bepaling van het drogestofgehalte. Hiervoor wordt vrijwel altijd uitgegaan van een enkelvoudige steekbemonstering met een frequentie van één tot enkele keren per week. Bij de sturing van de slibafvoer op basis van looptijd en wachttijd zal bij relatief lange tijden de hoogte van de slibdeken sterk variëren, waardoor het verschil in drogestofgehalte tussen de start en het einde van de pompcyclus groot kan zijn. Met andere woorden: het monster is niet representatief voor de totale afgepompte slibmassa.

De belangrijkste selectiecriteria zijn; de gloeirest, de slibindex en de operationele aspecten. De gloeirest en de slibindex worden frequent bepaald en zijn daarmee goed bekend. Voor de operationele aspecten is dit anders, omdat veranderingen veelal binnen korte tijdsbestekken (< 1 dag) plaatsvinden en bovendien de verschillen per rwzi groot kunnen zijn. Het betrekken van de operationele aspecten in de selectie heeft als gevolg dat het aantal rwzi's voor het vaststellen van de relatie sterk zal zijn beperkt.

Het verdient aanbeveling de betrouwbaarheid van de metingen aan de slibmonsters (representatief voor de totale aangevoerde en afgepompte slibmassa) te vergroten. Dit houdt veelal frequenter meten in.

4.6 Relaties tussen het energieverbruik en het zuiveringsresultaat

4.6.1 Inleiding

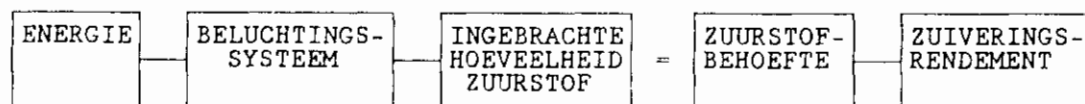
De relatie tussen het energieverbruik voor de beluchting en het zuiveringsrendement is opgebouwd uit de relatie tussen het energieverbruik en de ingebrachte hoeveelheid zuurstof en de relatie tussen de zuurstofbehoefte en het zuiveringsrendement.

Wanneer de ingebrachte hoeveelheid zuurstof gelijk is aan de behoefte, hetgeen bij een goede bedrijfsvoering het geval is, is het mogelijk een bruikbare relatie tussen energieverbruik en zuiveringsrendement aan te geven.

De relatie tussen het energieverbruik en het zuiveringsrendement wordt gebruikt bij de keuze en het ontwerp van de beluchtingssystemen. Daarnaast kan deze relatie voor één bepaalde rwzi in de bedrijfsvoering gebruikt worden om tendensen, bijvoorbeeld vervuiling van de beluchtingselementen, vast te stellen.

4.6.2 Procesbeschrijving

In figuur 15 is de relatie via de koppeling tussen de ingebrachte hoeveelheid zuurstof en de zuurstofbehoefte weergegeven.



Figuur 15 Relatie tussen energie en zuiveringsrendement

De ingebrachte hoeveelheid zuurstof

De specifieke zuurstofinbreng (kg O₂/kWh) wordt bepaald door:

- het mechanisch rendement van de compressor, ventilator, tandwielkast
- het overdrachtsrendement van de zuurstof uit de lucht naar de waterfase.

Het overdrachtsrendement is afhankelijk van het zuurstofdeficiet, het oppervlak van de grensvlakken tussen lucht en water en de snelheid van grensvlakvernieuwing. Door vertaling van deze fysische grootheden naar de praktijk blijkt de specifieke zuurstofinbreng afhankelijk van:

- het ontwerp van het beluchtingssysteem: configuratie en type oppervlaktebeluchters, fijne of grove bellen;
- de grootte en vorm van de beluchtingstank;
- de belasting van het beluchtingssysteem;
- de samenstelling van het slib/watermengsel in de beluchtingsruimte, weergegeven met de α -factor;
- de bedrijfsvoering, met name het zuurstofgehalte;
- de watertemperatuur;
- het zuurstofgehalte in de lucht;

De zuurstofbehoefte

Actiefslib vraagt zuurstof voor de C-ademing, die is te onderscheiden in de zuurstofbehoefte voor afbraak van organisch stof, het in stand houden van de biomassa (endogene ademing) en de stikstofverwijdering. Deze laatste hoeveelheid is gelijk aan de voor nitrificatie benodigde hoeveelheid zuurstof minus de bij de denitrificatie vrijkomende hoeveelheid zuurstof ten behoeve van de C-ademing.

4.6.3 Maatgevende parameters voor de beschrijving van het zuiveringsrendement

In literatuur en jaarverslagen wordt de relatie tussen energieverbruik en zuiveringsrendement op zeer uiteenlopende wijze weergegeven. Mogelijkheden zijn: kWh of MJ per verwijderd i.e., BZV, CZV, TZV en TZV-gecorrigeerd.

De relatie wordt correct weergegeven door gebruik te maken van een parameter die is gerelateerd aan het totale zuurstofverbruik. Van de hierboven beschreven parameters benadert alleen het TZV, gecorrigeerd voor denitrificatie, de totale zuurstofbehoefte.

Geheel ideaal is deze grootte niet aangezien:

- geen rekening gehouden wordt met het zuurstofgehalte en de N-opname in slib;
- geen directe relatie aanwezig is tussen het verwijderde TZV en de slibbelasting en daarmee met de voor de endogene ademing benodigde hoeveelheid zuurstof.

Wanneer bij de selectie van installaties met deze factoren rekening gehouden wordt is het mogelijk het "TZV-gecorrigeerd" als parameter te gebruiken.

4.6.4 Procesbepalende parameters

Tot de door het systeem bepaalde niet variabele parameters behoren het mechanisch rendement, het ontwerp van het beluchtingssysteem en de geometrie van de beluchtingstank. In de literatuur wordt de specifieke

zuurstofinbreng veelal weergegeven als functie van het type beluchting. In tabel 2 is voor een aantal beluchtingssystemen de specifieke zuurstofinbreng weergegeven.

Tabel 2 Specifieke zuurstofinbreng voor diverse beluchtingssystemen [13]

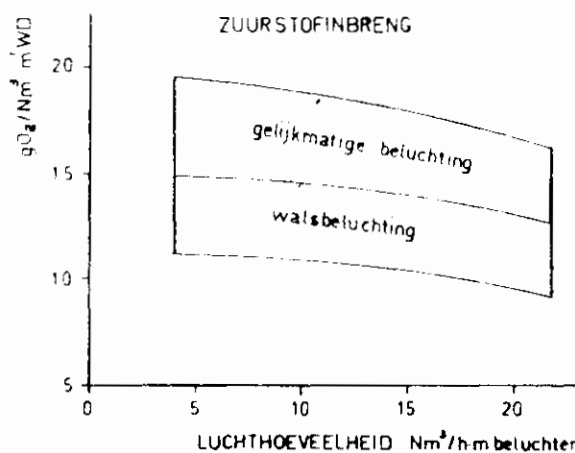
Systeem	kgO ₂ /kWh
fijnblazige bellenbeluchting diep	1-1,5
middelblazige bellenbeluchting ondiep	0,9-1,3
rotor	1,2-2,3
puntbeluchter	1,2-2 soms tot 2,3
turbinebeluchter	1,5-1,8
ejector	1,1-1,6
injector	1,5-2,5

Van het afzonderlijk effect van de verschillende parameters zijn voor het algemeen gebruik weinig gegevens beschikbaar.

In de meeste onderzoeken is alleen het totaaleffect van de invloed van meerdere parameters te zamen gemeten. Daarnaast zijn deze gegevens alleen bruikbaar voor de locatie van het onderzoek.

Algemeen wordt onderkend dat de invloed van de systeembepalende parameters op specifieke zuurstofinbreng groot is.

De invloed van de belasting van het beluchtingssysteem is met name aanwezig bij de systemen met fijne-bellenbeluchting. Bij een toenemende belasting coalesceren te kleine bellen tot grote, waardoor de zuurstofoverdracht afneemt. In figuur 16 is de specifieke zuurstofinbreng uitgezet als functie van de belasting per beluchtingselement.



Figuur 16 Specifieke zuurstofinbreng als functie van de luchthoeveelheid per beluchter [7]

Uit figuur 16 blijkt dat voor deze beluchtingselementen een verschil in de specifieke zuurstofinbreng meetbaar is van ongeveer 10% bij belastingen per element tussen 3 en 15 m³/m.h.

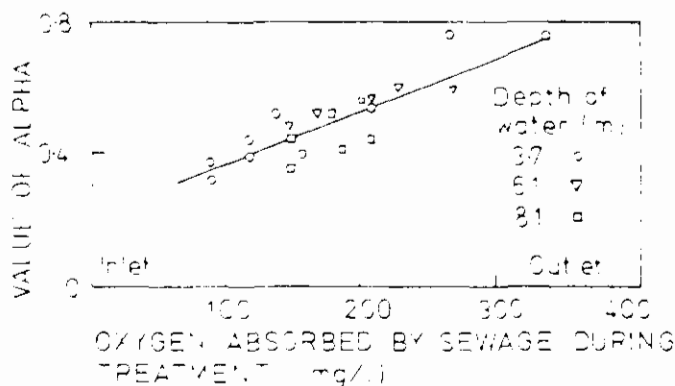
Het verschil in zuurstofoverdracht tussen schoon water en het slib/watermengsel in de beluchtingsruimte wordt weergegeven door de α -factor en is in belangrijke mate afhankelijk van:

- de aanwezigheid van oppervlakte-actieve stoffen;
- de aanwezigheid van fenolen en vluchtige vetzuren;
- de concentratie en de hoedanigheid van het slib;
- het type beluchting.

De α -factor verloopt tijdens het biologische zuiveringsproces doordat de kwaliteit van het slib/water-mengsel verandert. In figuur 17 is dit weergegeven.

De invloed van het type beluchting is niet verwaarloosbaar. In het algemeen wordt voor bellenbeluchting een lagere α -factor aangehouden dan voor oppervlaktebeluchters.

De invloed van het zuurstofgehalte op de specifieke zuurstofoverdracht is rechtevenredig met het gehalte. Wanneer het zuurstofgehalte in het systeem gehandhaafd wordt op 20% van de verzadigingswaarde neemt het zuurstofinbrengrendement af tot 80% van het maximum. Bij een afnemende watertemperatuur neemt de zuurstofverzadigingsconcentratie toe. Hierdoor wordt ook het voor de zuurstofoverdrachtssnelheid maatgevende zuurstofdeficit groter. Dit houdt in dat bij een gelijkblijvend zuurstofgehalte de zuurstofoverdracht bij lagere temperaturen hoger is dan bij hogere temperaturen. Doordat het omgekeerde effect van vrijwel gelijke grootte optreedt door een afname van de diffusie-coëfficiënt, is het totale temperatuureffect verwaarloosbaar.



Figuur 17 α -factor als functie van de zuiveringsgraad [3]

4.6.5 Selectiecriteria

Een groot aantal parameters heeft invloed op de specifieke zuurstofinbreng. Bij de selectie van de bedrijfsgegevens is het noodzaak hiermee rekening te houden.

Selectiecriteria zijn:

- de slibbelasting: de afname van het TZV-gecorrigeerd wordt als maatstaf voor het zuiveringsresultaat gebruikt. Dit is niet altijd correct. Voorafgaande selectie waarbij de relatie tussen de slibbelasting en het verwijderd TZV-gecorrigeerd wordt onderzocht, is derhalve noodzakelijk;

- het type en de afmetingen van de beluchtingsbak(ken). Minimaal dient onderscheid te worden gemaakt tussen omloopsystemen, compleet gemengde systemen en propstroomsystemen. Door de grootte van de rwzi, de slibbelasting en het aantal beluchtingsbakken in de selectie te betrekken wordt een indruk verkregen over de grootte van het beluchtingssysteem;
- het type en de uitvoering van het beluchtingssysteem. Het onderscheid tussen de beluchtingssystemen zoals in tabel 2 aangegeven kan in eerste instantie worden gebruikt.
Het is zonder cijfermatige onderbouwing vooraf niet aan te geven of selectie op fabrikant of uitvoeringsvorm nodig is.
Bij vrijwel alle typen beluchtingssystemen is aanvullende informatie over de uitvoeringsvorm onmisbaar: bij bellenbeluchting over tapered aeration of gelijkelijk verdeeld aangebrachte beluchting, terwijl bij puntbeluchters onderscheid wordt gemaakt tussen afgedekte, met oxy-cap afgedekte en niet-afgedekte systemen;
- de belasting van het beluchtingssysteem. Op basis van de ontwerpbelasting en de belasting van de beluchtingstank kan de actuele belasting van het beluchtingssysteem geschat worden. Gezien het maximale verschil op de specifieke zuurstofinbreng bij de normaal toegepaste belastingen lijkt een onderverdeling in 2 of 3 categorieën voldoende;
- de samenstelling van het slib/watermengsel: als selectie criterium zou hierbij de α -factor moeten worden gebruikt;
- de bedrijfsvoering: alleen in continu bedreven compleet gemengde systemen is het mogelijk het zuurstofgehalte aan te geven. In de overige systemen varieert het zuurstofgehalte in de beluchtingsbak door het systeem en het setpoint;
Bij een goede bedrijfsvoering zal het ingestelde setpoint met handhaving van het maximale zuiveringseffect zo laag mogelijk zijn. Er kan dus van worden uitgegaan dat wanneer het systeem als selectie criterium gebruikt is, de invloed van het zuurstofgehalte beperkt is.

4.6.6 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens

De meetwaarden CZV, N_{Kj} , NO_3^- en kWh worden frequent en met een grote nauwkeurigheid gemeten. Het kWh-verbruik van de beluchting alleen wordt niet in alle gevallen gemeten.

Vergelijking van de relatie tussen meerdere rwzi's vereist een zorgvuldige selectie, omdat de invloed van de diverse procesparameters zo groot is dat de gevonden resultaten een grote spreiding vertonen. Daarnaast zijn de belangrijkste selectiecriteria moeilijk aan te geven en zijn niet alle procesbepalende parameters goed meetbaar en vergen een schatting. Eén van de factoren betreft de samenstelling van het slibwatermengsel, welke voor de relatie kan worden weergegeven door de α -factor. De α -factor wordt tot nu toe zeer incidenteel gemeten en is derhalve (nog) niet bruikbaar. Om toch een selectie op dit aspect mogelijk te maken, kunnen het aandeel industrieel afvalwater en de slibindex worden gebruikt. Rwnzi's met een relatief hoog aandeel afvalwater van niet huishoudelijke aard en/of een hoge slibvolume-index zouden niet in de selectie moeten worden opgenomen, tenzij dit aantoonbaar niet van invloed is.

Aanbevolen wordt in elk geval naast het totale krachtverbruik eveneens apart het krachtverbruik van de beluchting te registreren.

4.7 Relatie tussen het einddrogestofgehalte van de zeefband en de slibsoort

4.7.1 Inleiding

Zeefbandpersen worden veel gebruikt voor verdergaande ontwatering van slib. Zowel voor de dimensionering als de bedrijfsvoering van slibnabehandeling is het drogestofgehalte van het aangevoerde slib een belangrijke parameter. Het resultaat van de ontwatering is afhankelijk van een groot aantal parameters (zie hoofdstuk 3.2.6). De slibsoort neemt hierbij een aparte plaats in, omdat deze parameter niet is te beïnvloeden. In dit hoofdstuk is daarom gekozen voor de relatie tussen de slibsoort en het einddrogestofgehalte, waarbij de invloed van de overige parameters zal worden getoetst.

4.7.2 Procesbeschrijving

In een zeefbandpersinstallatie spelen achtereenvolgens de volgende processen:

- conditionering;
- voorontwatering;
- invoer in perszone;
- persen;
- koekafwerp.

Bij de conditionering wordt het slib gemengd met poly-electroliet. Belangrijk is een goede menging zonder dat de vlokken worden stukgeslagen. Voor een goede menging wordt het poly-electroliet vooraf sterk verdund. Naast een goede menging is ook de vlokvormingstijd van belang. Deze bedraagt meestal enkele minuten.

Zowel het type poly-electroliet als de dosering zijn afhankelijk van de slibsoort. In het algemeen worden hoog-kationische poly-electrolieten gebruikt. De benodigde hoeveelheid poly-electroliet is afhankelijk van de hoeveelheid drogestof. Zowel over- als onderdosering leidt tot een lager drogestofgehalte en/of tot een slechter afscheidingsrendement. In de toekomst zal door een verdergaande voorontwatering het drogestofgehalte van het ingedikte slib naar de zeefbandpers toenemen en een steeds belangrijkere rol gaan spelen bij de conditionering van het slib. De menging tussen poly-electroliet en ingedikt slib kan hierbij problematisch worden.

Na de conditionering vindt door filtratie een voorontwatering plaats waarbij 50-75% van het vrije water wordt verwijderd. Deze filtratie kan gescheiden van het persgedeelte plaatsvinden in een zeeftrommel of op het eerste gedeelte van de zeefbandpers. Het belang van voorontwatering voor de perszone is groot. Bij een onvoldoende voorontwatering neemt zowel het einddrogestofgehalte als de capaciteit van de zeefbandpers af.

In de perszone wordt door de rollen een druk van 34-207 kPa bereikt. Niet alleen de druk is van belang ook de afschuifkrachten die optreden door het verschuiven van de banden onderling. De mate waarin de druk en de afschuifkrachten optreden is afhankelijk van het type zeefbandpers.

De capaciteit van de zeefbandpersen is afhankelijk van de bandsnelheid, de bandbreedte, de lengte van de voorontwateringszone, de banddruk en het actieve filteroppervlak waarop de overdruk op het slib wordt uitgeoefend.

Normaal wordt de capaciteit opgegeven in m³/h. Als slib aangevoerd wordt met een hoog drogestofgehalte (> 4-5%), moet worden gerekend met een maximale drogestofbelasting. In tabel 3 is voor enkele zeeffandpersinstallaties de capaciteit als functie van de bandbreedte weergegeven.

Tabel 3 Drogestofbelasting versus bandbreedte

v. Roll					
bandbreedte	1000	1500	2000		mm
capaciteit	4-7	7-11	11-18		m ³ /h
Bellmer					
bandbreedte	500	800	1200	1700	mm
capaciteit	2-4	4-8	8-12	15-20	m ³ /h
S-Hartley					
bandbreedte	400	1000	1500	2000	mm
capaciteit	3-7	8-18	12-27	18-36	m ³ /h

De drogestofbelasting is afhankelijk van de pers en de slibsoort en bedraagt 400-800 kg d.s. per effectieve meter bandbreedte per uur.

4.7.3 Procesbepalende parameters

Deze parameters worden in drie groepen onderverdeeld naar:

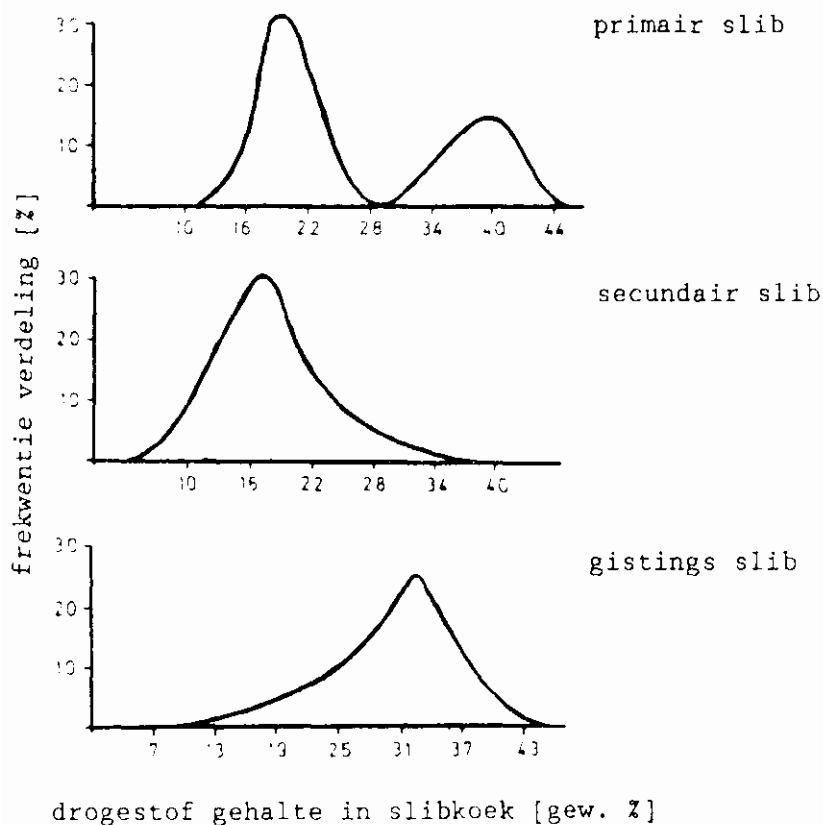
- a slibeigenschappen: anaëroob gestabiliseerd, aëroob gestabiliseerd, de ouderdom en de gloeirest;
- b de dimensionering en het type van de pers: de belangrijkste parameters zijn de mengenergie, de vlokvormingstijd, de hydraulische en de drogestofbelasting;
- c de operationele aspecten: type poly-electrolyet, de dosering en de bandsnelheid.

ad a

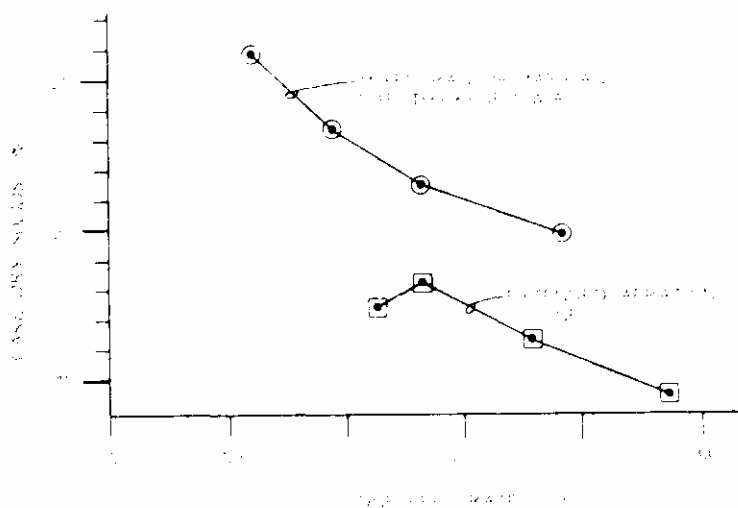
De slibeigenschappen beïnvloeden in sterke mate het bereikbare drogestofgehalte. In figuur 18 is dit in de vorm van frequentieverdelingen voor drie verschillende slibsoorten weergegeven. Uit de grote spreiding in de resultaten is af te leiden dat selectie op de herkomst van het slib alleen onvoldoende is. Onderzoek met behulp van de MFT-filtratietest heeft uitgewezen dat de ontwaterbaarheid van het slib afneemt met de ouderdom van het slib. Bij aëroob gestabiliseerd slib werd een afname van het drogestofgehalte van maximaal 2% vastgesteld wanneer het slib onder anaërobe omstandigheden langer dan 1 dag werd bewaard.

ad b

Voor de dimensionering van de pers is de belangrijkste parameter de belasting van de pers. In figuur 19 is de relatie tussen de aanvoer en het einddrogestofgehalte weergegeven.



Figuur 18 Resultaten van de slibontwatering met een zeefbandpers met verschillende slibsoorten [1]



Figuur 19 Effect van de belasting op het einddrogestofgehalte [14]

De uitvoering van de pers, waaronder de verblijftijd in de verschillende zones, de persdruk en het aantal rollen, beïnvloedt het einddrogestofgehalte. Omdat op deze punten de meeste persen verschillen, mag ook een verschil in ontwateringsresultaat worden verwacht. Vergelijkend onderzoek op diverse plaatsen in Nederland uitgevoerd, heeft dit bevestigd.

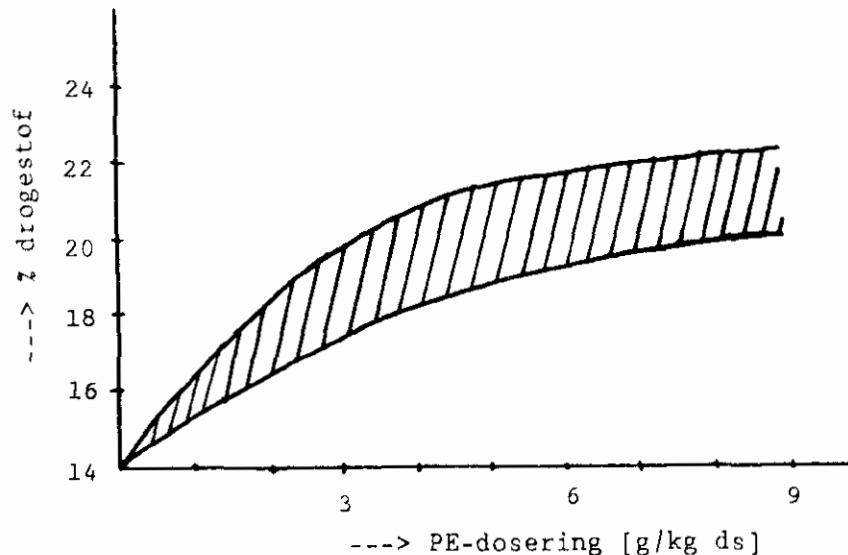
ad c

Uitgaande van een bestaande zeefbandpersinstallatie zijn de regelbare parameters het debiet, de mengenergie, de vlokvormingstijd, de bandsnelheid en de poly-electrolietdosering.

De bandsnelheid en het debiet zijn indirect gekoppeld doordat bij een optimale bedrijfsvoering de bandsnelheid zo afgesteld wordt dat het slib net niet buiten de banden treedt. Verhoging van het debiet leidt dan ook altijd tot een verhoging van de bandsnelheid.

De vlokvormingstijd is bij de meeste systemen niet instelbaar en daarmee dan alleen afhankelijk van het debiet. Bij het ontwerp wordt er derhalve van uitgegaan dat de minimale vlokvormingstijd bij een maximale hydraulische belasting niet wordt onderschreden.

Ook de mengenergie is bij de meeste installaties niet regelbaar. Door vergaande verdunning van het poly-electroliet en door dosering nabij de slibpomp wordt over het algemeen een voldoende mengintensiteit bereikt. Van veel grotere invloed is de poly-electrolietdosering. In figuur 20 is dit effect weergegeven.



Figuur 20 Effect van de poly-electrolietdosering op het einddrogestofgehalte

4.7.4 Selectiecriteria

Bij de selectie van gegevens moet met de volgende restricties rekening worden gehouden:

- de dosering, het type poly-electroliet, de mengintensiteit en de vlokvormingstijd moeten geoptimaliseerd zijn op basis van een maximaal einddrogestofgehalte. Daarnaast moet met een zo laag mogelijke bandsnelheid zijn gewerkt;
- omdat de verschillen tussen de persen groot zijn, moet geselecteerd kunnen worden op fabrikaat. Gezien het beperkte aantal leveranciers zal dit geen probleem zijn;
- onderscheid moet worden gemaakt tussen de hydraulische- en de drogestofbelasting. Bij lage drogestofgehalten (< 4-5%) van het aangevoerde slib is de hydraulische belasting bepalend;

- de aard van het slib moet duidelijk zijn. Daarnaast kan onderscheid worden aangebracht op basis van de gloeirest en/of de slibleeftijd. Omdat bij chemische defosfatering het aandeel chemisch slib van invloed is op het drogestofgehalte, moet hierop worden geselecteerd.

4.7.5 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van bedrijfsgegevens

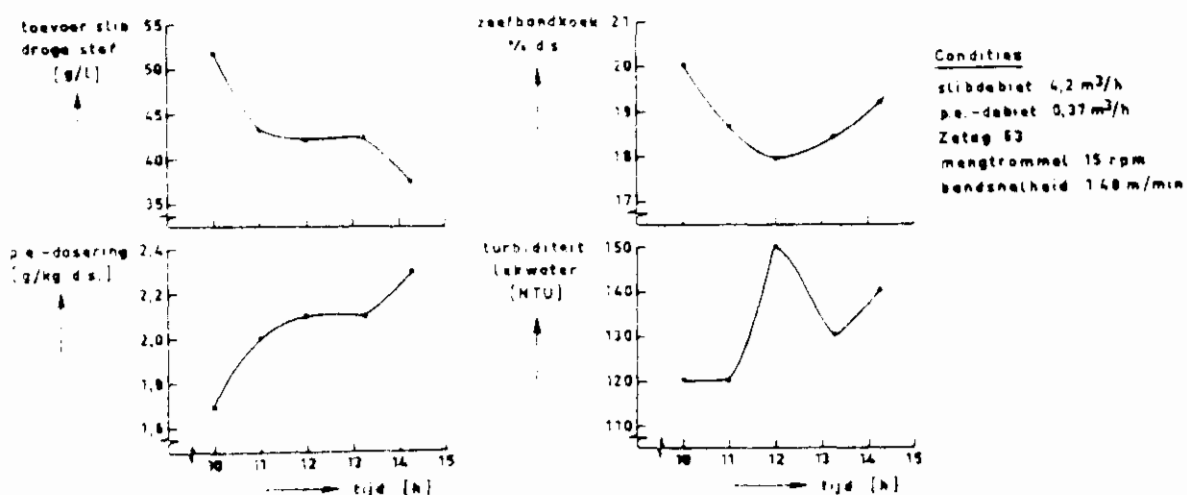
Gegevensbestanden zijn goed bruikbaar, omdat het drogestofgehalte frequent wordt gemeten en de verschillende slibsoorten worden onderscheiden.

De spreiding in de resultaten zal groot zijn, omdat moet worden betwijfeld of altijd kan worden uitgegaan van een optimale bedrijfsvoering. Dit wordt veroorzaakt door de huidige procesvoering waarbij veelal op basis van visuele waarnemingen de dosering, het debiet en de bandsnelheid worden ingesteld. Ter illustratie is figuur 21 bijgevoegd waarin het effect gedurende een werkdag is weergegeven van een dalend slibgehalte van het uit de indikker aangevoerde slib. Zonder continue meting van de aangevoerde drogestof en bijsturing van het proces daalt het einddrogestofgehalte. Het proces wordt niet optimaal bedreven en een steekproefsgewijs bepaald einddrogestofgehalte is niet representatief voor de totale ontwaterde slibmassa.

Selectie op de eigenschappen van het slib, de belasting en het type pers zullen de bandbreedte verkleinen.

De eigenschappen van het slib zullen door veranderingen in de voorafgaande biologische processen niet constant zijn. Bij de verwerking van de bedrijfsgegevens moet daarom, afhankelijk van de verblijftijd in de verschillende zuiveringsstappen, worden uitgegaan van gemiddelde waarden over perioden.

Het verdient aanbeveling de betrouwbaarheid van de metingen aan de slibmonsters (representatief voor de totale aangevoerde en afgepompte slibmassa) te vergroten. Dit houdt veelal frequenter meten in.



Figuur 21 Effect van een dalend ingaand drogestofgehalte op de prestaties van een zeefbandpers [9]

4.8 Relatie tussen de gasproductie en de afbraak van het slib en het organisch drogestofgehalte in vers slib

4.8.1 Inleiding

Het slibgistingproces is één van de meest toegepaste stabilisatieprocessen. Het verkrijgen van een niet-rotbaar eindprodukt, de afname van de hoeveelheid drogestof, de gasproductie en de verbetering van de ontwaterbaarheid zijn belangrijke aspecten.

Als controleparameters voor de stabilisatie worden de afname van de (organische) drogestof en de gasproductie gebruikt. Het niet-rotbaar zijn is niet met eenvoudige middelen te bepalen.

Niet alleen bij de procescontrole ook bij de dimensionering van de sliblijn en de energievoorziening zijn de afname van de hoeveelheid drogestof en de gasproductie belangrijke parameters.

In dit hoofdstuk zal het gistingproces aan de hand van deze twee grootheden beschreven worden.

4.8.2 Procesbeschrijving

De anaërobe gisting is een zeer complex proces en verloopt in meerdere achtereenvolgende stappen. Na de hydrolyse worden complexe organische verbindingen omgezet in lagere organische vetzuren. De hiervoor benodigde bacteriën zijn facultatief anaëroob, niet erg kritisch ten aanzien van het milieu en hebben een hoge groeisnelheid.

Vervolgens worden de organische zuren door strikt anaërobe bacteriën omgezet in voornamelijk CH_4 en CO_2 . De groeisnelheid van deze bacteriën is laag en er worden zekere eisen gesteld aan het milieu (pH, temperatuur).

De maximale afbraak van de organische drogestof (o.d.s.) onder optimale omstandigheden wordt bepaald door de niet-afbreekbare organische fractie in het slib. In de literatuur worden afbraakpercentages genoemd van 40-60% voor primair slib en 20-50% voor surplus-slib op basis van het CZV of het o.d.s.-gehalte.

Het verschil in afbraak van verschillende primaire slibsoorten is het gevolg van verschillen in het aandeel van de koolhydraten, de vetten en de eiwitten. In de literatuur worden hiervoor waarden gegeven welke variëren voor koolhydraten van 17-44%, voor eiwitten van 19-36% en voor vetten van 18-45%.

Het afbraakpercentage van eiwitten is gelijk aan circa 50% en dat van koolhydraten 70-80%. Bij voorafgaande anaërobe afbraak in het rioolstelsel zal het afbraakpercentage afnemen.

De afbraak van surplus- en humusslib is afhankelijk van de mate van mineralisatie in de aërobe zuivering. De afbreekbare fractie bestaat hier grotendeels uit de actieve biomassa. Bij een toename van de slibleeftijd zal het aandeel van de actieve biomassa in het slib en daarmee het afbraakpercentage afnemen.

Op basis van het CZV geldt voor de gisting de volgende massabalans:

$$\text{CZV}_{\text{in}} = \text{CZV}_{\text{uit}} + \text{CZV}_{\text{biomassagroei}} + \text{CZV}_{\text{methaan}}$$

De geringe aanwas van de biomassa maakt het mogelijk de vergelijking te vereenvoudigen tot:

$$\text{CZV}_{\text{in}} = \text{CZV}_{\text{uit}} + \text{CZV}_{\text{methaan}}$$

1 mol CH_4 is equivalent aan 2 mol O_2 , zodat 1 kg afgebroken CZV overeenkomt met $0,35 \text{ m}^3$ methaangas (0°C en 1 atmosfeer).

Indien de gasproductie wordt gerelateerd aan verwijderde o.d.s, dan is de slibsamenstelling van belang. 1 kg afgebroken o.d.s, met de algemene formule $\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_3\text{N}$, levert $0,7 \text{ m}^3$ methaan.

Voor koolhydraten, eiwitten en vetten zijn de methaanproducties respectievelijk 395, 497 en 850 l/kg o.d.s. afgebroken.

Vetrijk slib geeft dus een hogere methaangasproductie dan vetarm slib. Het CO_2 -gehalte wordt eveneens bepaald door de samenstelling van het materiaal. Voor koolhydraten, eiwitten en vetten is het CO_2 -gehalte respectievelijk gelijk aan 50, 29 en 32%.

In de praktijk komen zowel één- als tweetraps gistingen voor. Bij de tweetraps gisting wordt de tweede tank niet verwarmd en gemengd. De afname van de temperatuur in de tweede tank is echter gering, zodat nog een verdere afbraak en gasproductie plaatsvindt.

4.8.3 Maatgevende parameters voor de beschrijving van de relaties

In de literatuur worden voor de beschrijving van het gistingsproces de volgende relaties gebruikt:

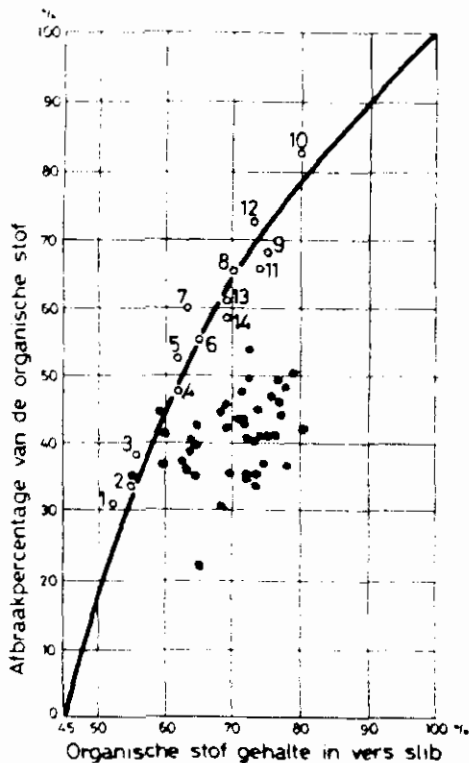
- | | | | |
|----|----------------------------------|---|-----------------------------|
| 1. | gehalte o.d.s. in uitgegist slib | - | gehalte o.d.s. in vers slib |
| 2. | afbraakpercentage o.d.s. | - | gehalte o.d.s. in vers slib |
| 3. | gasproductie | - | ingevoerde d.s. |
| 4. | gasproductie | - | ingevoerde o.d.s. |
| 5. | gasproductie | - | afgebroken o.d.s. |

Uit de procesbeschrijving is af te leiden dat bij de afbraak in de gisting niet het o.d.s.-gehalte maar het biologisch afbreekbare deel van belang is. Omdat meting hiervan niet eenvoudig is en er derhalve in de praktijk geen gegevens van bekend zijn, wordt als alternatief het o.d.s.-gehalte gebruikt.

Het gehalte aan o.d.s. in het verse slib is afhankelijk van een aantal factoren waarvan de belangrijkste de afbraak in het riool, het type en de belasting van de zuivering zijn.

Van de genoemde relaties voor de gasproductie zal de relatie tot de afgebroken o.d.s. de meest constante zijn. Bij de weergave van de gasproductie zou moeten worden uitgegaan van de methaanproductie. In de praktijk blijken de methaangehalten van slib van huishoudelijke afkomst zo weinig te variëren dat de fout hierdoor gering is.

Zoals uit de procesbeschrijving blijkt zou het de voorkeur hebben ook het CZV in de metingen te betrekken. Op basis van het CZV kunnen massabalansen gemaakt worden waarin ook het methaangas opgenomen is. De relatie tussen het afbraakpercentage en het o.d.s.-gehalte van het verse slib is weergegeven in figuur 22. Uit de grafiek blijkt dat, uit Amerikaans onderzoek een goede relatie gevonden werd, terwijl deze voor de Nederlandse situatie niet aanwezig was.



Figuur 22 Afbraakpercentage van organische stof als functie van het organischstofgehalte volgens Amerikaans en Nederlands onderzoek [10]

4.8.4 Procesbepalende parameters

Het verloop van het gistingsproces is naast de samenstelling van het slib afhankelijk van de volgende procesparameters:

- a de verblijftijd;
- b de temperatuur;
- c de pH;
- d de menging;
- e de aanwezigheid van toxische stoffen.

ad a

De invloed van de verblijftijd op de afbraak en de gasproductie is voor de Nederlandse installaties onderzocht door STORA [10]. In de figuren 23 en 24 is deze relatie weergegeven. Geconcludeerd wordt dat de specifieke gasproductie en de afbraak het best beschreven kunnen worden met een eerste-orderrelatie; op basis hiervan neemt de gasproductie met 20% toe bij een verhoging van de verblijftijd van 20 naar 40 dagen.

ad b

Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat bij de mesofiele gisting tussen 28 en 35°C de afbraak van organische stof vrijwel maximaal is. Statistisch onderzoek (CBS) van de Nederlandse installaties leert dat vrijwel alle gistingen binnen dit temperatuurtraject werkzaam zijn.

ad c

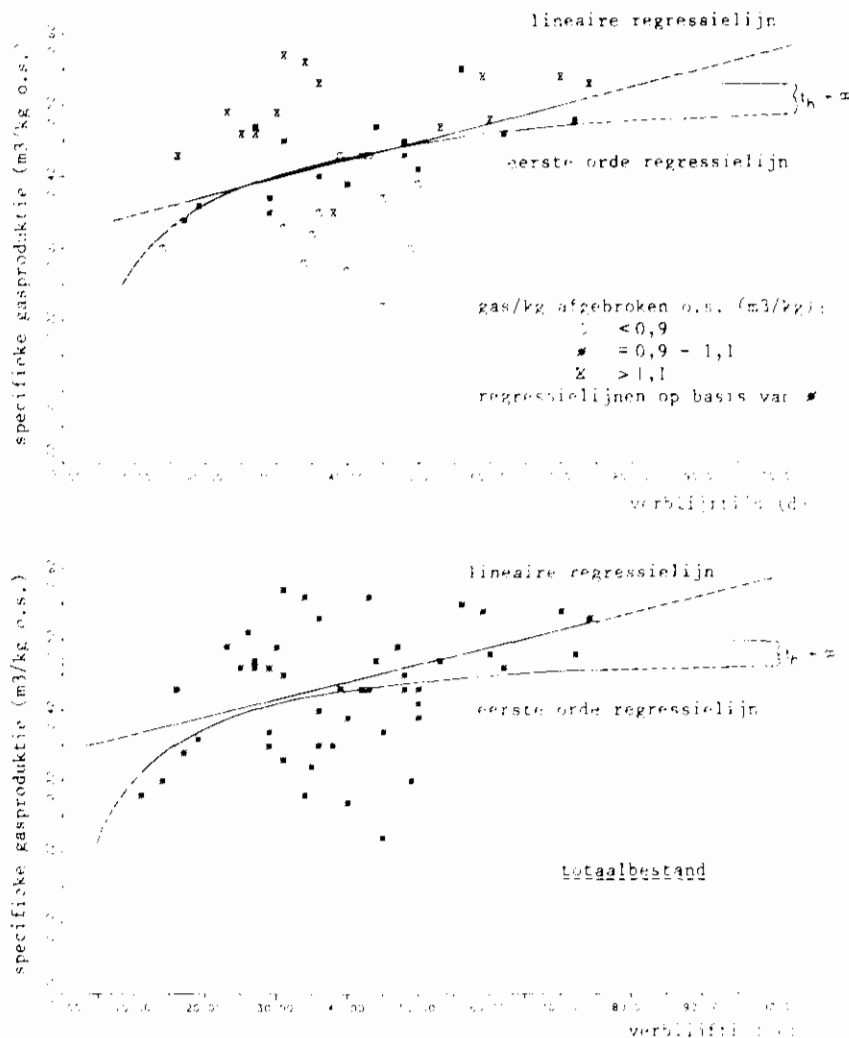
Bij een goed werkend gistingsproces ligt de pH tussen 6,5-7,6.

ad d

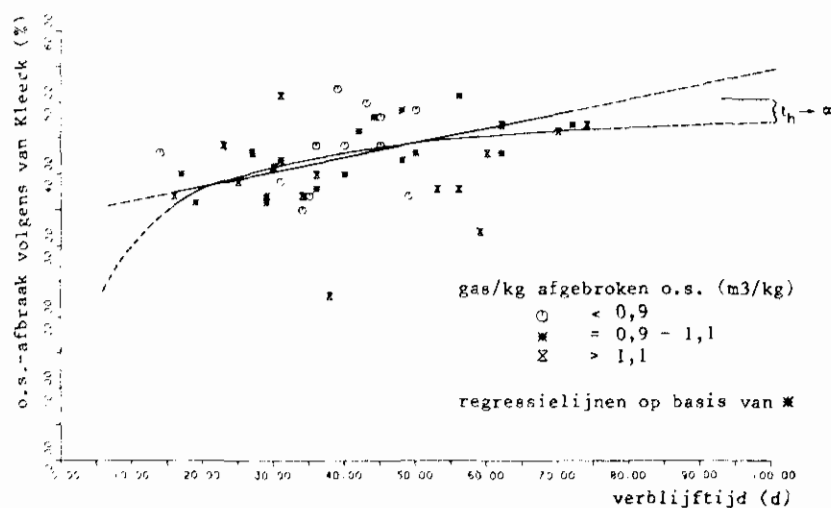
Een goede menging is vereist om temperatuurgradiënten te voorkomen, om een goede menging van het actieve bacteriemateriaal met het verse slib te krijgen en om de stofwisselingsprodukten over de gehele tankinhoud te verdelen. Het effect van onvoldoende menging manifesteert zich als een afname van het effectieve volume en daarmee als een afname van de verblijftijd. Praktijkervaringen in Nederland met gistingstanks met gasinblazing hebben uitgewezen dat bij normale temperatuur en verblijftijd kan worden volstaan met mengtijden van ongeveer 6 h/d.

ad e

Voor toxische stoffen wordt onderscheid gemaakt tussen chronische toxiciteit en acute toxiciteit. In de laatste situatie vindt meestal een zodanige verstoring van het biologisch proces plaats dat het gistingproces stopt. Bij chronische toxiciteit zullen de biologische processen geremd worden. De verblijftijd in het systeem zal hierdoor bij een gelijkblijvende afbraak moeten worden vergroot. In de literatuur [10] worden voor verschillende stoffen kritische waarden aangegeven voor remming en voor het geheel stoppen van het gistingproces.



Figuur 23 Relatie tussen verblijftijd en specifieke gasproductie [10]



Figuur 24 Relatie tussen verblijftijd en afbraak van organische stof
 [10]

4.8.5 Selectiecriteria

Uit de procesbeschrijving en de van invloed zijnde procesparameters is af te leiden dat de samenstelling van het slib van grote invloed is. Omdat analyse van de afzonderlijke componenten praktisch niet uitvoerbaar is, moet de samenstelling van het slib op een andere wijze benaderd worden. Een verdere selectie kan worden aangebracht door bij het primaire slib verschil aan te brengen tussen slib afkomstig uit een persleiding en uit een vrijvervalriool. Gezien de invloed van de temperatuur op de afbraak in het rioolstelsel zullen temperatuurtrajecten moeten worden ingevoerd. Bij het surplus-slib moet als maat voor de reeds verkregen mineralisatie op de slibleeftijd worden geselecteerd. Bij de selectie op basis van de procesparameters is het van belang rekening te houden met de temperatuur, de verblijftijd, de aanwezigheid van toxische stoffen. Indien de temperatuur ligt tussen de 28 en 35°C hoeft, gezien het geringe effect op het gistingproces, hiermee bij de selectie geen rekening gehouden te worden.

Bij de beoordeling van het effect van de verblijftijd kan worden uitgegaan van de in de figuren 23 en 24 weergegeven relatie. Bij verblijftijden van ongeveer 20 dagen zou de afbraak en de gasproductie over een tijdsinterval van 5 dagen constant kunnen worden verondersteld. Is de verblijftijd groter dan 30 dagen dan is een tijdsinterval van 10 dagen reëel.

Omdat weinig praktijkgegevens bekend zijn over een remmende werking op het gistingproces moeten rwzi's met een hoog industrieel aandeel in de belasting onderscheiden worden van de huishoudelijke rwzi's.

4.8.6 Mogelijkheden en knelpunten bij de verwerking van de bedrijfsgegevens

De benodigde parameters voor het opstellen van deze relaties worden frequent gemeten. Uit onderzoek [10] aan de Nederlandse gegevens (figuur 22) blijkt dat berekeningen op basis van de massabalans onnauwkeurig zijn doordat de metingen onvoldoende nauwkeurig worden uitgevoerd en de hoeveelheid slib in de waterstroom veelal wordt verwaarloosd. Redelijke resultaten worden bereikt door gebruik te maken van de

gloeiresten (van Kleeckberekening). Door zijn relatief grote verblijftijd fungeert de gisting als een buffer. Uitgaande van een goede menging zullen het drogestofgehalte en de gloeirest van het slib slechts langzaam kunnen veranderen. De bemonstering kan daardoor steekproefsgewijs plaatsvinden. Afhankelijk van de mate van buffering zal de spreiding in het organisch drogestofgehalte en het drogestofgehalte van het verse slib groot kunnen zijn. Een betrouwbaar resultaat kan alleen worden verkregen indien de bemonsteringsfrequentie voldoende hoog ligt. De gasproductie daarentegen reageert betrekkelijk snel op de invoer van het slib. Om de gasproductie vast te stellen, is op de meeste rwzi's een gasdebitmeting aanwezig. Het aandeel van het gas dat opgelost in het slib wordt afgevoerd en derhalve niet bij de gasproductie wordt gemeten is gering (< 5%) en kan daarom worden verwaarloosd. Een verbetering van de betrouwbaarheid is mogelijk door een verdergaande selectie op de samenstelling van het slib en een aantal parameters van het gistingsproces. Uitgezonderd de samenstelling van het slib worden de overige parameters frequent gemeten. Voor de samenstelling van het primair slib kan selectie op rioolsysteem en het aandeel industrieel afvalwater plaatsvinden. Voor de samenstelling van het surplusslib kan de slibleeftijd worden gehanteerd. Het verdient aanbeveling het organisch drogestof in de aanvoer naar de gisting frequenter te meten in verband met de representativiteit van de slibstroom.

5 UITWERKING VAN DE RELATIES OP BASIS VAN DE N-VERWIJDERING MET BEHULP VAN HET GEGEVENSBESTAND

In hoofdstuk 4 zijn op basis van theoretische beschouwingen voor enkele procesonderdelen de relaties tussen verschillende procesonderdelen geïnventariseerd en nader uitgewerkt. Op basis hiervan zijn bij wijze van vingeroefening de stikstofgegevens van een aantal rwzi's verwerkt.

Voor deze "vingeroefening" is slechts een beperkt aantal rwzi's in het onderzoek betrokken. Bij de beschouwing van de resultaten (paragraaf 3) dient hiermee rekening te worden gehouden.

5.1 Selectie bedrijfsgegevens

Rwzi's met afwijkende procesomstandigheden (sterke overbelasting, hoge slibvolume-index, aanvoer toxische stoffen, chemicaliëndosering, bedrijfsstoringen) en daardoor afwijkende procesresultaten bleven buiten beschouwing (eerste selectie).

Nagegaan is welke ondergrenzen voor de effluentkwaliteit haalbaar zijn en onder welke procesomstandigheden zij kunnen worden bereikt; met name de maximale slibbelasting en de vereiste minimale aërobe slibleeftijd voor een effluentkwaliteit van 1-2 mg/l NH_4^+ en 10 en 20 mg/l N_{tot} .

Voor individuele rwzi's, die hier niet aan voldeden, is naar de oorzaak van afwijken gezocht.

Voor de rwzi's die aan de genoemde effluenteisen voldoen, worden de relaties tussen de verschillende procesparameters aangegeven (tweede selectie).

Gebruik is gemaakt van bedrijfsgegevens van:

- Debiet
- CZV
- BZV
- N_{Kj}
- NH_4^+
- N_{tot}
- $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$
- Temperatuur
- pH
- Slibproduktie
- Slibgehalte
- Slibvolume-index
- Droogrest
- Beluchtingsenergie.

Voor de vraagstelling in deze "vingeroefening" kan gebruik worden gemaakt van zowel jaargemiddelde gegevens als daggegevens.

Het gebruik van daggegevens is noodzakelijk indien relaties worden bestudeerd die gevoelig zijn voor wijziging in bedrijfs- of procesomstandigheden, zoals de temperatuur en het effect van een piekbelasting.

Omdat daggegevens sterk afhankelijk zijn van wisselingen in de bedrijfsvoering en de procesomstandigheden, kunnen deze de procesparameters sterk te beïnvloeden. Het in relatie samenvoegen van de daggegevens van meerdere rwzi's resulteert veelal in een puntenwolk, waarvan screening niet mogelijk is. Hiervoor zou men de bedrijfsvoering van die specifieke dagen moeten achterhalen. Veelal zal dit niet mogelijk zijn door het ontbreken van deze gegevens.

Bij het gebruik van daggegevens is men veelal beperkt tot één rwzi. Mogelijk biedt een selectie van daggegevens op afwijkende procesomstandigheden (o.a. rwa-aanvoer, SVI, temperatuur en bedrijfsstoringen) wel de mogelijkheid gegevens van meerdere rwzi's te combineren.

Bij het gebruik van jaargemiddelde gegevens zijn bovengenoemde effecten voor een groot deel uitgevlakt. Nadeel is dat geen relaties met de temperatuur kunnen worden gelegd.

Bij het gebruik van jaargemiddelde gegevens dient rekening te worden gehouden met niet zichtbare invloeden van pieken in de hydraulische aanvoer (mogelijke uitspoeling van slib), pieken in de stikstofaanvoer, het verloop van de slibproductie en het beluchtingsregime. Voorkeur dient te worden gegeven aan de invoering van geselecteerde jaargemiddelden.

5.2 Selectie relaties

Er is onderscheid gemaakt in resultaten van het zuiveringsproces en de procesomstandigheden waaronder dit is gerealiseerd. Bij het weergeven van relaties is gebruik gemaakt van de volgende procesparameters:

Resultaten van het zuiveringsproces

a) NH₄'-effluent

Om drie redenen moet worden afgezien van het gebruik van N_{Kj} in het effluent:

- eliminatie van de invloed van organische stikstof (N_{org}) op de te realiseren effluentkwaliteit, via zwevende stof in het effluent;
- beoordeling van het nitrificatie- en denitrificatieproces dat primair geschiedt op basis van NH₄' en NO₂'/NO₃';
- het gehalte aan N_{org} in het effluent kan niet, zoals nitrificatie en denitrificatie, worden beïnvloed door een specifieke procesvoering.

b) N_{tot}-effluent

Als N_{tot}-gehalte in het effluent wordt gehanteerd de som van het NH₄'- en het NO₂'/NO₃'-gehalte. De bezwaren verbonden aan het gebruik van het N_{Kj}-gehalte worden hiermee voorkomen.

c) N_w/N_{max}

Het N_{Kj}-verwijderingspercentage wordt veel gehanteerd om de mate van nitrificatie in een biologisch zuiveringssysteem weer te geven. Bezwaar hiervan is dat geen rekening wordt gehouden met de N_{Kj} die via het slib wordt verwijderd en derhalve niet wordt genitrificeerd. Ook wordt geen rekening gehouden met het aandeel N_{org} in de N_{Kj}.

Om het nitrificatieproces beter te kunnen beoordelen is geen gebruik gemaakt van het N_{Kj}-verwijderingspercentage maar van de werkelijke hoeveelheid genitrificeerde NH₄' t.o.v. de maximaal te nitrificeren hoeveelheid NH₄', op basis van de opgestelde N-balans, uitgedrukt door de term N_w/N_{max}.

d) Genitrificeerde N

De genitrificeerde stikstof is uitgerekend op basis van de N-balans.

Met behulp van deze parameter is een relatie met de de nitrificatie-capaciteit weer te geven.

Procesomstandigheden

De aërobe slibleeftijd is een belangrijke parameter, die moeilijk correct is te berekenen. Dit probleem werkt door in het weergeven van de relaties met het N_{Kj} - of NH_4^+ -gehalte in het effluent. De aërobe slibleeftijd wordt in de praktijk benaderd via de nitrificatiecapaciteit. De koolstofademing (BZV-verwijdering, slibademing en denitrificatie) heeft grote invloed op de resterende zuurstof, beschikbaar voor nitrificatie (zie bijlage 1).

De nitrificatiecapaciteit is derhalve afhankelijk van:

- de slibleeftijd
- de zuurstofinbreng
- de koolstofademing.

De zuurstofinbreng is niet direct meetbaar, maar moet worden berekend uit de beluchtingsenergie. De zuurstofinbreng kan eenvoudig worden uitgedrukt in de beluchtingsenergie. De volgende relatie ontstaat:

$$\frac{\text{Beluchtingsenergie } (E_{\text{bel.}})}{\text{Koolstofademing } (C-O_2)} \times \text{Slibleeftijd } (S_l) \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg } O_2} \cdot \text{d} \right]$$

Bovenstaande relatie is geen op zichzelf staande parameter die direct de aërobe slibleeftijd weergeeft, maar dient als maatstaf hiervoor. De relatie is geïntroduceerd om een vergelijking onder verschillende procesomstandigheden per zuiveringsinrichting en van verschillende zuiveringsinrichtingen onderling mogelijk te maken. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de aërobe slibleeftijd.

Bij het weergeven van relaties dient ook het type beluchtingstank in beschouwing te worden genomen. De verschillen tussen een omloop-, propstroom- en "complete mix"-systeem zijn de volgende:

- een omloopsysteem heeft een hoge interne recirculatie terwijl bij een propstroom- en "complete mix"-systeem de recirculatie afhankelijk is van het retourlibdebiet;
- een propstroomsysteem vertoont een O_2 -gradiënt over de lengte van de beluchtingstank, i.t.t. een "complete mix"-systeem waar in de gehele beluchtingstank één O_2 -gehalte heerst.

Met behulp van de parameters uit 5.2 is onderzocht in hoeverre relaties bestaan met:

- BZV-slibbelasting
- N_{Kj} -slibbelasting
- Hydraulische verblijftijd in de beluchtingstank
- Slibleeftijd
- Aërobe slibleeftijd
- Nitrificatiecapaciteit benaderd door $E_{\text{bel.}}/C-O_2 \times S_l$
- Specifieke beluchtingsenergie ($E_{\text{bel.}}/\text{Debiet}$)
- Temperatuur
- Type rwzi
- SVI.

5.3 Resultaten

5.3.1 Inleiding

Toetsing van bedrijfsgegevens heeft plaatsgevonden op basis van totaal 26 rwzi's (16 oxydatiesloten en 10 actief-slibsystemen), waarvan van 24 rwzi's de jaren 1986 en 1987 in beschouwing zijn genomen en van 2 rwzi's ook het jaar 1988.

De 16 oxydatiesloten zijn alle uitgevoerd als omloopsysteem. Van de 10 actief-slibinstallaties zijn 8 als propstroomsysteem en 2 als "complete mix"-systeem uitgevoerd.

Na de selectie op afwijkende procesomstandigheden resteerden 18 rwzi's (13 oxydatiesloten en 5 actief-slibsystemen), waarvan 4 rwzi's met één bedrijfsjaar.

Na toetsing van de gegevens aan de gestelde effluenteisen resteerden 6 oxydatiesloten en 5 actief-slibsystemen.

In de grafieken worden de oxydatiesloten aangeduid met OS en de actief-slibsystemen met AS.

5.3.2 Nitrificatie

Wanneer de aërobe slibleeftijd groter is dan de minimale aërobe slibleeftijd kan vergaande nitrificatie plaatsvinden. Het nitrificatieproces is temperatuurafhankelijk, zodat eigenlijk alleen daggegevens bruikbaar zijn. Bij het gebruik van jaargemiddelde gegevens ontstaan drie situaties:

- het gehele jaar nitrificatie;
- alleen bij hogere temperatuur nitrificatie;
- het gehele jaar geen nitrificatie.

Jaargemiddelde gegevens

Bij nitrificatie lijkt een selectie op systeem niet noodzakelijk, omdat het nitrificatieproces, naast de aërobe slibleeftijd, verder alleen afhankelijk is van de beschikbare O_2 voor nitrificatie.

Het grote belang van de aërobe slibleeftijd wordt weergegeven door de relatie met het NH_4^+ -gehalte in het effluent (figuren 25 en 26). Boven een bepaalde aërobe slibleeftijd is een zeer laag NH_4^+ -gehalte in het effluent haalbaar.

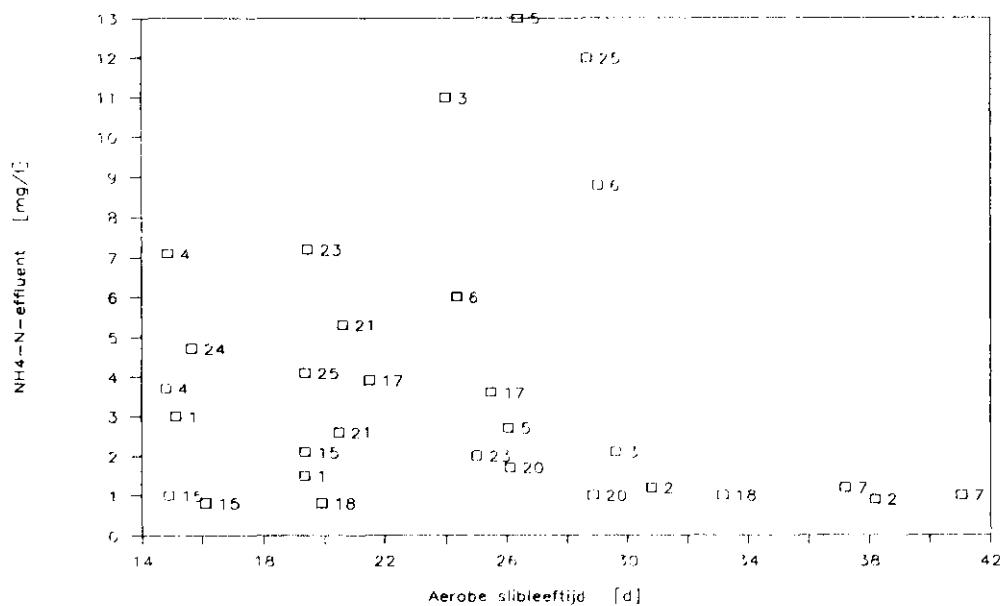
Indien een NH_4^+ -gehalte in het effluent wordt gewenst van 1 à 2 mg/l, dient een minimale aërobe slibleeftijd van 14 dagen te worden gehandhaafd.

Uit de figuren 27 en 28 kan worden opgemaakt dat zeer lage NH_4^+ -gehalten in het effluent haalbaar zijn tot een slibbelasting van 0,055 kg BZV/kg d.s.d. Bij hogere slibbelastingen zal, afhankelijk van de temperatuur en dus de aërobe slibleeftijd, slechts een deel van het jaar nitrificatie optreden.

Indien de aërobe slibleeftijd het gehele jaar voldoende groot is om nitrificatie te laten plaatsvinden, kan een volledige nitrificatie plaatsvinden tot 1 à 2 mg/l NH_4^+ in het effluent. De slibbelasting is dan kleiner dan 0,055 kg BZV/kg d.s.d.

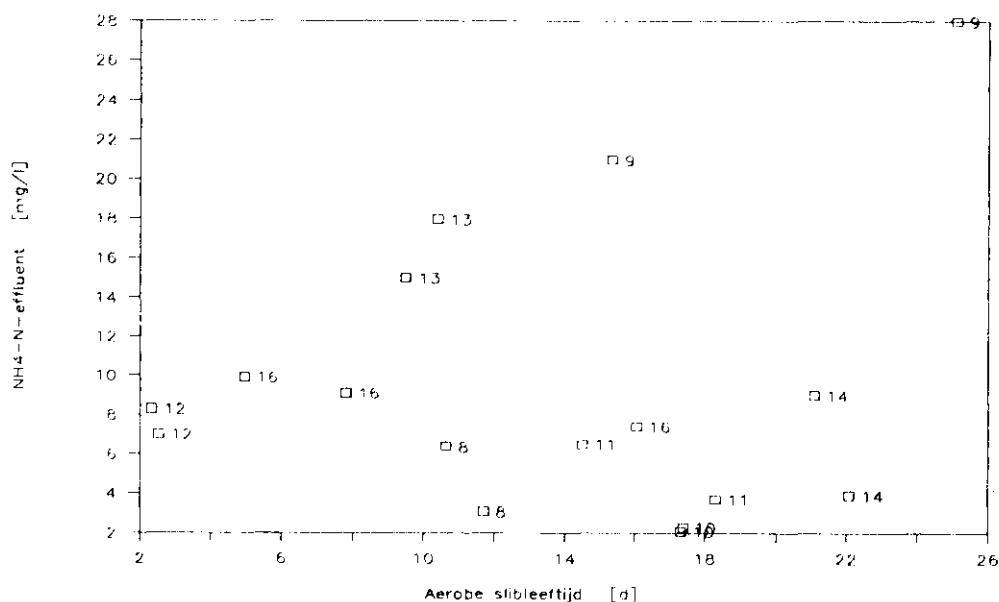
De rwzi's 11, 13, 14 en 16 betreffen actief-slibinstallaties (prop-stroomsystemen). Opvallend zijn de rwzi's 5, 6 en 25. De oorzaak voor het hogere NH_4^+ -gehalte van oxydatiesloot 5 (omloopsysteem) wordt verklaard met de te geringe beluchting, door het regelmatig uitvallen van de rotoren. Voor rwzi 6 kan de oorzaak worden gezocht in de hoge N-aanvoer in de winter: de absolute hoeveelheid genitrificeerde NH_4^+ is hoog, evenals de O_2 -inbreng. Het percentage genitrificeerde NH_4^+ (N_w/N_{\max}) bedraagt echter 80 % van de totaal te nitrificeren hoeveelheid NH_4^+ . Voor het afwijkende gedrag van rwzi 25 is, op basis van de bedrijfsgegevens, geen verklaring mogelijk.

OS



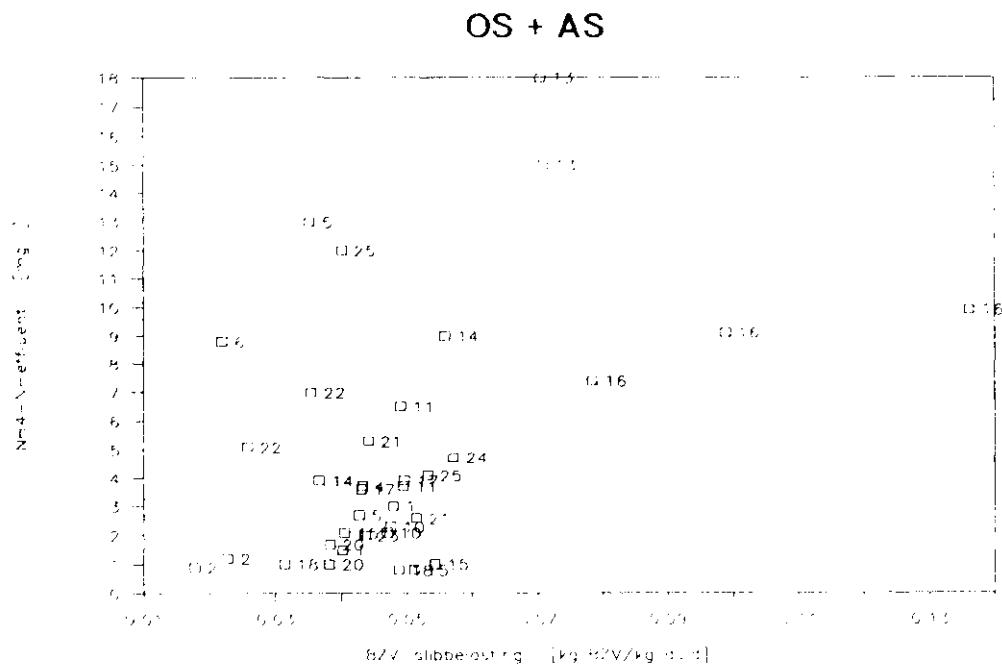
Figuur 25 NH_4^+ -effluent versus aërobie slibleeftijd. Jaargemiddelden van alle oxydatiesloten

AS

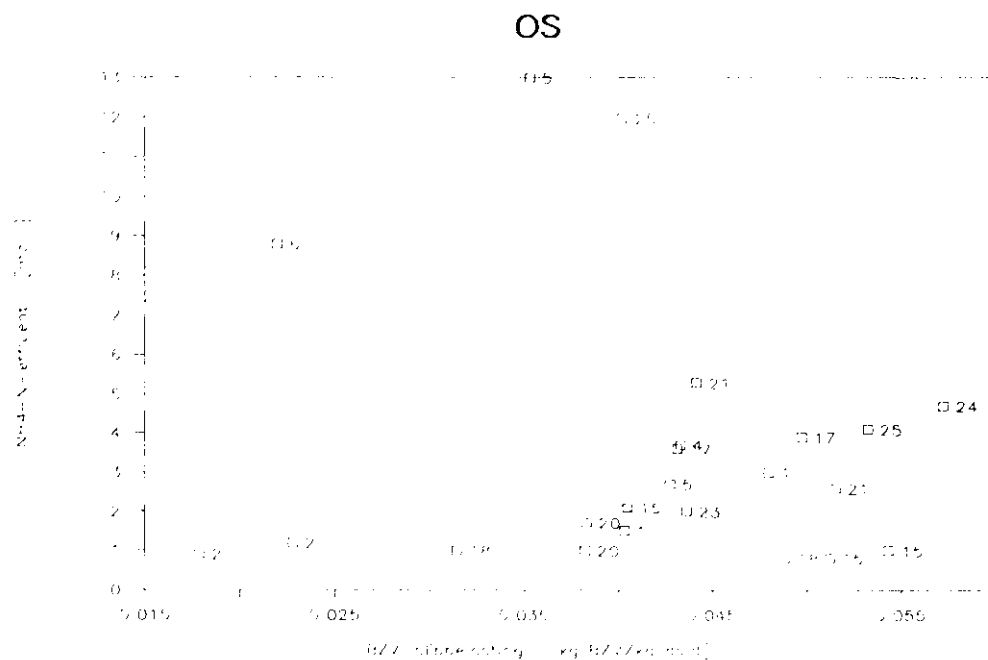


Figuur 26 NH_4^+ -effluent versus aërobie slibleeftijd. Jaargemiddelden van alle actief-slibsystemen

De hydraulische verblijftijd, voor zowel de oxydatiesloten als actief-slibsystemen is niet aantoonbaar van invloed op het NH_4^+ -gehalte in het effluent, bij een verblijftijd in de beluchtingstank groter dan ca. 7 tot 10 uur.



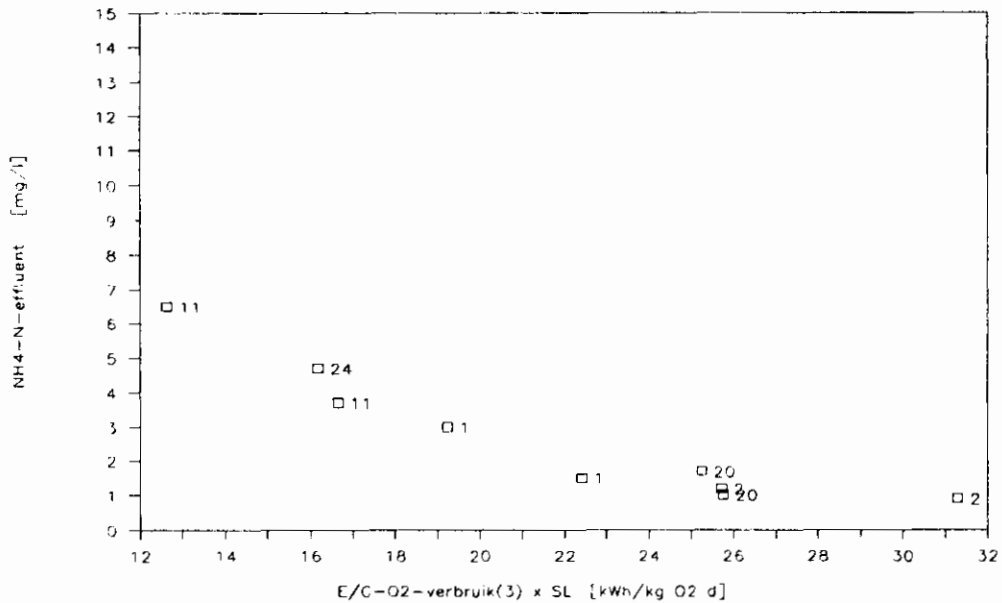
Figuur 27 NH_4^+ -effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van de rwzi's na 1^e selectie



Figuur 28 NH_4^+ -effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van de oxydatiesloten na 1^e selectie

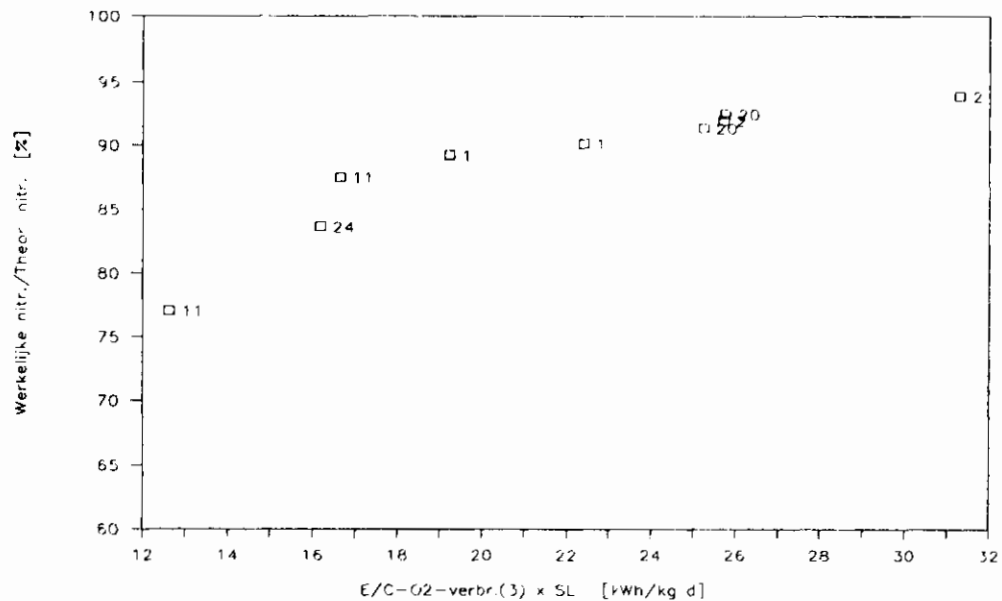
Het verband tussen het NH_4^+ -gehalte in het effluent en de genitrificeerde hoeveelheid NH_4^+ toont aan dat er een directe relatie bestaat met de hoeveelheid zuurstof, beschikbaar voor nitrificatie (figuren 29 t/m 34). Deze hoeveelheid zuurstof is afhankelijk van de koolstofademing en de slibleeftijd, omdat de slibleeftijd van invloed is op de slibademing.

OS

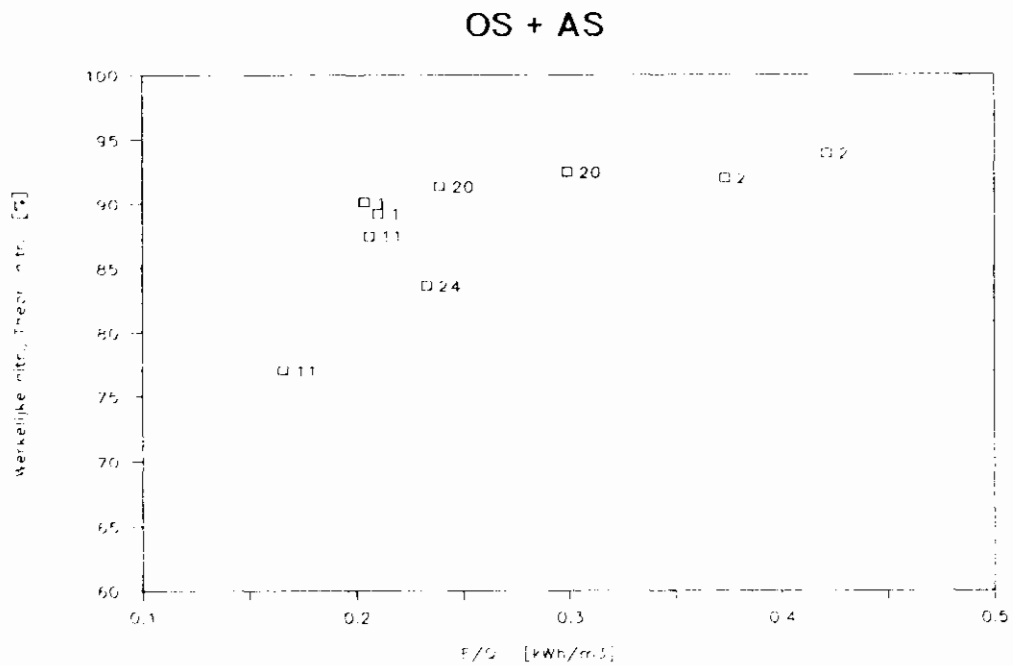


Figuur 29 NH_4^+ -effluent versus nitrificatiecapaciteit. Jaargemiddelden van de oxydatiesloten na 2^e selectie

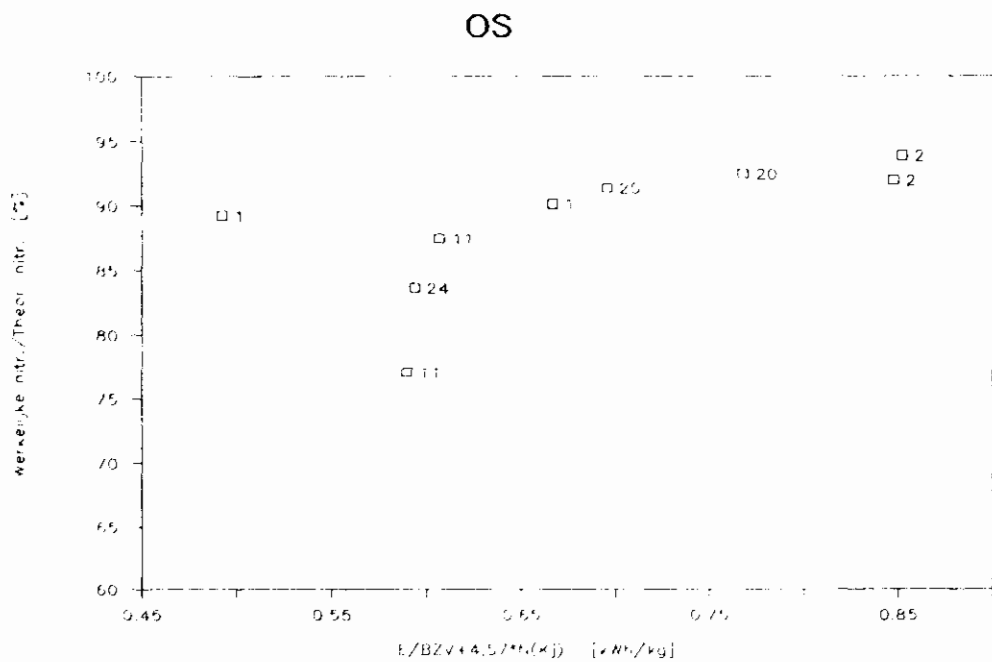
OS + AS



Figuur 30 N_w/N_{max} versus nitrificatiecapaciteit. Jaargemiddelde gegevens van de rwzi's na 2^e selectie

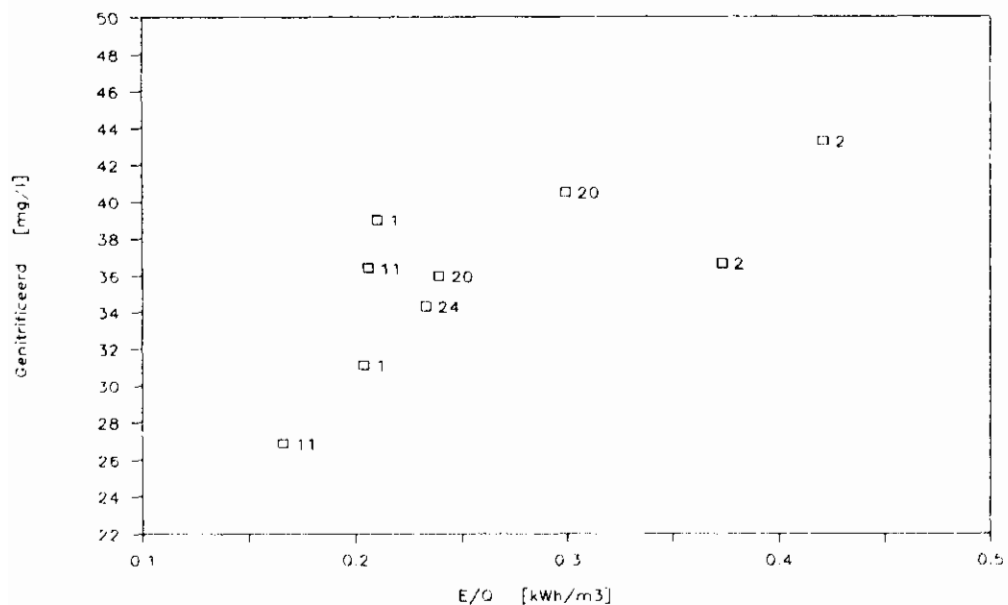


Figuur 31 Nw/Nmax versus specifieke belichtingsenergie. Jaargemiddelde gegevens van de rwzi's na 2^e selectie



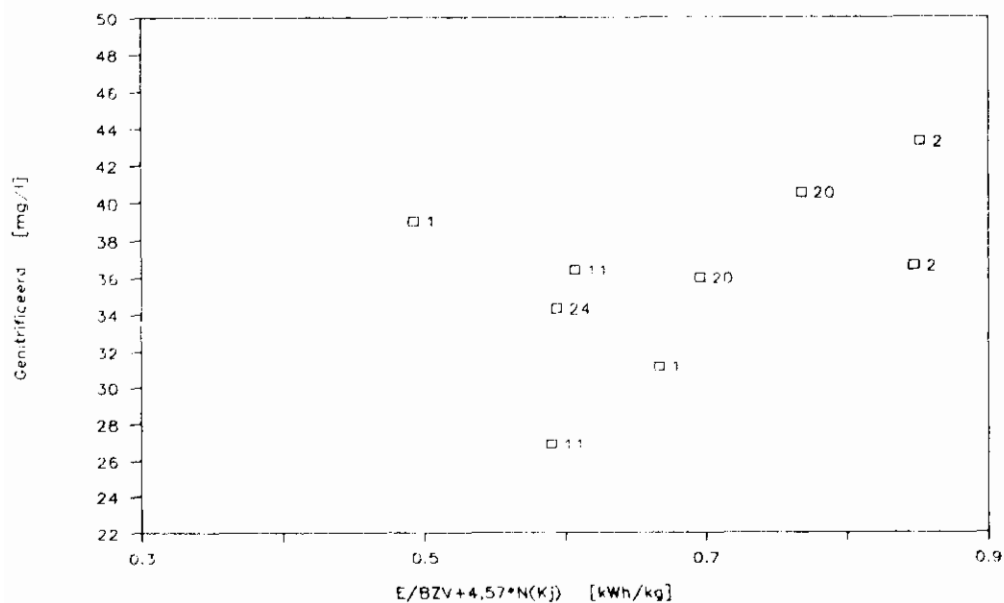
Figuur 32 Nw/Nmax versus $E/(BZV + 4,57 \times N_{Kj})$. Jaargemiddelde gegevens van de oxydatiesloten na 2^e selectie

OS + AS



Figuur 33 Genitrificeerde N-vracht versus specifieke beluchtings-energie. Jaargemiddelde gegevens van de rwzi's na 2^e selectie

OS + AS



Figuur 34 Genitrificeerde N-vracht versus $E/(BZV + 4,57 \times N_{Kj})$. Jaargemiddelde gegevens van de rwzi's na 2^e selectie

De slibvolume-index (SVI) heeft bij een lange aërobe slibleeftijd en vergaande nitrificatie invloed op het NH_4^+ - en N_{tot} -gehalte in het effluent (figuren 35 en 36). Het betreft hier echter geen directe relatie tussen de SVI en het NH_4^+ -gehalte, maar waarschijnlijk de maatregel welke is genomen in verband met de hoge SVI. Ter bestrijding van licht slib kan meer zuurstof worden ingebracht, waardoor het NH_4^+ -gehalte in het effluent daalt. Een vergelijking met de hoeveelheid ingebrachte energie voor de verschillende rwzi's bevestigt dit (figuren 32 en 33). Op deze wijze kan worden aangetoond dat voor een aantal rwzi's een verhoging van de in te brengen hoeveelheid O_2 , in een verdergaande nitrificatie kan resulteren.

De via de figuren uitgekomen afwijkende resultaten kunnen slechts in een aantal gevallen eenduidig worden verklaard uit de bedrijfsgegevens.

Daggegevens

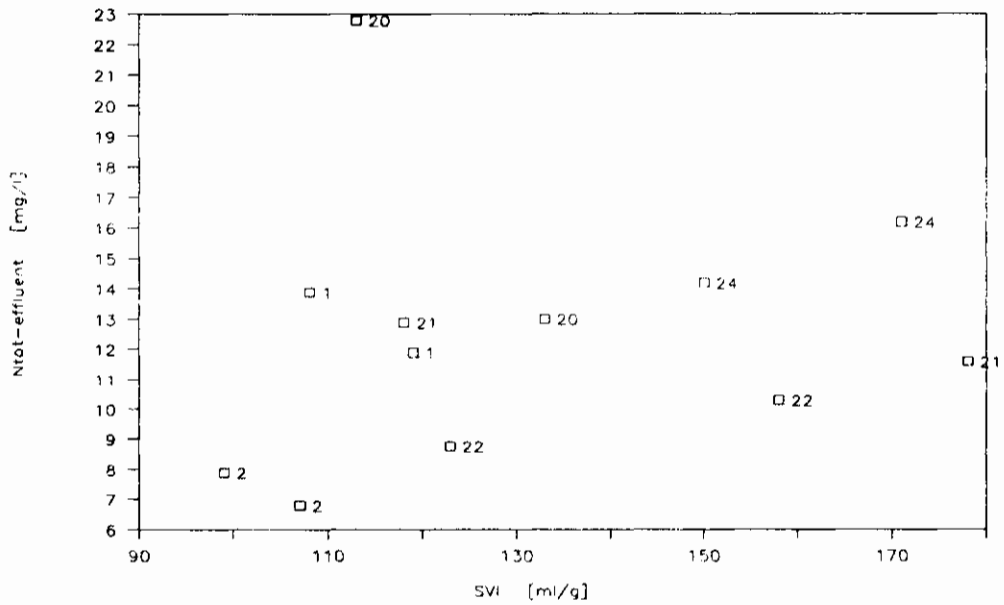
Voor één afzonderlijke rwzi is het temperatuureffect onderzocht. Hiervoor zijn de daggegevens van één jaar in beschouwing genomen. Er is een verband aantoonbaar tussen de temperatuur en het te realiseren NH_4^+ -gehalte in het effluent (figuur 37) en de parameter N_w/N_{max} (figuur 38). Indien jaargegevens van meerdere rwzi's worden gebruikt is een verband tussen de beluchtingsenergie en het NH_4^+ -gehalte in het effluent en N_w/N_{max} moeilijk aantoonbaar. Op basis van daggegevens is dit verband beter aantoonbaar (figuren 39 t/m 42). Opvallend is nog dat de beluchtingsenergie per m^3 afvalwater een betere procesparameter is dan de specifieke beluchtingsenergie gebaseerd op de (theoretisch betere) BZV- en N_{Kj} -vracht. Slechts na de tweede selectie is ook de BZV- en N_{Kj} -vracht een bruikbare parameter. Hiermee wordt aangetoond dat, afhankelijk van de vraagstelling, een nauwkeurige selectie noodzakelijk is om met behulp van het verwerken van bedrijfsgegevens de uitwerking van relaties op basis van theoretische beschouwingen te kunnen toetsen.

OS



Figuur 35 NH_4^+ -effluent versus SVI. Jaargemiddelde gegevens van de oxydatiesloten na 2^e selectie

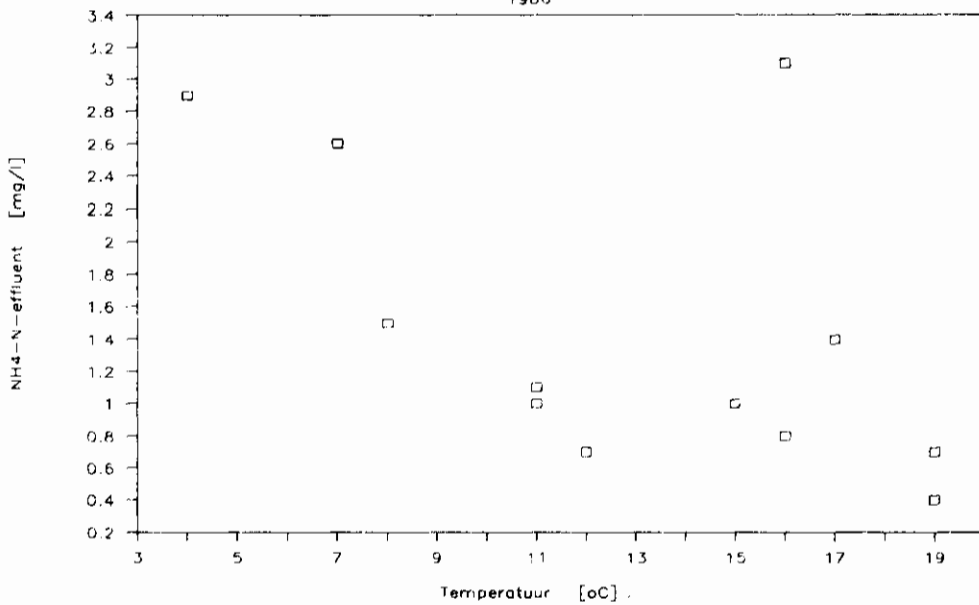
OS



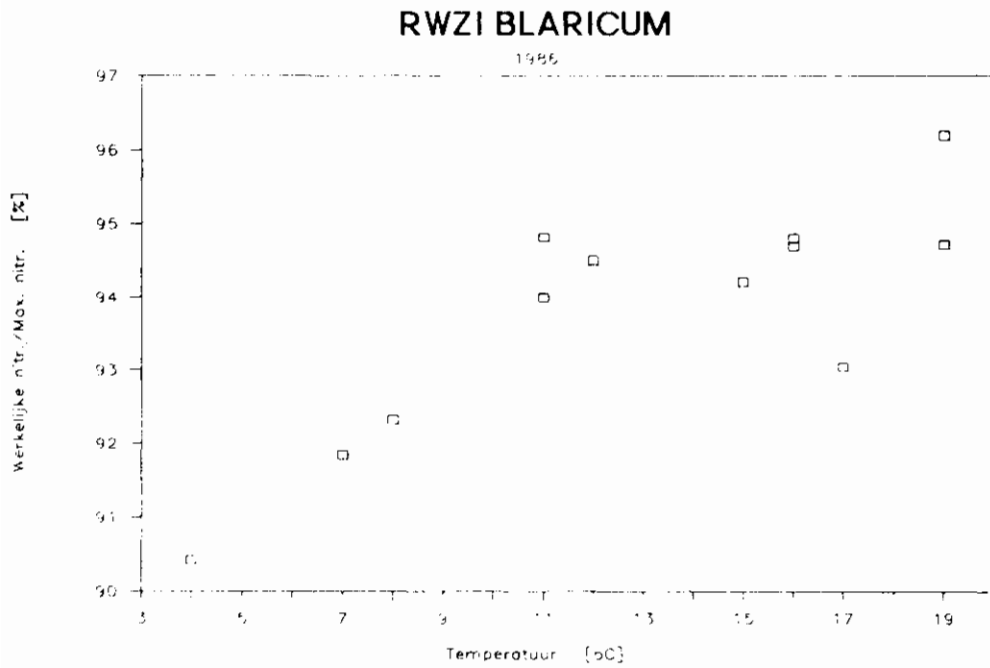
Figuur 36 N_{tot} -effluent versus SVI. Jaargemiddelde gegevens van de oxydatiesloten na 2^e selectie

RWZI BLARICUM

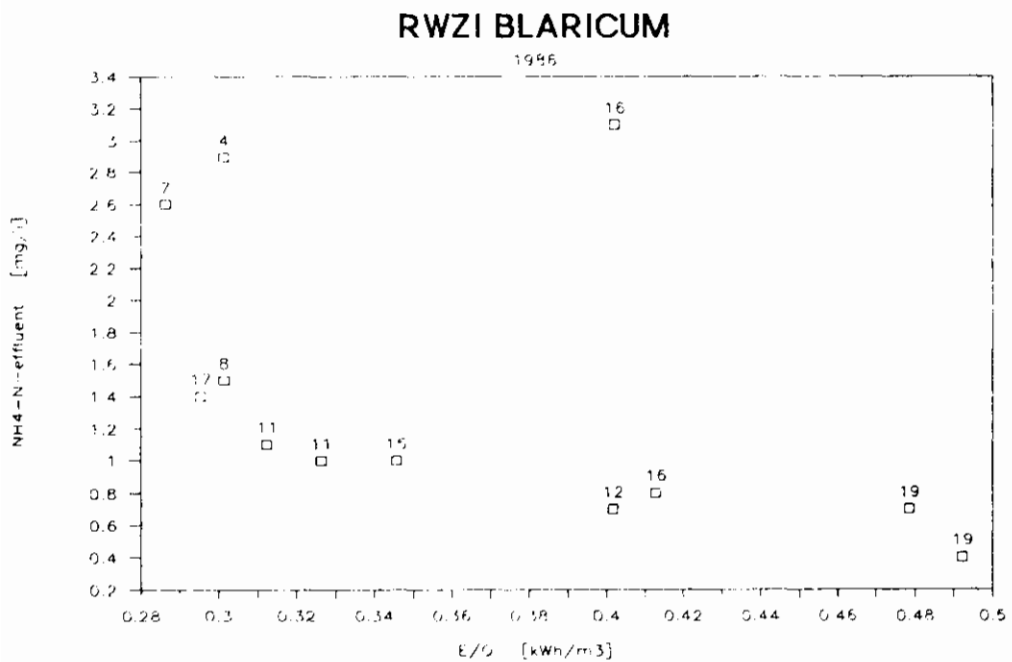
1986



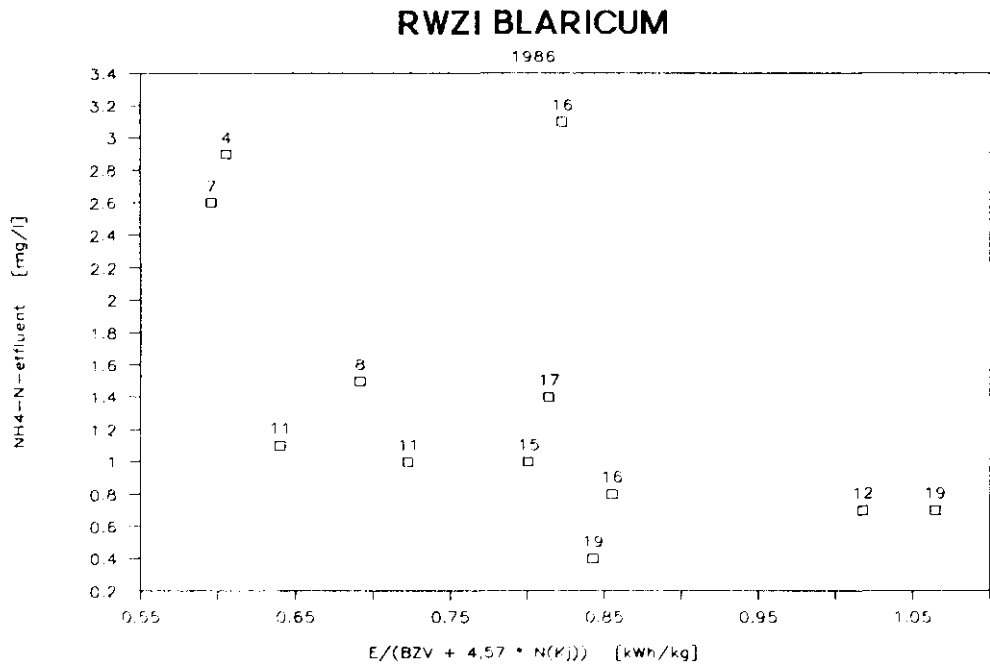
Figuur 37 NH_4^+ -effluent versus Temperatuur. Daggegevens van 1986



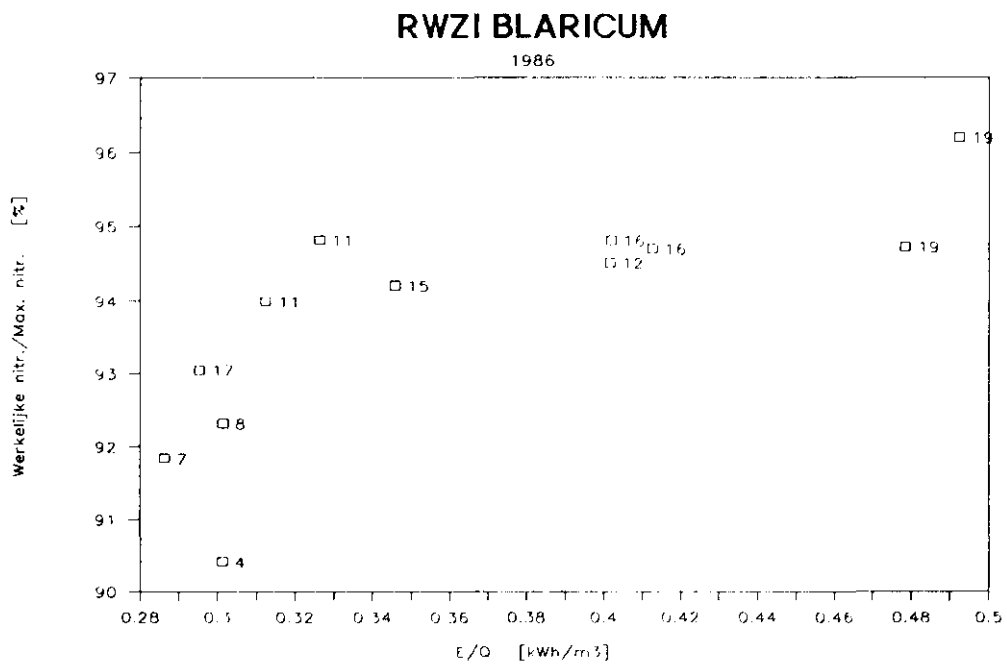
Figuur 38 N_w/N_{max} versus Temperatuur. Daggegevens van 1986



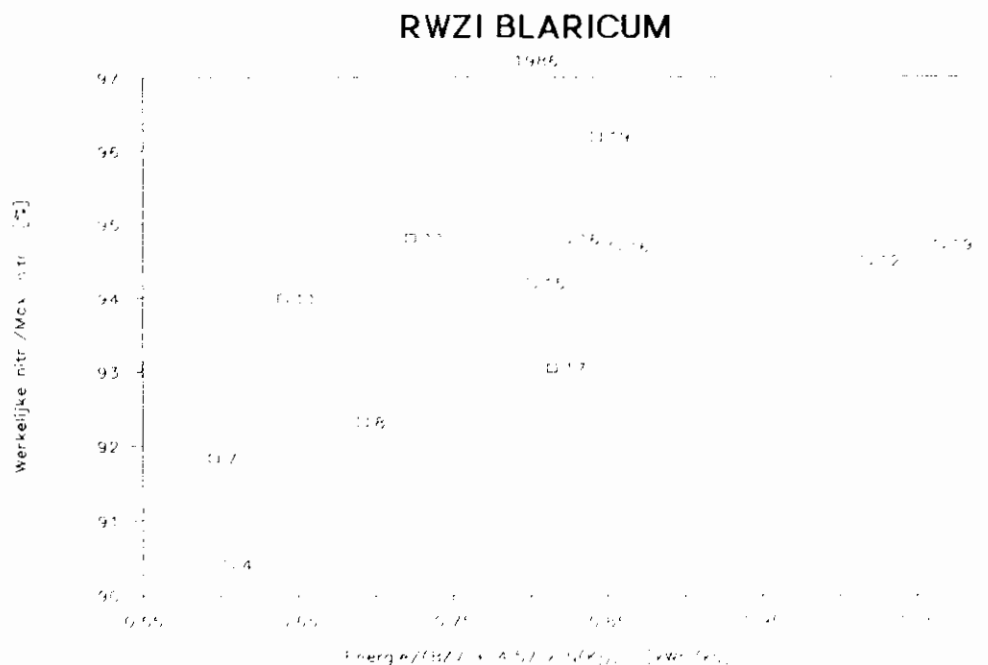
Figuur 39 NH_4^+ -effluent versus specifieke beluchtungsenergie. Daggegevens van 1986



Figuur 40 NH_4^+ -effluent versus $E/(BZV + 4,57 \times N_{Kj})$. Daggegevens van 1986



Figuur 41 N_w/N_{max} versus specifieke beluchtingsenergie. Daggegevens van 1986



Figuur 42 N_w/N_{max} versus $E/(BZV + 4,57 \times N_{kj})$. Daggegevens van 1986

5.3.3 N-verwijdering

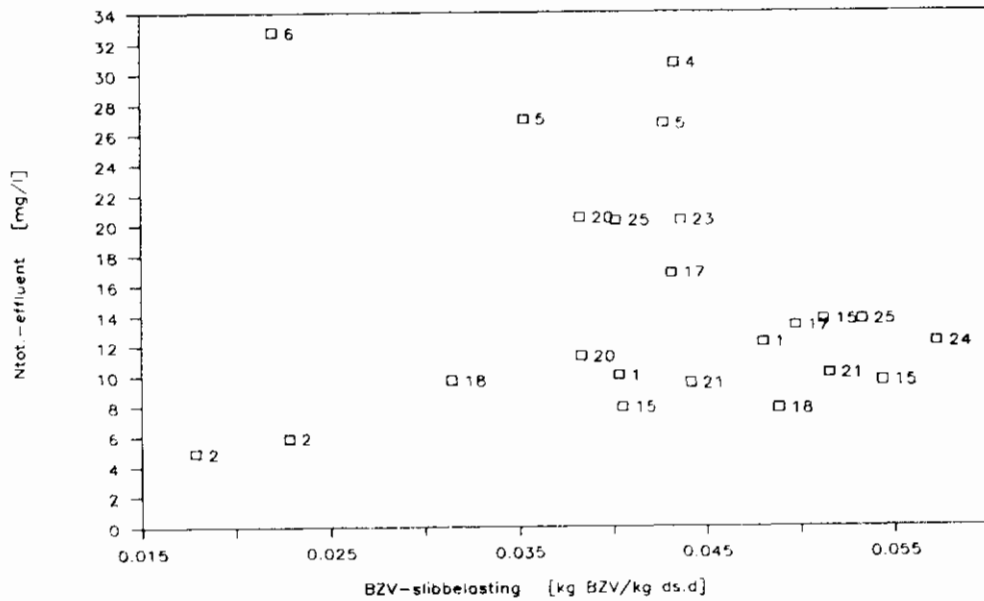
Om vergaande N-verwijdering te verkrijgen, moet naast het voor de nitrificatie benodigde "aërobe slib" ook slib beschikbaar zijn voor denitrificatie. Daarnaast moet de recirculatiefactor voldoende hoog zijn om het gevormde NO_3^- in de denitrificatiezone terug te voeren. Bij een omloopsysteem is deze interne recirculatiefactor hoog en zal de recirculatie geen beperkende factor zijn. Bij propstroomssystemen is dit door de lage recirculatiefactor veelal de beperkende factor: selectie op systeem is dus noodzakelijk.

Jaargemiddelde gegevens

Opvallend is het goede verband tussen de slibbelasting en het N_{tot} -gehalte in het effluent (figuren 43 en 44). Dit geldt zowel voor de oxydatiesloten als de actief-slibsystemen. Hiermee wordt aangetoond dat de totale biologische slibhoeveelheid sterk bepalend is voor de totale N-verwijdering die plaats kan vinden. Indien vergaand wordt genitrificeerd, dient voldoende anoxisch slib te resteren voor een volledige denitrificatie. In het geval minder wordt belucht zal nitrificatie minder ver plaatsvinden, maar de geproduceerde hoeveelheid NO_2^-/NO_3^- verdergaand kunnen worden gedenitrificeerd.

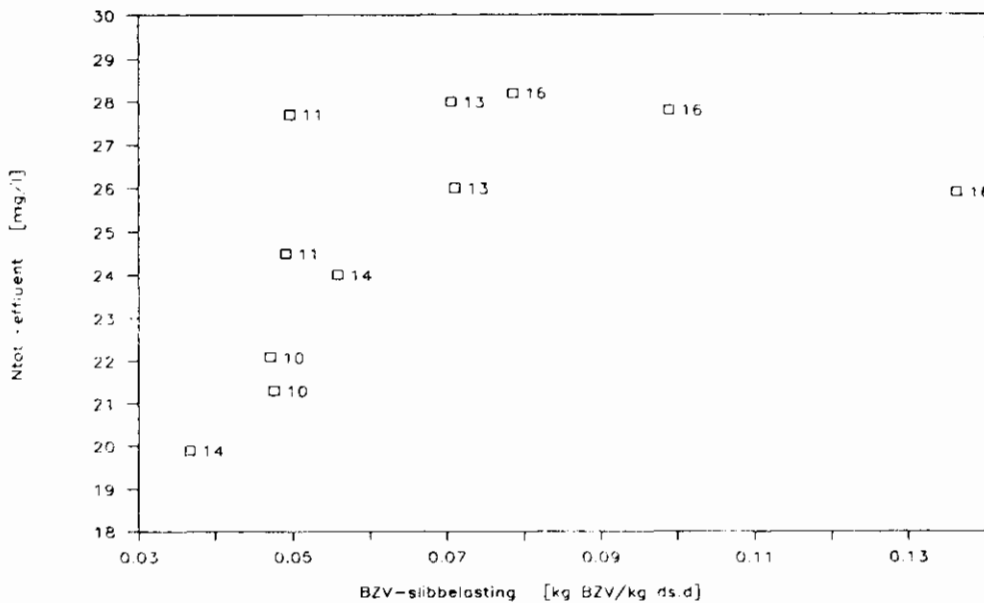
Uiteraard kan dit slechts plaatsvinden totdat de minimale aërobe slibleeftijd is bereikt en nitrificatie niet meer mogelijk is.

OS



Figuur 43 N_{tot} -effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van de oxydatiesloten na 1^e selectie

AS



Figuur 44 N_{tot} -effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van de actief-slibsystemen na 1^e selectie

Indien een overmaat aan beluchting plaatsvindt, zal de resterende hoeveelheid (anoxisch) slib niet toereikend zijn om de geproduceerde $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ te denitrificeren.

Voor propstroomsystemen geldt daarbij tevens dat de recirculatie van het retourslib mede bepalend is voor de hoeveelheid te denitrificeren $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$.

De oxydatiesloten 4, 5, 6, 17, 20, 23 en 25 wijken af. De rwzi's 5, 6 en 25 door te weinig nitrificatie en de rest door te weinig denitrificatie. Oorzaken staan vermeld in hoofdstuk 4.2 en 4.4.

Uit figuur 45 is af te leiden dat voor oxydatiesloten en actief-slibsystemen, een hogere slibleeftijd in een verdergaande N-verwijdering resulteert. Op basis van de NH_4^+ -gehalten in het effluent van de oxydatiesloten kan worden gesteld dat dit is veroorzaakt door een verdergaande denitrificatie. Bij een hogere slibleeftijd is derhalve meer anoxisch slib beschikbaar voor denitrificatie. Als gevolg hiervan is de N-verwijdering gelimiteerd door de totale hoeveelheid slib die zich in het biologische systeem bevindt.

In actief-slibsystemen is het te realiseren N_{tot} -gehalte in het effluent daarenboven gelimiteerd door de recirculatie van het retourslib. Oxydatiesloot 20 wijkt éénmaal af vanwege een overmaat aan beluchting. Denitrificatie heeft niet voldoende kunnen plaatsvinden. In vergelijking met het voorgaande jaar is de specifieke energie-inbreng en diens tengevolge de aërobe slibleeftijd hoger en het NH_4^+ -gehalte in het effluent lager. Dat de totale hoeveelheid slib in het algemeen kan worden uitgedrukt in de slibbelasting wordt bevestigd in de figuren 43 en 44.

Op basis van deze "vingeroefening" is het volgende te concluderen:

- Omloopsystemen

N-verwijdering tot 10 en 20 mg/l N_{tot} (op basis van N_{Kj}) kan plaatsvinden bij een slibbelasting niet groter dan 0,04 respectievelijk 0,06 kg BZV/kg d.s.d.

Indien N_{tot} wordt gedefinieerd als de som van NH_4^+ en $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ dient, voor een effluentkwaliteit van 10 mg/l N_{tot} , de slibbelasting niet groter te zijn dan 0,054 kg BZV/kg d.s.d.

- Propstroomsystemen

N-verwijdering vindt maximaal plaats tot 22 mg/l N_{tot} (op basis van N_{Kj}). De denitrificatiecapaciteit in propstroomsystemen is beperkt.

Indien N_{tot} wordt gedefinieerd als de som van NH_4^+ en $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ kan N-verwijdering plaatsvinden tot 20 mg/l N_{tot} (figuur 49).

Daggegevens

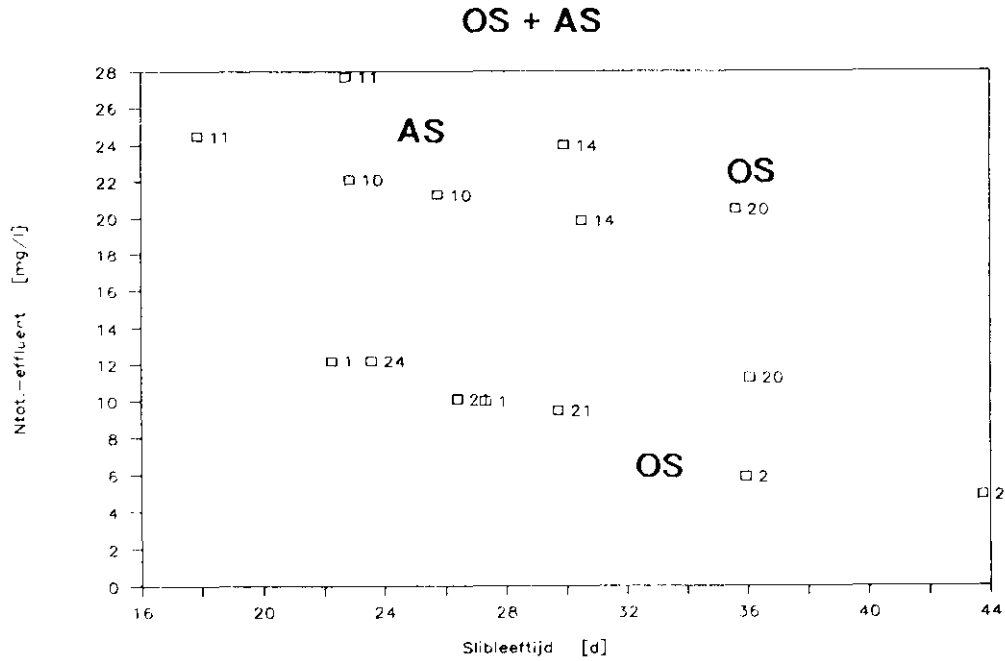
Op basis van daggegevens van één afzonderlijke rwzi zijn geen verbanden gevonden tussen het N_{tot} -gehalte in het effluent en de in hoofdstuk 3 genoemde procesparameters. Slechts met de BZV-slibbelasting was dit enigszins aantoonbaar.

5.3.4 Aandachtspunten

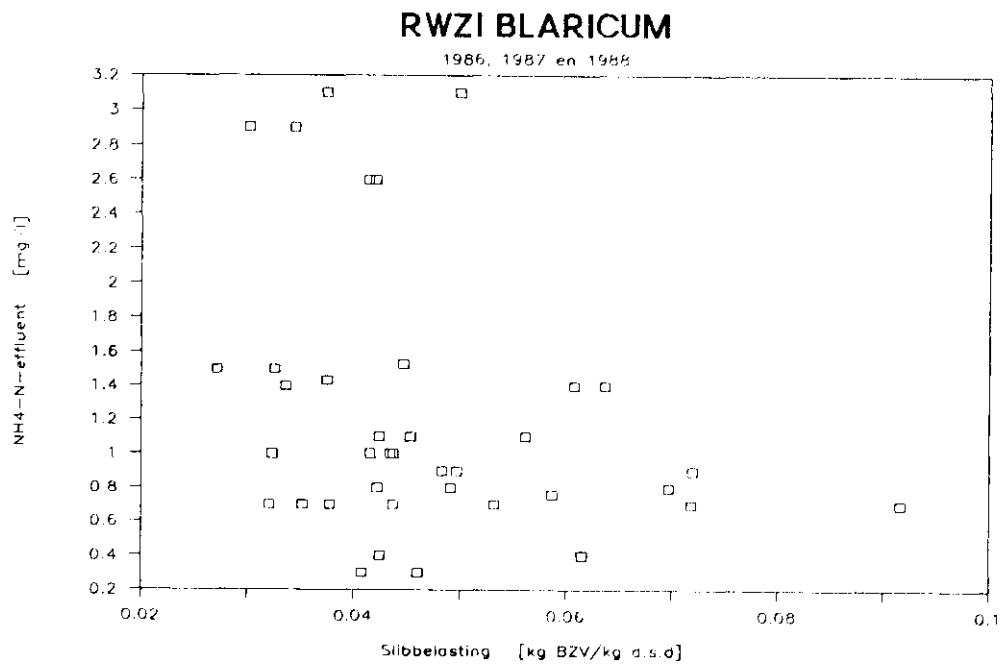
Een aantal relaties die wel bij het gebruik van jaargemiddelde gegevens van meerdere rwzi's zijn weer te geven, blijken voor één afzonderlijke rwzi vaak slecht aantoonbaar.

De wisselingen in de bedrijfsvoering en de procesomstandigheden zijn derhalve van grote invloed op de procesparameters en kunnen veelal niet als representatief voor een meetperiode worden aangemerkt.

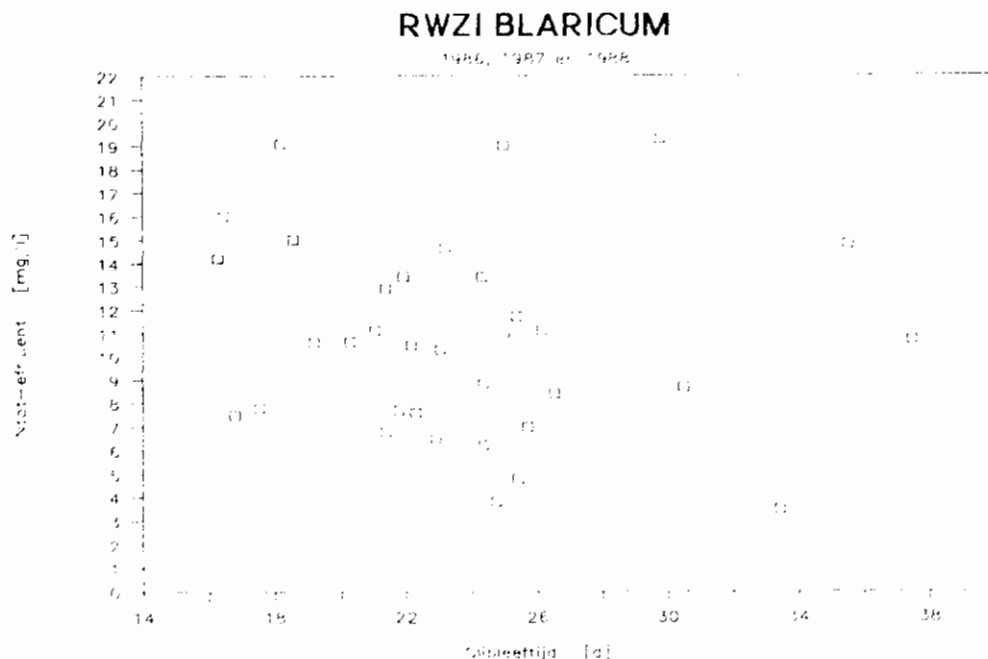
Dit geldt met name voor de belastingen en afgeleide gegevens uit de slibproductie zoals de (aërobe) slibleeftijd (figuren 46 en 47).



Figuur 45 N_{tot} -effluent versus Slibleeftijd. Jaargemiddelden van de rwzi's na 2^e selectie



Figuur 46 NH_4^+ -effluent versus BZV-slibbelasting. Daggegevens van 1986, 1987 en 1988



Figuur 47 N_{tot} -effluent versus Slibleeftijd. Daggegevens van 1986, 1987 en 1988

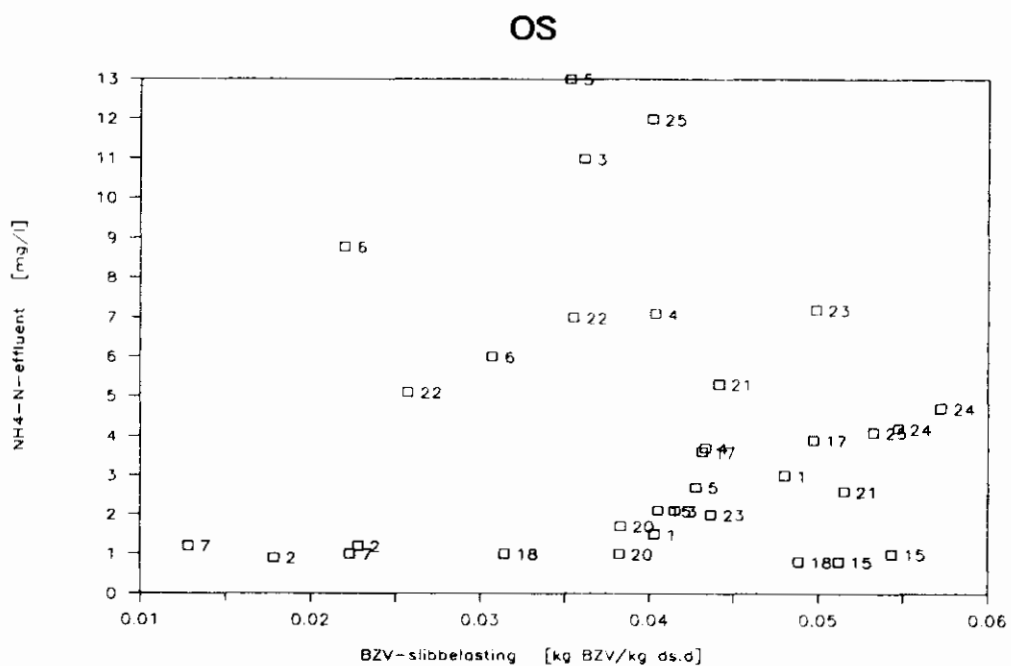
Na een correcte selectie van jaargemiddelde gegevens blijkt bij een toenemende hoeveelheid ingebrachte beluchtingsenergie de parameter N_w/N_{max} eveneens toe te nemen. Eenzelfde verband wordt ook gevonden voor de genitrificeerde N-vracht. Indien het percentage werkelijk genitrificeerde NH_4^+ toeneemt, geldt dit dus ook voor de absolute hoeveelheid genitrificeerde NH_4^+ .

Naast een aantal maatgevende procesomstandigheden speelt de bedrijfsvoering een dominerende rol in het gehele zuiveringsproces. Indien de haalbaarheid van effluenteisen wordt onderzocht, is de oorzaak van afwijkende zuiveringsresultaten in een groot aantal gevallen terug te voeren op de bedrijfsvoering. Oorzaak hiervan kan zijn licht slib, al dan niet gepaard gaande met periodieke slibuitspoeling, problemen met het beluchtingsstelsel en/of onnauwkeurigheid van de O_2 -meting en het niet naar behoren werken van installatie-onderdelen. Bij het uitwerken van jaargemiddelde bedrijfsgegevens kan dit worden geconstateerd bij rwzi's die het ene jaar wel "in de figuur" passen en het andere jaar niet.

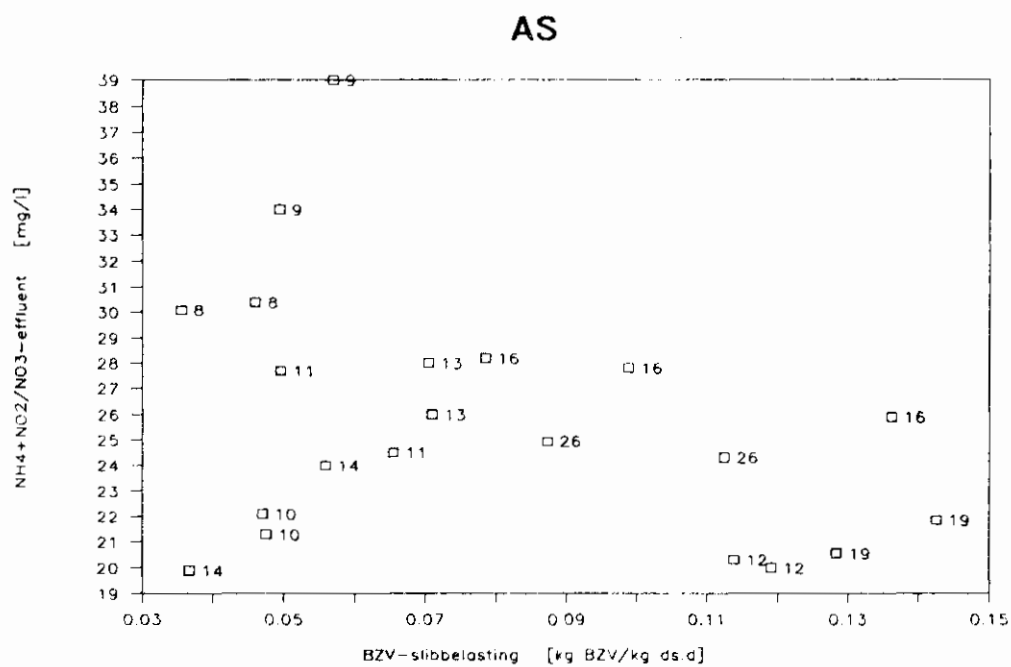
Als voorbeeld kan dienen figuur 48.

Van alle oxydatiesloten blijkt een aantal rwzi's het ene jaar wel te voldoen en het andere jaar niet. Dit wordt geconstateerd bij o.a. de rwzi's 3, 4, 5, 21, 23 en 25 (figuur 48). De verklaringen hiervoor zijn:

- rwzi 3: gedurende enkele maanden een hoge concentratie aan zink in het afvalwater;
- rwzi 4: hoge hydraulische overbelasting;
- rwzi 5: te weinig beluchting door regelmatig uitvallen van de beluchtingsrotoren;
- rwzi 21: een hoge slibvolume-index;
- rwzi 23: zeer hoog zwevendstofgehalte in het effluent;
- rwzi 25: geen verklaring op basis van de bedrijfsgegevens.



Figuur 48 NH₄⁺-effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van alle oxydatiesloten



Figuur 49 N_{tot}-effluent versus BZV-slibbelasting. Jaargemiddelden van alle actief-slibsystemen

Een relatie met de beluchtingsenergie is met behulp van daggegevens voor één afzonderlijke rwzi veelal beter weer te geven (hoofdstuk 4.2) dan op basis van jaargemiddelde gegevens van meerdere rwzi's, vanwege de veelal specifieke eigenschappen per rwzi (type beluchting, α -factor).

Het is interessant nader te onderzoeken of "complete mix"-systemen een betere N-verwijdering vertonen dan propstroomsystemen. Gebleken is dat de rwzi's 12 en 19, beide "complete mix"-systemen, ondanks de hoge slibbelasting een verdergaande N-verwijdering vertoonden dan de propstroomsystemen bij vergelijkbare slibbelastingen (figuur 49).

5.4 Conclusies

Verwerking van de bedrijfsgegevens toegepast op de N-verwijdering geeft als directe procesbepalende factoren voor de N-verwijdering via nitrificatie en denitrificatie:

- het type zuiveringssysteem
- de aërobe slibleeftijd
- de beluchting
- de hoeveelheid anoxisch slib
- de temperatuur.

Indirekt hieraan gerelateerd zijn de slibbelasting en de slibleeftijd.

Voor een goede beoordeling van het nitrificatie- en denitrificatieproces zijn de plaats waar het retourslib in het beluchtingscircuit wordt teruggevoerd en de plaats waar de zuurstofmeter in het beluchtingscircuit is geplaatst, eveneens van belang.

Selectie vooraf op een hoog aandeel industrieel afvalwater of zwevende stof in het effluent plaatst een aantal rwzi's buiten spel, die een uitstekende N-effluentkwaliteit bezitten. Deze twee criteria dienen derhalve niet per definitie te worden toegepast, maar slechts in die gevallen waarin geen andere aanwijsbare oorzaak voor afwijkende bedrijfsresultaten wordt gevonden.

Bedrijfsresultaten van rwzi's zijn in principe goed bruikbaar om de haalbaarheid van effluenteisen en relaties tussen verschillende procesparameters aan te geven, evenals de procesomstandigheden waaronder deze gelden. Een nauwkeurige selectie is echter een eerste vereiste waarbij afhankelijk van de gezochte informatie de wijze van selecteren dient te worden aangeven.

Afwijkende resultaten van rwzi's zijn slechts in enkele gevallen direct te verklaren met behulp van bedrijfsgegevens. Indien meerdere relaties tussen procesparameters worden weergegeven en gecombineerd beoordeeld, is het in bepaalde gevallen mogelijk alsnog een verklaring voor een afwijkend resultaat te vinden. Gezien het belang hiervan verdient het aanbeveling om rwzi's die niet "in de figuur" passen nader te onderzoeken. Als voorbeelden kunnen worden genoemd de relatie NH_4^+ in het effluent en de slibvolume-index (SVI). Aangetoond is dat op een aantal rwzi's met een hoge SVI, door het verhogen van de in te brengen hoeveelheid zuurstof de SVI omlaag gaat en verdergaande nitrificatie plaatsvindt. Bij de actief-slibsystemen was het lagere N_{tot} -gehalte in het effluent van beide "complete mix"-systemen lager dan bij de propstroomsystemen. Het verdient aanbeveling te onderzoeken of dit een eigenschap is van "complete mix"-systemen.

Relaties tussen procesparameters op basis van bedrijfsgegevens vertonen meestal een grote bandbreedte. Vanwege deze grote spreiding in de resultaten is het in het algemeen noodzakelijk te selecteren. Een nauwkeurige selectie kan de bandbreedte verkleinen, soms echter onvoldoende vanwege het ontbreken van voldoende gegevens. Veelal gaat het hierbij om relatief eenvoudige, goed meetbare en dus betrouwbare metingen. Als voorbeelden kunnen worden genoemd het registreren van de temperatuur, de pH, het CZV en de beluchtingsenergie. Ook ontbreken gegevens over het aandeel industrieel afvalwater en zijn slibgegevens soms moeilijk toegankelijk.

Het komt voor dat metingen niet representatief zijn omdat ze niet vaak genoeg worden gemeten en/of steekproefsgewijs worden bepaald. Dit kan in het algemeen worden ondervangen door frequenter te meten, eventueel aan proportionele monsters.

Bij het gebruik van jaargemiddelde gegevens kan als voorbeeld worden genoemd een rwzi die slechts een deel van het jaar nitrificeert. Na een (lange) strenge winter zal de nitrificatie in het voorjaar minder snel op gang komen en de jaargemiddelde effluentkwaliteit slechter uitkomen dan in andere jaren.

Een algemeen geldende relatie tussen procesparameters is alleen af te leiden wanneer voldoende gegevens van meerdere rwzi's, met dezelfde proceseenheden en min of meer vergelijkbare omstandigheden beschikbaar zijn. Het gebruik van jaargegevens van verschillende rwzi's voldoet aan deze eis. Wisselingen in bedrijfsvoering en procesomstandigheden zijn veelal voldoende uitgevlakt. Afhankelijk van de vraagstelling is een nadeel dat veel informatie over kortdurende gebeurtenissen zoals een periodiek verhoogde aanvoer van stikstof, een periodiek verhoogde slibvolume-index en een ander beluchtingsregime verloren gaat. Ook de effecten van wisselingen in de temperatuur en de pH kunnen op deze wijze niet worden gesignaleerd.

Met het gebruik van daggegevens kunnen kortdurende gebeurtenissen wel zichtbaar worden gemaakt. Daggegevens dienen echter met grote zorgvuldigheid te worden gehanteerd vanwege de veelal grote spreiding in de resultaten, veroorzaakt door de sterke afhankelijkheid van momentane proces- en bedrijfsomstandigheden. Effecten van kortdurende gebeurtenissen kunnen onzichtbaar blijven door onvoldoende informatie hierover en beïnvloeding door operationele aspecten, welke per rwzi grote verschillen kunnen vertonen en veelal niet of onvoldoende bekend zijn. Een vergaande en nauwkeurige selectie is noodzakelijk, waardoor het aantal gegevens voor het opstellen van een relatie veelal sterk is beperkt.

EVALUATIE

Het bestaande gegevensbestand bevat een grote hoeveelheid gegevens waardoor het mogelijk is relaties tussen verschillende procesvariabelen te leggen en de haalbaarheid van effluenteisen aan te geven.

Voor het omgaan met de beschikbare gegevensbestanden bestaat geen vastgelegd pad. Er moet primair worden gewerkt vanuit de vraagstelling. Vastgesteld dient te worden welke de juiste relatie is, welke de selectiecriteria zijn en hoe daarmee moet worden omgegaan om de correlatie te vergroten. Deze keuzegrootheden bepalen de aard van het te gebruiken gegevensbestand.

Uit het bovenstaande volgt dat bij een onjuiste procedure en bestandskeuze geen of foutieve informatie kan worden verkregen. Met name het nemen van de juiste beslissingen met betrekking tot de verschillende keuzes en het beoordelen van uitkomsten maakt specialistische kennis onontbeerlijk.

Relaties leggen met behulp van de computer alleen is derhalve niet mogelijk. Deskundigheid (vakkennis) is en blijft noodzaak. Ook indien de juiste informatie wordt verkregen, zal door de ingebrachte vakkennis de waarde hiervan sterk kunnen worden vergroot.

Indien enkele meetgegevens (veelal eenvoudig te meten relevante procesparameters) worden toegevoegd aan het gegevensbestand en/of de meetnauwkeurigheid wordt vergroot, kan met een relatief geringe inspanning meer informatie uit de gegevensbestanden worden gegenereerd. De betrouwbaarheid en nauwkeurigheid zullen hierdoor toenemen. Ook een wijziging van de meting aan bestaande parameters kan wenselijk zijn, zoals het meten van NH_4^+ in plaats van N_k . Een vergaande selectie is dan mogelijk niet altijd noodzakelijk, zodat minder rwzi's buiten beschouwing kunnen worden gelaten.

Uiteraard zullen in specifieke gevallen (vergaande selectie) de bedrijfs- en procesomstandigheden en operationele aspecten een doorslaggevende invloed kunnen hebben en dus voldoende bekend moeten zijn. Het vergroten van het aantal bruikbare rwzi's houdt in dat de meetprogramma's nog beter op elkaar moeten worden afgestemd, zodat de complicaties en de hiermee verbonden bezwaren worden vermeden.

De volgende voordelen ontstaan:

- meer betrouwbare dag- en jaargegevens
- daggegevens van meerdere rwzi's kunnen mogelijk worden samengevoegd
- bedrijfsvoering en procesomstandigheden zijn beter bekend
- bedrijfsvoering en procesomstandigheden zijn meer representatief voor de werking van de rwzi.

Verwacht mag worden dat het opstellen van relaties meer betrouwbaar en nauwkeurig zal kunnen plaatsvinden, aan relaties een grotere algemene waarde kan worden toegekend en deze beter houvast bieden voor procesbeheersing en ontwerp.

De route ontwikkeld op basis van het onderhavig onderzoek is onderstaand beschreven en kan als leidraad dienen bij de verwerking van bedrijfsgegevens tot relaties.

1. Bepaal vanuit de vraagstelling welke relatie moet worden opgesteld.
2. Bepaal met behulp van de beschreven theorie de invloed van de

parameters: procesvariabelen, systeemp parameters en operationele aspecten, zoals dit is uitgevoerd in hoofdstuk 4 van deze rapportage.

3. Stel de benodigde gegevens op voortvloeiend uit 2.
4. Kies het juiste gegevensbestand: daggegevens of gemiddelde gegevens over periodes. Vervolgens blijven rwzi's met een afwijkende procesvoering buiten beschouwing.
5. Stel de relatie op met behulp van het gekozen bestand.
6. Stel vast of de verkregen relatie voldoet aan de gestelde eisen uit de vraagstelling. Indien dit niet het geval is, doorgaan met 7.
7. Onderzoek of een verbetering van de correlatie mogelijk is door selectie van de in 3 opgestelde parameters. Een terugkoppeling met de procesvariabelen (beschreven theorie) is noodzakelijk, waarbij de gevoeligheid van de verschillende procesvariabelen dient te worden bepaald en of (op basis van de theoretische relaties) gegevens kunnen worden gegenereerd welke niet in het bestand voorkomen. Afhankelijk van de vraagstelling zal soms zover "door-geselecteerd" moeten worden dat slecht relaties per rwzi resteren. De relaties zijn dan wel op elke rwzi aanwezig, echter de getalsmatige invulling is voor elke rwzi weer anders. Hoe gedetailleerder de vraag, des te verder dient te worden geselecteerd (uiteindelijk is dan elke rwzi uniek).
8. Indien 7 onvoldoende resultaat geeft dient de specifieke bedrijfsvoering van de afwijkende rwzi's te worden onderzocht om een verdergaande selectie mogelijk te maken.
9. Stel de conclusie voor de gevraagde relatie (1) op.

Literatuurlijst

1. Anoniem, Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band III, zweite auflage, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf, 1978.
2. Anoniem, Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Band IV, dritte auflage, Verlag für architektur und Technische Wissenschaften, Berlin, 1978.
3. Boyle, W.C. (ed), Aeration systems; Design, Testing Operations and Control, Noyes Publications, New Jersey, 1986.
4. Chudoba, J. and F. Tucek, Production, degradation and composition of activated sludge in aeration systems without primary sedimentation, Journal of Water Pollution Control Federation, vol. 57, no. 3, pp201-206, 1985.
5. EPA, Process design manual for nitrogen control, U.S. Environmental protection agency technology transfer, 1975.
6. Mudrack, K. und S. Kunst, Biologie der Abwasserreinigung, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1985.
7. Spaans, Keramische beluchtingselementen, Machinefabriek Spaans, Hoofddorp.
8. STORA, Slibindikking 1: Literatuuronderzoek, 1977.
9. STORA, Slibontwatering; Optimalisering van slibontwatering met poly-elektrolyet, 1982.
10. STORA, Optimalisatie van de gasproductie bij de anaerobe stabilisatie van zuiveringsslib, 1985.
11. STORA, Keuze en kosten van effluent van rioolwaterzuiverings inrichtingen als functie van de effluenteisen, 1988.
12. Trentelman C.C.M., Statistische verwerking van effluent gegevens van Nederlandse afvalwaterzuiveringsinstallaties; Dimensioneringsrichtlijnen, DHV-rapport, 1981.
13. Vaerenbergh, E. van, Berekening van afvalwaterzuiveringsinstallaties, Stichting Leefmilieu, VZW-Antwerpen, 1978.
14. WPCF, Operation and maintenance of sludge dewatering Systems, Manual of Practice No. OM-8, 1987.
15. WPCF, Sludge Thickening, Manual of Practice No. FD-1, Facilities Development, 1980.

BIJLAGE 1

Berekening aërobe sibleeftijd

De aërobe sibleeftijd is stapsgewijs te herleiden uit de bij denitrificatie beschikbaar komende nitraat-zuurstof en de totaal benodigde zuurstof voor de koolstofademing.

De voor de koolstofademing benodigde zuurstof kan geleverd worden door zuurstof of door NO_3^- . Indien in de beluchtingstank zuurstof (en nitraat) aanwezig zijn (aërobe zone) zal de ademing met zuurstof plaatsvinden.

Is geen zuurstof aanwezig maar wel nitraat (anoxische zone) dan zal de ademing met het zuurstof uit het nitraat plaatsvinden. De ademing met nitraat verloopt langzamer omdat voor de omzetting van nitraat bepaalde enzymen nodig zijn en niet de gehele biomassa nitraat verademt. Uit vergelijkende metingen is gebleken dat de nitraatademing 5 tot 30% en gemiddeld 25% lager is [k].

De berekening is als volgt:

1. Bepaal de gedenitrificeerde hoeveelheid NO_3^- uit:

$$\text{NO}_3^{--N}_D = \text{TkN}_o + \text{NO}_3^{--N}_o - \text{TkN}_{sp} - \text{TkN}_e - \text{NO}_3^{--N}_e$$

2. De C-ademing (OVC_D) is dan:

$$\text{NO}_3^{--N}_D \times 2,86$$

3. Bereken de totale C-ademing (OVC). Hiervoor zijn meerdere methoden (v.d. Emde, Beuthe) beschikbaar.
4. Bereken het anoxische deel van de beluchtingstank (V_D) uit de verhouding tussen de OVC_D en OVC. Hierbij dient te worden gecorrigeerd voor de langzamere ademing uit nitraat.

$$\frac{V_D}{V_{\text{tot}}} = \frac{\text{OVC}_D}{\text{OVC} \times 0,75}$$

5. De aërobe sibleeftijd is nu af te leiden uit:

$$V_A = V_{\text{tot}} - V_D \quad \text{en} \quad \frac{T_A}{T} = \frac{V_A}{V_{\text{tot}}}$$

$\text{NO}_3^{--N}_D$	gedenitrificeerd $\text{NO}_3\text{-N}$
TkN_o	Kjeldahlstikstof in influent
$\text{NO}_3^{--N}_o$	nitraatstikstof in influent
TkN_{sp}	stikstof in surplusslib
TkN_e	Kjeldahlstikstof in effluent
$\text{NO}_3^- \text{N}_e$	nitraatstikstof in effluent
OVC_D	zuurstofverbruik voor C-ademing in anoxische deel
OVC	totaal zuurstofverbruik voor C-ademing
V_D	anoxische deel beluchtingstank
V_{tot}	totale volume beluchtingstank
V_A	aërobe deel beluchtingstank
T_A	aërobe sibleeftijd
T	totale sibleeftijd