

Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?

Rapport III: Ruimtebeslag en ruimtelijke inpassing van het zuiveringssysteem

Jelle Buma
Jasper Griffioen

1202057-000

Titel
Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?

Opdrachtgever
Agentschap NL

Project
1202057-000

Kenmerk
1202057-000-BGS-0004

Trefwoorden
waterzuivering, polder, fosfaat, innovatie

samenvatting





Het project 'Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie' is gestart in het voorjaar van 2009. Het projectdoel is om de technische, financiële en beleidsmatige haalbaarheid te achterhalen van de optie om waterzuivering te combineren met uitmalen. Dit rapport beschrijft het benodigde ruimtebeslag en de ruimtelijke inpassingsmogelijkheden van verschillende zuiveringstechnieken bij gemalen. De dimensionering die nodig is om de concentratie totaal-fosfaat terug te brengen tot de vereiste KRW-norm speelt hierin een sleutelrol. In de dimensionering speelt de afvoercharacteristiek van de polder een belangrijke rol. De volgende technieken zijn beschouwd: gecombineerde coagulatie en sedimentatie ('boerensloot' methode), vlokkingfiltratie (dynamisch zandfilter), langzame zandfiltratie met ijzer en kalk, en het fuzzy filter zonder voorafgaande coagulatie.

De boerenslootmethode lijkt vooral geschikt in kleipolders met een sterk kunstmatig karakter en relatief grote peilvakken. De noodzaak tot inrichting van een deel van het watersysteem als 'boerenvijver' ten behoeve van het bezinkingstraject is wel een aandachtspunt als de polder nu louter bestaat uit smalle, langgerekte sloten. De methode wordt minder geschikt geacht in veenpolders. Toepassing in meer natuurlijke, vrij afwaterende kleipolders lijkt alleen geschikt bij niet al te hoge aanvangsconcentraties fosfaat.

Vlokkingfiltratie lijkt in zowel klei- als veenpolders haalbaar mits grootschalig toegepast. De landschappelijke ligging van het gemaal kan beperkend zijn, omdat de industrieel ogende installatie al snel tot horizonvervuiling leidt. Het benutten van één compacte locatie voor de zuivering is gunstig voor de aan- en afvoer van de benodigde grote hoeveelheden chemicaliën en slib, en voor de benodigde stroomvoorziening.

Op papier is langzame zandfiltratie universeel geschikt. Er zijn geen chemicaliën nodig en er wordt geen slib geproduceerd. Knelpunt is de beperkte beschikbaarheid van de benodigde grote arealen. Meervoudig ruimtegebruik biedt hier mogelijk kansen.

Zonder voorafgaande coagulatie is fuzzy filtering niet haalbaar in polders met relatief veel orthofosfaat. In grote klei- of veenpolders met een sterk kunstmatig karakter (grote peilvakken) en relatief veel gebonden fosfaat is de methode wel kansrijk.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	juni 2010	Jelle Buma		Nanko de Boorder		Hilde Passier	
		Jasper Griffioen					

Status
Definitief

Inhoud

1 Inleiding	3
2 Methode	5
2.1 Concept: tijdsafhankelijke berekening	5
2.2 Ontwerpparameters	5
2.3 Gemaal vs. Recirculatie	5
2.4 Ruimtelijke inpassing	7
2.5 Keuze voor zuiveringsmethoden en ontwerpparameters	7
2.6 Voorbeeldpolders en -gemalen	9
2.6.1 Verantwoording keuze	9
2.7 KRW-eisen aan fosfaatconcentraties	9
3 Resultaten	11
3.1 Voorbeeldpolder type 1 (kleipolder, lage P)	11
3.1.1 Benodigd ruimtebeslag	11
3.1.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik	14
3.2 Voorbeeldpolder type 2 (kleipolder, hoge P)	14
3.2.1 Benodigd ruimtebeslag	14
3.2.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik	16
3.3 Voorbeeldpolder type 3 (veenpolder, hoge P)	16
3.3.1 Benodigd ruimtebeslag	16
3.3.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik	19
4 Discussie: mogelijkheden voor ruimtelijke inpassing	21
4.1 Boerensloot methode	21
4.1.1 Stroomsnelheids criterium en slootgeometrie (boerensloot methode)	21
4.1.2 Ruimtelijke inpassing	21
4.2 Vlokkingsfiltratie	23
4.3 Langzame zandfiltratie	23
4.4 Fuzzy filter	24
5 Referenties	25
Bijlage(n)	
A Kenmerken voorbeeldpolders	A-1
B Grafieken chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik	B-1

1 Inleiding

Het project 'Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?' is gestart in het voorjaar van 2009. Het projectdoel is om de technische, financiële en beleidsmatige haalbaarheid te achterhalen van de optie om waterzuivering te combineren met uitmalen. Hiervoor zal geïnteriseerd worden wat de grootste waterverontreinigingproblemen in polderwater zijn en welke typen verontreiniging geschikt zijn om via de voorgestelde wijze te zuiveren (activiteit I). Op basis hiervan heeft Waternet in activiteit II de technische en financiële haalbaarheid van verschillende zuiveringstechnieken onderzocht. In activiteit III staat de financiële en beleidsmatige haalbaarheid voor ondernemers en waterbeheerders centraal.

Het onderhavige rapport beschrijft een alternatieve uitwerking van de bepaling van de technische haalbaarheid van verschillende zuiveringstechnieken die mogelijk toepasbaar zijn in of bij gemalen. Centraal hierin staat de berekening van de dimensionering die nodig is om de concentratie totaal-fosfaat terug te brengen tot de vereiste KRW-norm of daaronder. In de berekeningsmethode speelt de afvoercharacteristiek van de polder een belangrijke rol. Onder invloed van de overige randvoorwaarden die het poldersysteem en de omgeving van het gemaal stellen, zoals beschikbaar oppervlak, geometrie van waterlopen, e.a., wordt vervolgens ingegaan op de haalbaarheid van de ruimtelijke inpassing van de techniek in verschillende poldertypen.

We richten ons op fosfaat omdat blijkt dat: a) fosfaat de belangrijkste probleemstof is in boezems in Laag-Nederland (rapport I); b) er voor fosfaat verschillende kansrijke zuiveringsmethoden zijn (rapport II). Bovendien zal fosfaat nog lange tijd een probleem vormen, dit in tegenstelling tot nitraat waarvoor problemen waarschijnlijk sneller opgelost kunnen worden (rapport IV). Tenslotte is fosfaat in zoete wateren in Nederland het limiterende element (referentie) waardoor fosfaat cruciaal is om aan te pakken.

Voor een verdere beschrijving van de achtergrond van de nutriëntenproblematiek en de doelstelling van het project 'Zuiveren en Gemalen' wordt verwezen naar rapport I van dit project.

2 Methode

2.1 Concept: tijdsafhankelijke berekening

De eerste en belangrijkste functie van gemalen is het droog houden van polders door overtollig water weg te pompen. In veel polders in Laag-Nederland is de waterberging beperkt, zodat in perioden met veel neerslagoverschot de gemalen veel draaiuren maken. Er wordt dan veel water uitgemalen, en dat is ongunstig vanuit het oogpunt van zuivering van het polderwater. Veel zuiveringstechnieken vereisen een bepaalde verblijftijd van het polderwater.

Bij hoge uitmaaldebieten kan derhalve een deel van het water worden gezuiverd. Anderzijds is het misschien niet nodig om al het uitgemalen polderwater te zuiveren om de gebiedsspecifieke KRW-doelstelling te behalen. Deze beide constatering vormen het uitgangspunt in de gevolgde berekeningswijze. Op basis van de afvoercharacteristiek van de polder wordt voor een aantal zuiveringstechnieken bepaald welk deel van het uitgemalen water kan worden gezuiverd. Bij een bekend oppervlak van de zuiveringsvoorziening A , dagdebiet $Q(t)$ en ingangconcentratie C_0 kan dan worden bepaald welke P-concentratie C_1 behaald wordt. Omgekeerd kan, uitgaande van een gegeven vereiste P-concentratie, worden afgeleid welk oppervlak aan zuiveringsvoorziening A daarvoor nodig is. Dit gebeurt op dagbasis, en hierin wijkt deze tijdsafhankelijke methode af van de andere deelonderzoeken, waarin op basis van gemiddelde debieten en concentraties berekeningen worden gemaakt. In figuur 2.1. is de toegepaste methode schematisch weergegeven.

Aanvullend op het benodigde ruimtebeslag worden de volgende dimensioneringsparameters berekend: de benodigde hoeveelheid chemicaliën, de slibproductie, en het energieverbruik.

Alle kentallen voor de beschreven parameters zijn ontleend aan het deelonderzoek van Voort et al. (2010), tenzij anders vermeld.

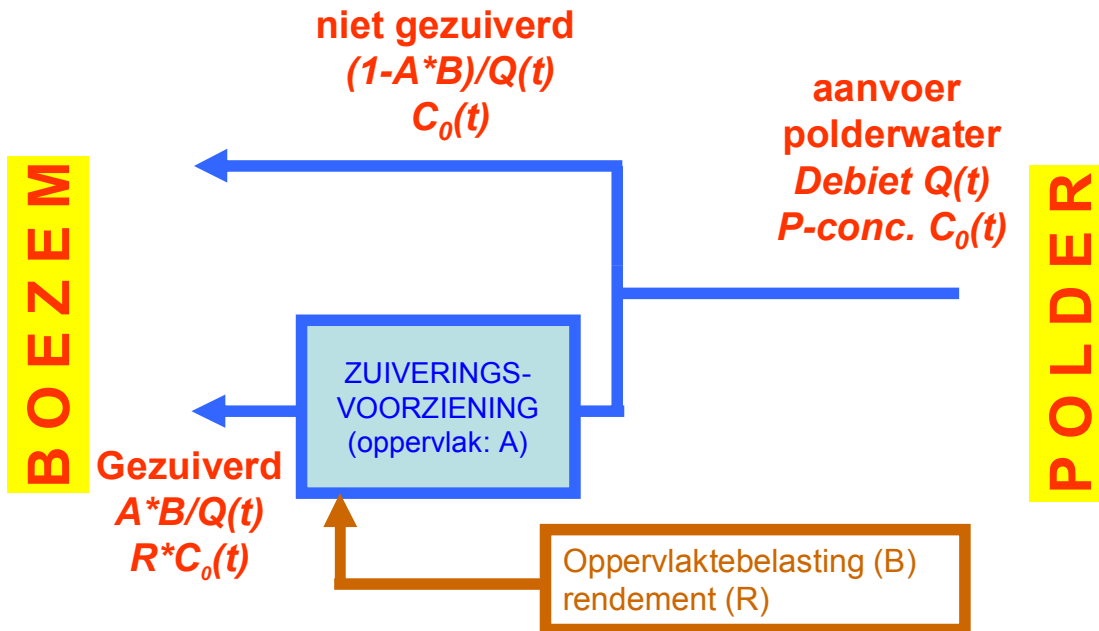
2.2 Ontwerpparameters

De twee cruciale ontwerpparameters voor de methode zijn (1) de oppervlaktebelasting B , en (2) het zuiveringsrendement R . Deze parameters bepalen het benodigde oppervlak van de zuiveringstechniek. De oppervlaktebelasting (L/T) beschrijft het debiet (L^3/T) dat per oppervlakte-eenheid zuiveringsvoorziening (L^2) behandeld kan worden. Het zuiveringsrendement beschrijft de reductie in fosfaatconcentratie die in één zuiveringstap behaald kan worden. Het rendement verschilt niet alleen per zuiveringstechniek, maar kan ook afhankelijk zijn van temperatuur, geologie, aanvangconcentratie fosfaat in de polder, en verhouding tussen ortho- en totaal-fosfaat.

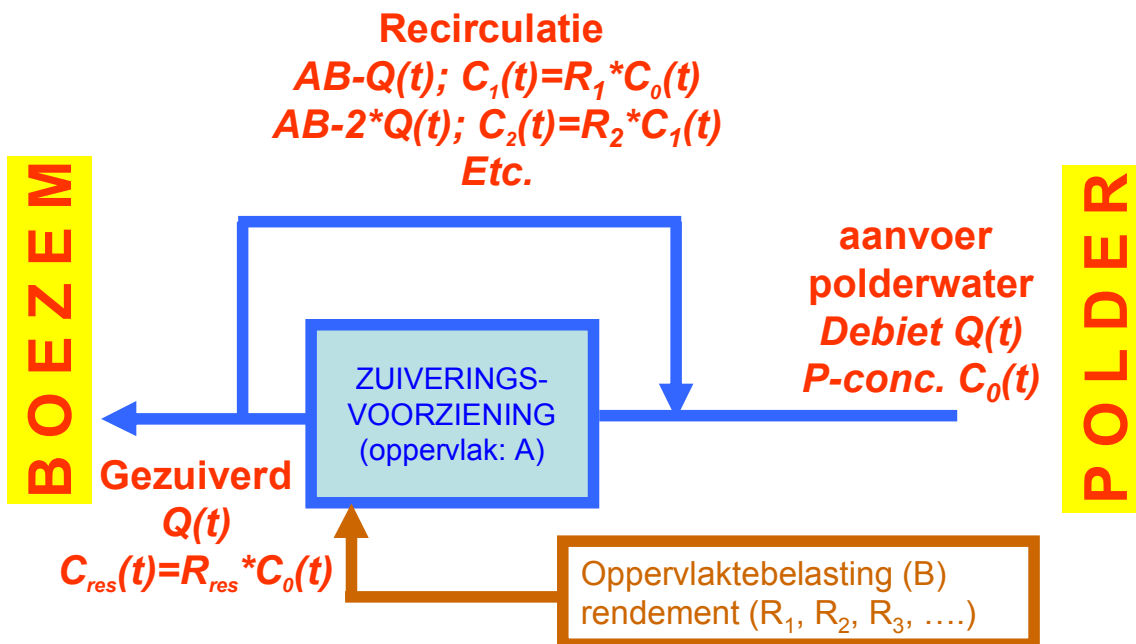
2.3 Gemaal vs. Recirculatie

In lijn met het deelonderzoek van Voort et al. (2010) worden de situaties 'gemaal' en 'recirculatie' onderscheiden. In de situatie 'gemaal' kan het water dat door de zuiveringsvoorziening stroomt slechts eenmaal worden behandeld alvorens het wordt uitgemalen. In de situatie 'recirculatie' is een kringloop gerealiseerd waarbij het polderwater kan worden gecirculeerd, en aldus meerdere malen de zuivering kan doorlopen.

In figuur 2.2. is de toegepaste methode bij recirculatie schematisch weergegeven. In de berekening is het uitgangspunt dat recirculatie alleen mogelijk is wanneer er minder water hoeft te worden uitgemalen dan er kan worden gezuiverd. Verder is in de figuur te zien dat meerdere kentallen voor rendementen worden gebruikt ($R_1, R_2, \text{etc.}$). Dit komt omdat de P-concentratie na de eerste zuiveringsslag normaal gesproken aanzienlijk lager is, en het zuiveringsrendement veelal afneemt bij lagere P-concentraties (zie ook paragraaf 2.5).



Figuur 2.1. Tijdsafhankelijke berekeningsmethode zuiveren bij gemalen. Situatie 'gemaal'. Voor verklaring symbolen zie de tekst in paragraaf 2.1. en 2.2.



Figuur 2.2. Tijdsafhankelijke berekeningsmethode zuiveren bij gemalen. Situatie 'recirculatie'. Voor verklaring symbolen zie de tekst in paragraaf 2.1. en 2.2.

2.4 Ruimtelijke inpassing

Is eenmaal een benodigd oppervlak aan zuiveringsvoorziening berekend, dan is de vervolgvraag of een dergelijk areaal wel ruimtelijk kan worden ingepast in de polder. Dit is afhankelijk van diverse factoren, te denken valt aan de beschikbare grond rond een gemaal, de mate waarin ruimte meervoudig kan worden gebruikt (bv. reeds bestaande waterlopen als bezinking- of coagulatiesloot), de geometrie van het slotenpatroon (bochten), de in het systeem optredende stroomsnelheden. Op basis van het berekende ruimtebeslag zal de haalbaarheid van de ruimtelijke inpassing onder invloed van deze factoren kwalitatief worden besproken.

2.5 Keuze voor zuiveringsmethoden en ontwerpparameters

Bij de keuze voor de door te rekenen zuiveringsmethoden is de door Waternet gemaakte selectie als leidraad genomen. Deze behelst de volgende technieken:

- Gecombineerde coagulatie en sedimentatie ('boerensloot' methode);
- Vlokkingsfiltratie (dynamisch zandfilter);
- Langzame zandfiltratie met ijzer en kalk;
- Fuzzy filter (zonder voorafgaande coagulatie).

Voor een beschrijving van deze technieken wordt verwezen naar Voort et al. (2010). In onderstaande tabel zijn de kentallen weergegeven die zijn gebruikt in de tijdsafhankelijke berekeningen. Ook deze kentallen zijn afgeleid uit Voort et al. (2010).

techniek	Oppervlakte-belasting (m/h)	rendement	benodigde chemicaliën (g/m ³)	Slib-productie (g/m ³)	Energie-verbruik (kWh)
boerensloot	0.6 (klei-), 0.3 (veenpolders)	50% (winter) 80% (zomer)	30 (FeCl ₃)	45	5
vlokkingsfiltratie	10	60-90%	50 (FeCl ₃)	30	15
langz. zandfiltratie	0.1	70-90%	0	0 ¹	5
fuzzy filter	100	20-60%	0	10	10

Opmerking 1

De in de tabel weergegeven kentallen voor de oppervlaktebelasting van de boerensloot zijn optelsommen van de oppervlaktebelastingen voor de coagulatiestap en de sedimentatiestap. De afleiding van de resulterende oppervlaktebelasting is als volgt:

Oppervlaktebelasting coagulatiestap B_C is 1.5 m/h²;
Oppervlaktebelasting sedimentatie B_S is 0.35 m/h (veen) en 1.0 (m/h)³;

1. Na de levensduur wordt het gehele filterbed vervangen
2. Gebaseerd op Tabel 5-1 in Voort et al. (2010), waarbij is meegenomen dat de systemen Botshol en Nieuwkoop overgedimensioneerd zijn, en de daarvoor opgegeven oppervlaktebelastingen dus aan de lage kant zijn.
3. Ongeveer halverwege het door Voort et al. (2010) vermelde bereik.

Resulterende oppervlaktebelasting $\frac{1}{B_R} = \frac{1}{B_C} + \frac{1}{B_S}$

Opmerking 2

Bij het fuzzy filter is de spreiding in het rendement groot. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat deze methode alleen geschikt is indien er relatief veel aan (organische) deeltjes gebonden fosfaat voorkomt. Uit Voort et al. (2010) blijkt dat de verhouding tussen organisch gebonden P en totaal-P in de onderzochte polders varieert tussen 40% en meer dan 90%. Aangenomen is dat het rendement van 20% geldt in het eerste geval en het rendement van 60% in het tweede geval.

Opmerking 3

Bij het fuzzy filter is per m2 filteroppervlak aanvullend nog een oppervlak van 10 m2 aan sliblagune nodig. Dit oppervlak is buiten de berekening gehouden, maar zal wel worden besproken in de resultaten.

Opmerking 4

Zoals gezegd is het rendement mede afhankelijk van de aanvangsconcentratie P. Om dit effect mee te nemen is per zuiveringstechniek een wiskundige functie opgesteld die het zuiveringsrendement R afhankelijk maakt van de aanvangsconcentratie C_0 (in mg/l). Deze functie luidt:

$$C_0 < 0.3 \rightarrow R = \max(0, -k \cdot (C_0 - 0.3)^2 + R_{TABEL})$$

$$C_0 \geq 0.3 \rightarrow R = R_{TABEL}$$

waarbij k een constante is die per zuiveringstechniek varieert. Krachtens deze functie neemt het rendement kwadratisch af naarmate de fosfaatconcentratie afneemt. Voor dit type functie is gekozen omdat het rendement steeds sneller afneemt naarmate de concentraties verder afnemen. Gekozen is om bij een concentratie van 0.05 mg/l nog een rendement van 10% te hanteren, ongeacht het rendement bij hogere fosfaatgehalten. De keuze voor juist deze getallen is min of meer arbitrair, maar geeft in het algemeen wel aan dat het rendement zeer laag is bij zeer lage fosfaatgehalten. Dit betekent dat voor elke zuiveringstechniek een andere functieconstante k is afgeleid.

De toepassing van deze functie vooral van belang bij recirculatie, waar de concentraties met elke zuiveringsstap lager worden. Voor de berekening is uitgegaan van een recirculatiesysteem dat beperkt in omvang is. Dit houdt in dat hetzelfde water relatief vaak langs stroomt, en dientengevolge dat het rendement sterk afneemt bij elke recirculatie. Een groter recirculatietraject is in de praktijk ook denkbaar, en dit zou betekenen dat relatief veel 'nieuw' water minder vaak wordt gerecirculeerd, met als gevolg een minder sterke afname van het rendement. De rekenkundige voorstelling hiervan is echter gecompliceerd. Daarnaast is een compacter systeem wellicht efficiënter voor wat betreft de infrastructuur, de aanvoer van chemicaliën en de afvoer van slib.

De keuze voor een compacte recirculatie is zodanig geïmplementeerd dat indien de uit te malen dagafvoer n maal kleiner is dan de beschikbare zuiveringscapaciteit, er $n-1$ maal

grecirculeerd kan worden. In de praktijk zou dit inhouden dat recirculatie vooral in het zomerhalfjaar plaats kan vinden. In het winterhalfjaar moet er veel water worden uitgemalen zodat het water geen tijd heeft om te recirculeren.

2.6 Voorbeeldpolders en -gemalen

2.6.1 Verantwoording keuze

De berekeningen zijn uitgevoerd voor drie typen voorbeeldpolders in West-Nederland, die qua landgebruik, geologie en fosfaatbelasting van elkaar verschillen:

Type 1 Kleipolder met akkerbouw en relatief lage fosfaatconcentraties (0.2 à 0.3 mg/l), grotendeels organisch gebonden fosfaat (ca. 90%);

Type 2 Kleipolder met glastuinbouw en relatief hoge fosfaatconcentraties (0.6 à 0.7 mg/l), relatief veel orthofosfaat (ca. 50%);

Type 3 Veenpolder met veeteelt en relatief hoge fosfaatconcentraties (ca. 0.6 mg/l), relatief veel orthofosfaat (ca. 50%).

De keuze voor deze polders wijkt deels af van de voorbeeldpolders die door Heerdink (2010) zijn gekozen; alleen type III is in beide rapporten beschouwd. De reden hiervoor is dat een unieke set van hoogfrequente meetreeksen van het maaldebiet (dagelijks) en fosfaatconcentraties (elke 3 of 4 dagen) is gebruikt voor de tijdsafhankelijke berekening. Deze gegevensset heeft betrekking op een polder van het type I, zie bijlage I. Voor andere gemalen en polders zijn meestal alleen gemiddelden of maandelijkse gegevens beschikbaar.

2.7 KRW-eisen aan fosfaatconcentraties

De sloten binnen de gekozen typen voorbeeldpolders in West-Nederland vallen veelal onder de KRW-typen M1a en M8. Dit houdt in dat de vereiste totaal-fosfaatconcentraties in de polder $\leq 0,22$ mg/l dienen te zijn. Boezemwateren hebben veelal een KRW-watertype M3 met een vereiste totaal-fosfaatconcentraties $\leq 0,15$ mg/l. Ook het KRW-type M30 (zwak brakke wateren) komt regelmatig voor in hoofdvaarten van diepere polders, met een bijbehorende eis aan de totaal-fosfaat concentratie van 0.15 mg/l (GEP).

Samenvattend komen de KRW-doelstellingen voor totaal-fosfaat neer op concentraties van 0.15 à 0.25 mg/l. Naast stofconcentraties zijn in de praktijk overigens ook stofbelastingen van belang (zie verder rapport I hieromtrent).

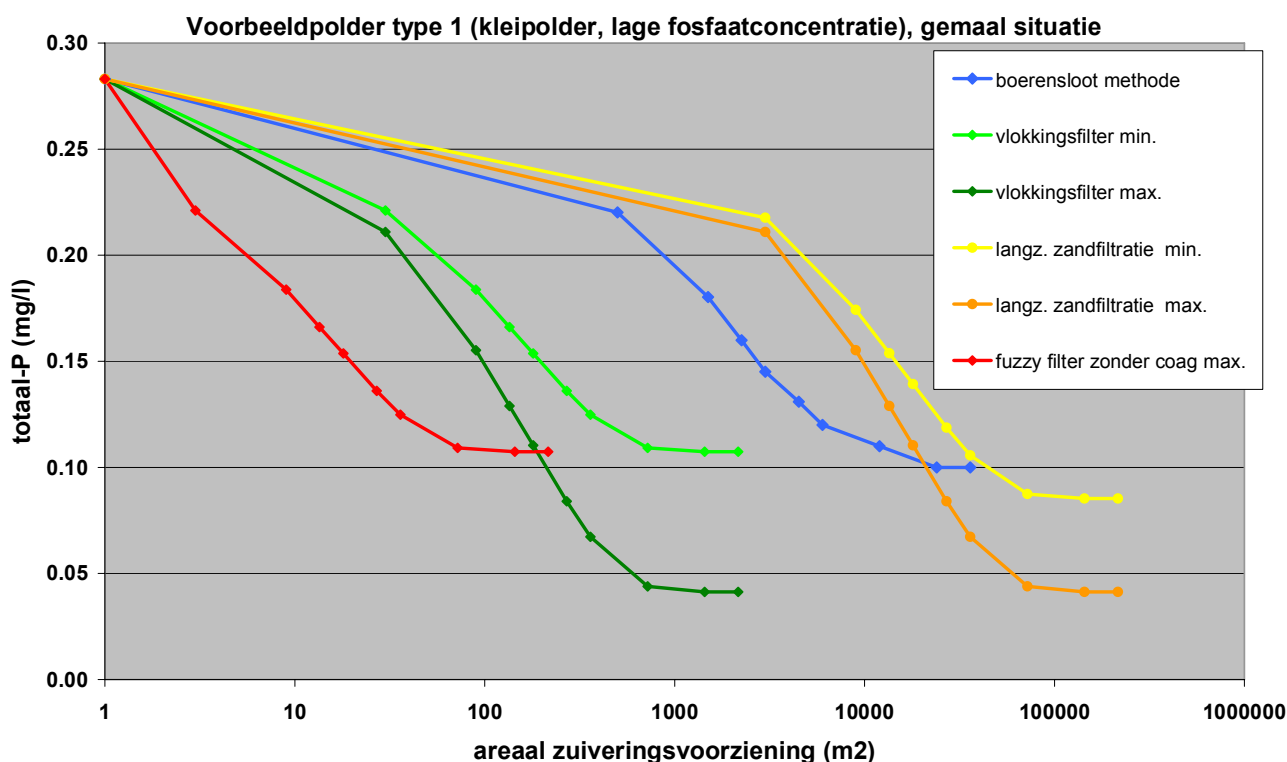
3 Resultaten

3.1 Voorbeeldpolder type 1 (kleipolder, lage P)

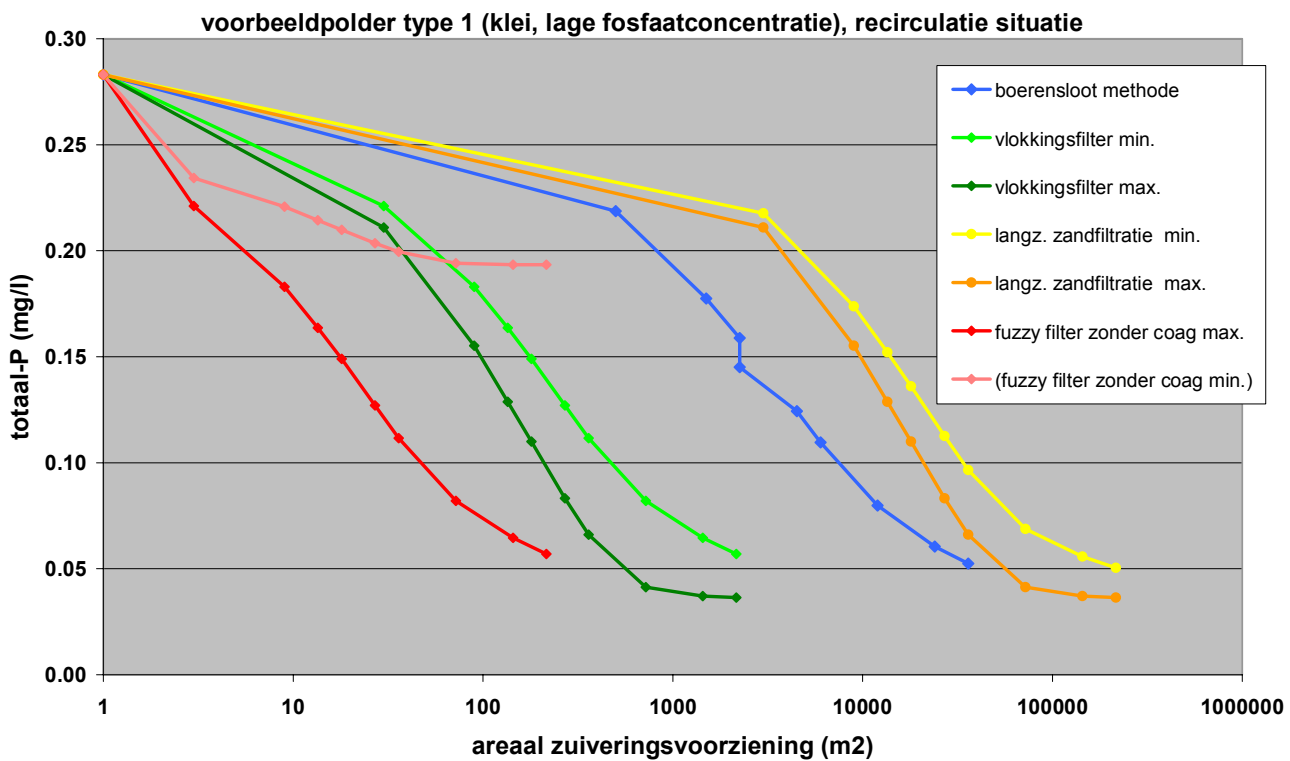
3.1.1 Benodigd ruimtebeslag

Conform de schematisatie van figuren 2.1. en 2.2. en de overige in hoofdstuk 2 beschreven uitgangspunten zijn de berekeningen van de gereduceerde totaal-fosfaatconcentraties uitgevoerd voor negen in oppervlakte toenemende arealen, inclusief de nulsituatie. Er is uitgegaan van een polderoppervlak van 2300 hectare (zie bijlage 1). Omdat de oppervlaktebelasting per zuiveringstechniek sterk verschilt, verschillen ook de toegepaste arealen navenant. Omdat type 1 een kleipolder is, is voor de oppervlaktebelasting bij de boerenslootmethode de waarde 0.6 m/h toegepast. Gezien het kleine aandeel orthofosfaat (10%) is uitgegaan van het relatief hoge rendement voor het fuzzy filter van 60%.

In figuren 3.1. en 3.2. zijn de berekende resulterende totaalfosfaatconcentraties weergegeven voor voorbeeldpolder type 1, respectievelijk voor de gemaal- en recirculatie situatie.



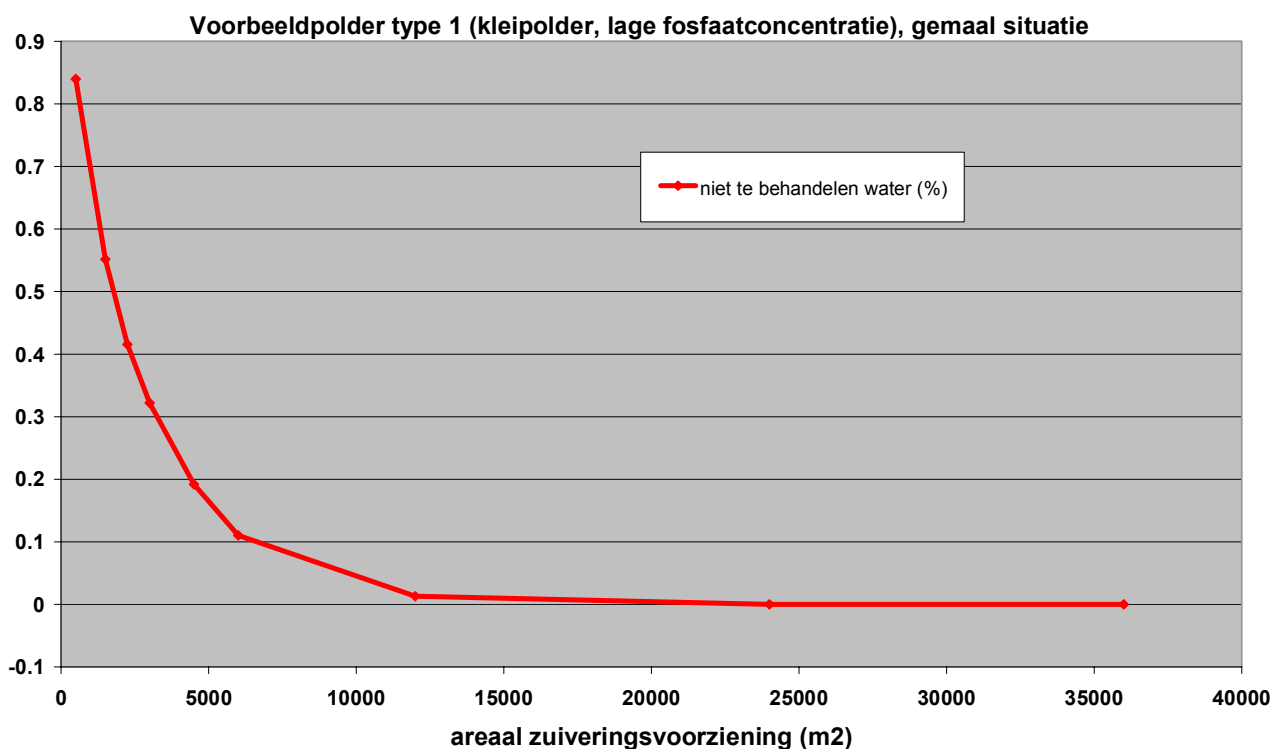
Figuur 3.1. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'gemaal', voorbeeldpolder type 1.



Figuur 3.2. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'recirculatie', voorbeeldpolder type 1.

Duidelijk is dat bij een toenemend areaal aan zuiveringsvoorziening de resulterende fosfaatconcentratie afneemt, omdat er naar verhouding steeds meer water gezuiverd kan worden alvorens het wordt uitgemalen. We zien echter ook dat op zeker moment een toename in het areaal geen effect meer heeft. Dit komt omdat bij een bepaald areaal al het water behandeld kan worden, in dit geval is dit bijvoorbeeld vanaf 12.000 m² aan boerensloot het geval, zie figuur 3.3. Uit deze figuur blijkt overigens wel dat er een behoorlijk oppervlak aan boerensloot nodig is om het percentage onbehandeld water dat wordt uitgemalen tot kleine proporties terug te reduceren. Zo verlaat bij 3000 m² aan boerensloot-areaal nog altijd een derde van het water ongezuiverd de polder gedurende een derde van de tijd. In dit type voorbeeldpolder wordt echter de voor KRW vereiste P-concentratie vrij snel bereikt.

Het effect van recirculatie is pas te zien wanneer de toename van het areaal geen effect meer heeft. Bij kleinere arealen moet nog relatief veel water onbehandeld worden uitgemalen, zodat er relatief weinig beschikbaar is voor recirculatie. In geval van de langzame zandfiltratie en vlokkingfiltratie bij maximaal rendement is ook bij grote arealen nauwelijks aanvullend effect. Door het hierbij gehanteerde hoge rendement (90%) is de P-concentratie na één zuiveringsstap al zover gereduceerd dat het rendement in de volgende stap(pen) meteen veel lager ligt.



Figuur 3.3. Percentage uitgemalen water dat onbehandeld wordt uitgemalen, als functie van het areaal aan zuiveringsvoorziening. Voorbeeld boerenslootmethode in voorbeeldpolder type 1.

In onderstaande tabel is, op basis van figuren 3.1. en 3.2, per zuiveringstechniek het areaal, in orde van grootte, weergegeven dat benodigd is om de KRW-doelconcentraties voor totaal-fosfaat te bereiken. In geval van het fuzzy filter is rekening gehouden met een aanvullend oppervlak aan slibligune, zoals in hoofdstuk 2 beschreven.

Techniek	Areaal bij gemaal (orde van grootte)	Areaal bij recirculatie (orde van grootte)
Boerensloot	1000 m ²	1000 m ²
Vlokkingsfiltratie	100 m ²	100 m ²
langz. Zandfiltratie	1000 - 10.000 m ²	1000 - 10.000 m ²
fuzzy filter (excl. / incl. slibligune)	10 / 100 m ²	10 / 100 m ²

Met betrekking tot het benodigde areaal boerensloot is het van belang op te merken dat er zuiveringstechnisch niet letterlijk sprake is van een langgerekte boerensloot, maar een smal coagulatietraject gevolgd door een breed bezinkingstraject (eerder een “boerenvijver”). Op deze manier wordt de vereiste afnemende energie inbreng bij het doseren en mengen, vlokvorming en sedimentatie op de juiste wijze gehanteerd. In het geval van voorbeeldpolder type 1 zal dus niet een systeem van tientallen km worden aangelegd, maar hooguit 200 à 300 meter, echter wel met een breed bezinkingsbekken, zodat aan het oppervlaktecriterium wordt voldaan. Het benodigde ruimtebeslag bedraagt enkele procenten van het totale watersysteem.

3.1.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik

Voor deze parameters is het jaarverbruik c.q. de productie bepaald op basis van de hoeveelheid water die dagelijks door de zuivering verwerkt kan worden. In het geval van recirculatie betekent dit 365 maal deze dagcapaciteit, die berekend wordt als het product van het areaal en de oppervlakbelasting. In de situatie 'gemaal' is dit echter minder, omdat dan alleen wordt gezuiverd wat wordt uitgemalen, en in de zomerperiode is dit vaak minder dan de dagcapaciteit. De reductie in jaarverbruik / productie loopt dan op tot 90% bij een areaal van 36.000 m². In onderstaande tabellen zijn de waarden weergegeven die corresponderen met de voor de KRW-doelen vereiste arealen zoals weergegeven in de tabel in paragraaf 3.1.1.

De bijbehorende grafieken voor het totale bereik aan arealen zijn in bijlage 2 weergegeven.

techniek	Jaarverbruik chemicaliën bij gemaal (orde van grootte)	Jaarverbruik chemicaliën bij recirculatie (orde van grootte)
boerensloot	100.000 – 1.000.000 kg	100.000 – 1.000.000 kg
vlokkingsfiltratie	100.000 – 1.000.000 kg	100.000 – 1.000.000 kg
langz. zandfiltratie	0 kg	0 kg
fuzzy filter (excl. / incl. slibligune)	0 kg	0 kg

techniek	Jaarlijkse slibproductie bij gemaal (orde van grootte)	Jaarlijkse slibproductie bij recirculatie (orde van grootte)
boerensloot	100.000 – 1.000.000 kg	100.000 – 1.000.000 kg
vlokkingsfiltratie	100.000 – 1.000.000 kg	100.000 – 1.000.000 kg
langz. zandfiltratie	0 kg	0 kg
fuzzy filter (excl. / incl. slibligune)	100.000 kg	100.000 kg

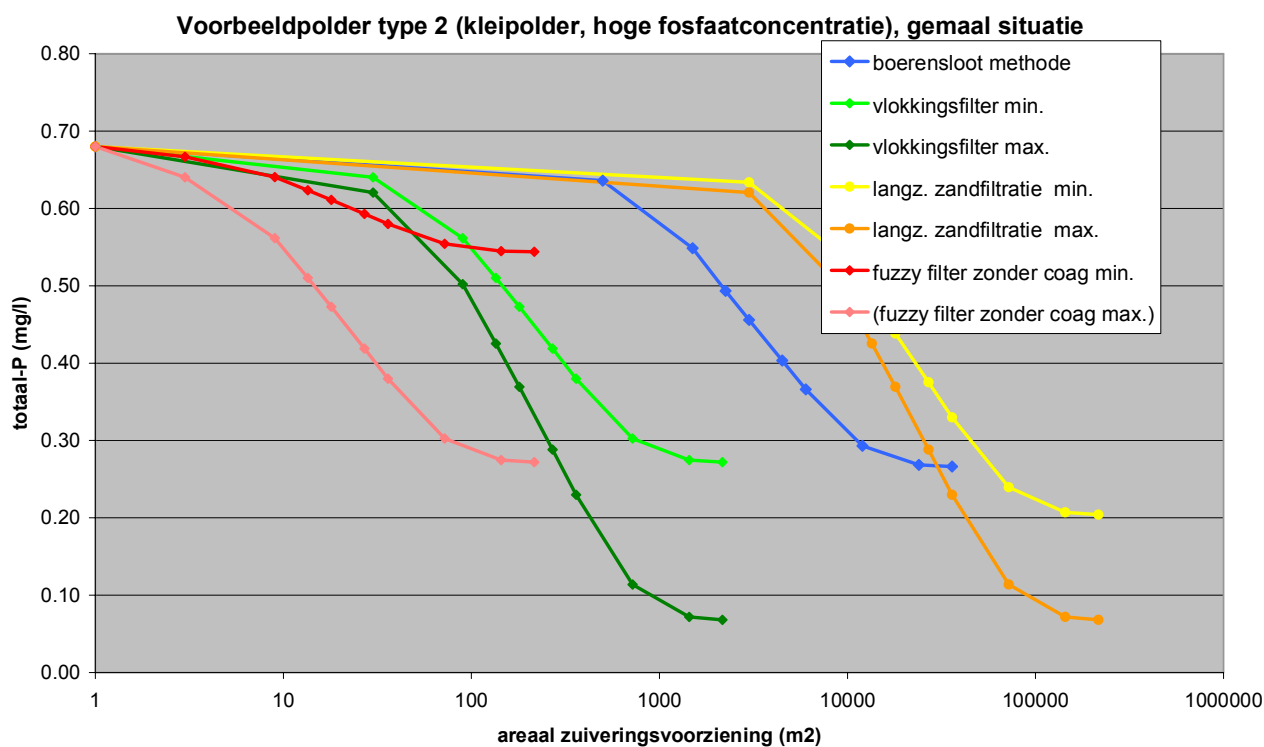
techniek	Jaarverbruik energie bij gemaal (orde van grootte)	Jaarverbruik energie bij recirculatie (orde van grootte)
boerensloot	10.000 – 100.000 kWh	10.000 – 100.000 kWh
vlokkingsfiltratie	100.000 kWh	100.000 – 1.000.000 kWh
langz. zandfiltratie	10.000 – 100.000 kWh	10.000 – 100.000 kWh
fuzzy filter (excl. / incl. slibligune)	100.000 kWh	100.000 kWh

3.2 Voorbeeldpolder type 2 (kleipolder, hoge P)

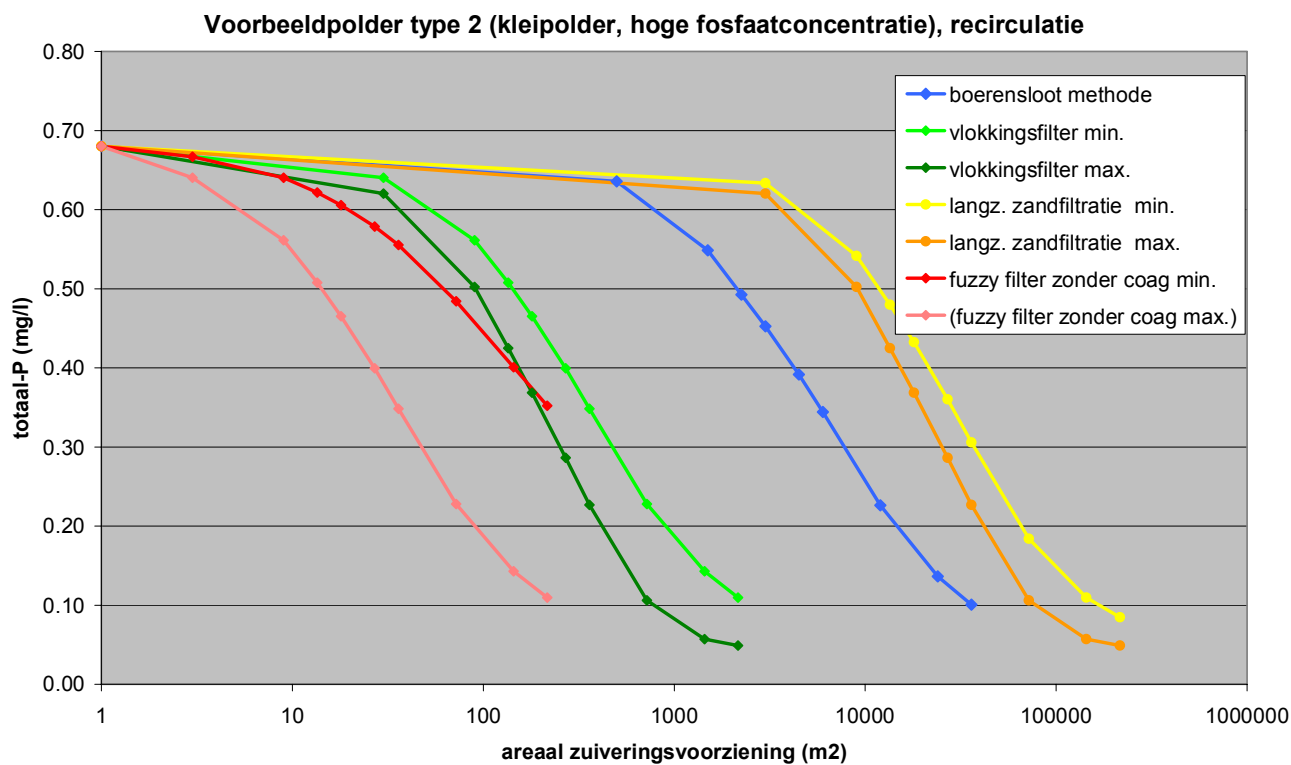
3.2.1 Benodigd ruimtebeslag

De berekening is analoog aan de voor type 1 gevolgde werkwijze, met dezelfde in oppervlak toenemende arealen. Er is uitgegaan van een polderoppervlak van 3700 hectare (zie bijlage 1). Ook type 2 is een kleipolder, derhalve is voor de oppervlakbelasting bij de boerenslootmethode de waarde 0.6 m/h toegepast. Het aandeel orthofosfaat is echter relatief hoog (50 tot 60%), zodat is uitgegaan van het lage rendement voor het fuzzy filter van 20%.

In figuren 3.4 en 3.5 zijn de berekende resulterende totaalfosfaatconcentraties weergegeven voor voorbeeldpolder type 2, respectievelijk voor de gemaal- en recirculatie situatie.



Figuur 3.4. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'gemaal', voorbeeldpolder type 2.



Figuur 3.5. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'recirculatie', voorbeeldpolder type 2.

Overeenkomsten met de situatie bij voorbeeldpolder type 1 zijn dat bij een toenemend areaal aan zuiveringsvoorziening de resulterende fosfaatconcentratie afneemt, en dat op zeker moment een toename in het areaal nauwelijks nog effect heeft. Ook geldt hier dat een behoorlijk oppervlak aan boerensloot nodig is om het percentage onbehandeld water dat wordt uitgemalen tot kleine proporties te reduceren. Bij 3000 m² aan boerensloot-areaal verlaat bijna de helft van het water ongezuiverd de polder. Dit is meer dan bij voorbeeldpolder type 1 omdat het achterland van voorbeeldpolder type 2 bijna 2x zo groot is, en conform de gehanteerde aannamen ook de dagelijkse maaldebieten.

Er is ook een duidelijk verschil: het benodigde ruimtebeslag om de KRW-doelen te realiseren is groter. Uit onderstaande tabel blijkt dat het om een orde van grootte verschil gaat. De oorzaak is de veel hogere aanvangsfosfaatconcentratie in voorbeeldpolder type 2: 0.68 versus 0.24 mg/l. Verder blijken de boerenslootmethode en de fuzzy filter methode niet toereikend, laatstgenoemde ook niet in de recirculatie situatie. De oorzaak bij de boertenslootmethode is de niet toereikende combinatie aanvangsconcentratie - rendement. Bij het fuzzy filter is het gehanteerde lage rendement als gevolg van de hogere orthofosfaatbijdrage cruciaal. Ter vergelijking is in figuur 3.5. ook de curve weergegeven (in roze) indien het hogere rendement had mogen worden gehanteerd. De resulterende totaal-P concentraties worden aanzienlijk lager, hoewel alleen in de recirculatie situatie de KRW doelen worden gehaald, en dan alleen nog bij een relatief groot filteroppervlak van 10-100 m². Hierbij moet bovendien een oppervlak aan sliblagune van 100-1000 m² worden opgeteld.

Techniek	Areaal bij gemaal (orde van grootte)	Areaal bij recirculatie (orde van grootte)
Boerensloot	KRW-doel niet gehaald	10.000 m ²
vlokkingsfiltratie	100 – 1000 m ²	100 – 1000 m ²
langz. zandfiltratie	10.000 - 100.000 m ²	10.000 - 100.000 m ²
fuzzy filter (excl. / incl. sliblagune)	KRW-doel niet gehaald	KRW-doel niet gehaald

Wederom geldt dat sprake zal zijn van een smal coagulatie-traject gevolgd door een breed bezinkingstraject (eerder een "boerenvijver"). Het benodigde ruimtebeslag bedraagt enkele procenten van het totale watersysteem.

3.2.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik

Omdat met dezelfde arealen zuiveringsvoorziening en oppervlaktebelastingen is gerekend, zijn de benodigde hoeveelheden chemicaliën, de jaarlijkse slibproductie en het energieverbruik vergelijkbaar, en in de recirculatiesituatie zelfs identiek.

Omdat in de zomerperiode in de gemaalsituatie minder snel een 'tekort' aan te zuiveren water zal ontstaan als gevolg van het grotere achterland, zullen de waarden voor deze parameters dichter bij de voor de recirculatie berekende waarden liggen dan bij voorbeeldpolder type 1.

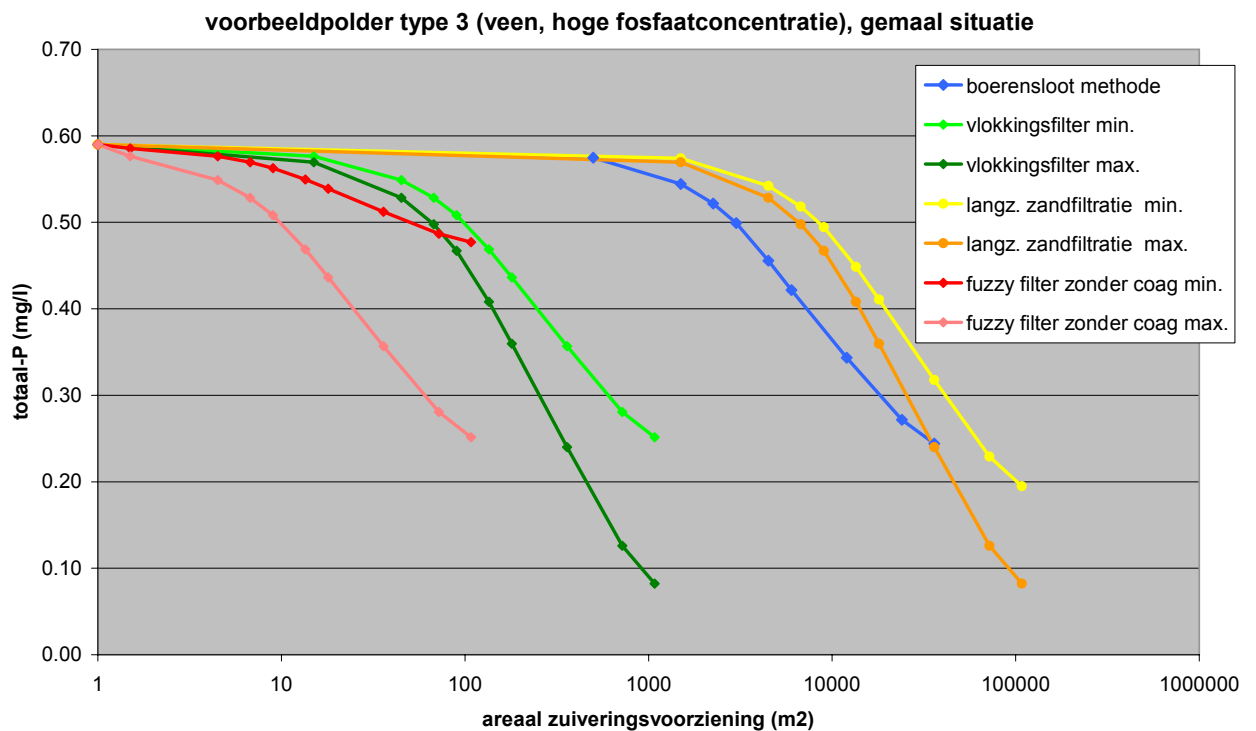
3.3 Voorbeeldpolder type 3 (veenpolder, hoge P)

3.3.1 Benodigd ruimtebeslag

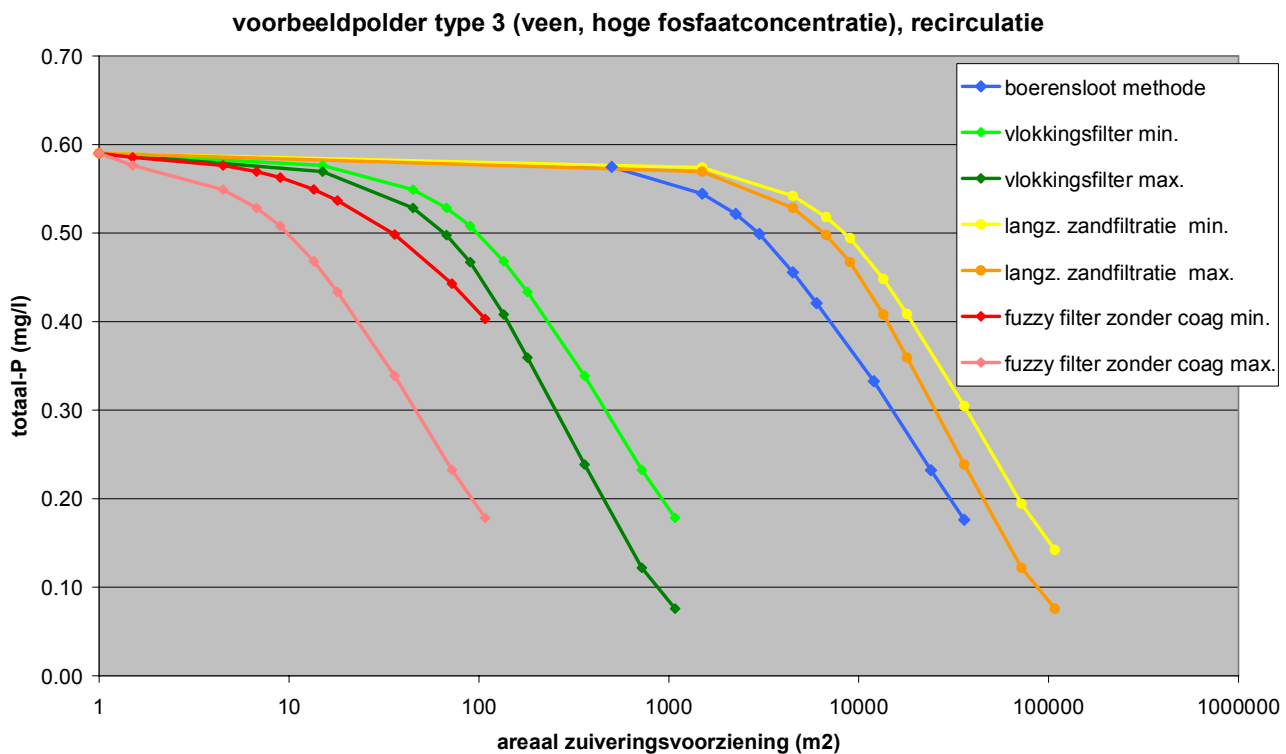
De berekening is analoog aan de voor de andere voorbeeldtypen gevolgde werkwijze, met dezelfde in oppervlak toenemende arealen. Er is uitgegaan van een polderoppervlak van 4700 hectare (zie bijlage 1). Type 3 is echter een veenpolder, derhalve is voor de oppervlaktebelasting bij de boerenslootmethode de waarde 0.3 m/h toegepast. Het aandeel

orthofosfaat is bovendien relatief hoog (ca. 60%), zodat is uitgegaan van het lage rendement voor het fuzzy filter van 20%.

In figuren 3.6 en 3.7 zijn de berekende resulterende totaalfosfaatconcentraties weergegeven voor gemaal Verdood, respectievelijk voor de gemaal- en recirculatie situatie.



Figuur 3.6. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'gemaal', Verdood.



Figuur 3.7. Berekende totaalfosfaatconcentraties na zuivering bij verschillende arealen van de voorziening, situatie 'recirculatie', Verdood.

Op het eerste gezicht zijn de resultaten vergelijkbaar met de resultaten voor voorbeeldpolder type 2. Subtiel maar belangrijk verschil is echter dat het benodigde ruimtebeslag met name bij de boerensloot (nog) groter is. In de gemaalsituatie zijn naast de fuzzy filtering ook de boerensloot methode en de vlokkingfiltratie bij minmaal rendement (60%) niet toereikend, ook al worden grote arealen ingericht. Dit alles ondanks een iets lagere aanvangsconcentratie fosfaat. De oorzaak voor dit verschil is een groter achterland (4700 vs. 3700 ha) en een lagere oppervlaktebelasting voor de boerenslootmethode, vanwege het venige karakter van de polder.

Ten aanzien van het fuzzy filter geldt dezelfde opmerking als gemaakt bij voorbeeldpolder type 2.

Techniek	Areaal bij gemaal (orde van grootte)	Areaal bij recirculatie (orde van grootte)
Boerensloot	KRW-doel niet gehaald	10.000 – 100.000 m ²
Vlokkingfiltratie	100 – 1000 m ²	100 – 1000 m ²
langz. Zandfiltratie	10.000 - 100.000 m ²	10.000 - 100.000 m ²
fuzzy filter (excl. / incl. slibligune)	KRW-doel niet gehaald	KRW-doel niet gehaald

Ook hier geldt dat sprake zal zijn van een smal coagulatietraject gevolgd door een breed bezinkingstraject (eerder een "boervijver"). Het benodigde ruimtebeslag bedraagt enkele procenten van het totale watersysteem.

3.3.2 Chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik

Omdat met dezelfde arealen zuiveringsvoorziening en oppervlaktebelastingen is gerekend, zijn de benodigde hoeveelheden chemicaliën, de jaarlijkse slibproductie en het energieverbruik vergelijkbaar, met name met voorbeeldpolder type 2, en in de recirculatiesituatie zelfs identiek aan de eerdere resultaten.

4 Discussie: mogelijkheden voor ruimtelijke inpassing

4.1 Boerensloot methode

4.1.1 Stroomsnelheids criterium en slootgeometrie (boerensloot methode)

Voor de boerensloot methode geldt als ontwerpcriterium dat de stroomsnelheid niet hoger mag zijn dan ca. 0.01 m/s (zie rapport II). Bij een bekend maaldebiet en een veronderstelde slootdiepte kan dan worden berekend wat de totaal benodigde slootbreedte moet zijn om aan dit criterium te voldoen. Dit is berekend voor voorbeeldpolder type 1, en is weergegeven in figuur 4.1. De totaal benodigde slootbreedte ligt maximaal in de orde van grootte van 100 m. Deze waarde is maatgevend, omdat een (forse) overschrijding van dit criterium tijdens het op volle kracht draaien van de gemaalpompen wellicht erosie en opwerveling van het eerder bezonken ijzerfosfaat met zich meebrengt. Mogelijk gevolg is dat dit fosfaat alsnog op de boezem wordt uitgeslagen.

4.1.2 Ruimtelijke inpassing

In veel grote polders in met name West-Nederland bestaat het laatste traject voor het gemaal uit een maaltocht, een lange rechte waterloop, en eventueel een maalkom vlak voor het gemaal. De eisen aan de slootbreedte betekenen dat een maaltocht ongeschikt is voor toepassing van de boerenslootmethode; er worden (veel) te hoge stroomsnelheden gegenereerd als de gemalen draaien. Bij het ontbreken van een maalkom is de conclusie dan ook dat de boerenslootmethode niet voor een gemaal kan worden toegepast. Een maalkom is mogelijk wel geschikt, al bestaat het risico dat in de praktijk ook hier plaatselijk opwerveling van bezonken sediment plaatsvindt bij hoge maaldebieten. Daarnaast is een meng- en doseerinstallatie waarschijnlijk lastig ruimtelijk inpasbaar, omdat hiervoor een peilverschil noodzakelijk is. Het realiseren daarvan, middels een stuw, op de overgang van maaltocht naar maalkom, brengt mogelijk de capaciteit om in natte perioden snel grote hoeveelheden water uit te malen in gevaar. Bovendien betekent dit een extra energievraag omdat het verschil tussen polderpeil (in de maalkom) en boezempeil wordt vergroot.

In sommige gevallen omvat de boezem nabij het gemaal plassen of meren, die mogelijk anderszins geschikt zijn als coagulatie- en/of sedimentatiewater. Het benutten daarvan zou inhouden dat het gehele zuiveringssysteem buiten de polder komt te staan en onderdeel van de boezem wordt. Van belang is hierbij dat het ruimtelijk verdelen van de methode over polder en boezem, d.w.z. coagulatie vóór het gemaal en sedimentatie erna, geen realistische optie is. Tijdens de passage door het gemaal worden veel van de gevormde vlokken namelijk weer kapot geslagen.

Een verdeling van het boerensloot systeem over meerdere parallelle sloten in rustigere wateren is kansrijker, en maakt bovendien recirculatie mogelijk. Dit is van belang in kleipolders met hoge fosfaatconcentraties (voorbeeldpolder type 2), omdat uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat de boerenslootmethode daar alleen bij grote arealen in recirculatie het gewenste resultaat oplevert. Dit zijn in feite configuraties zoals reeds gerealiseerd door Waternet in bv. Botshol (zie rapport II). In polders met de beschreven maaltochtconfiguratie houdt dit in dat het systeem verder achterin de polder moet worden

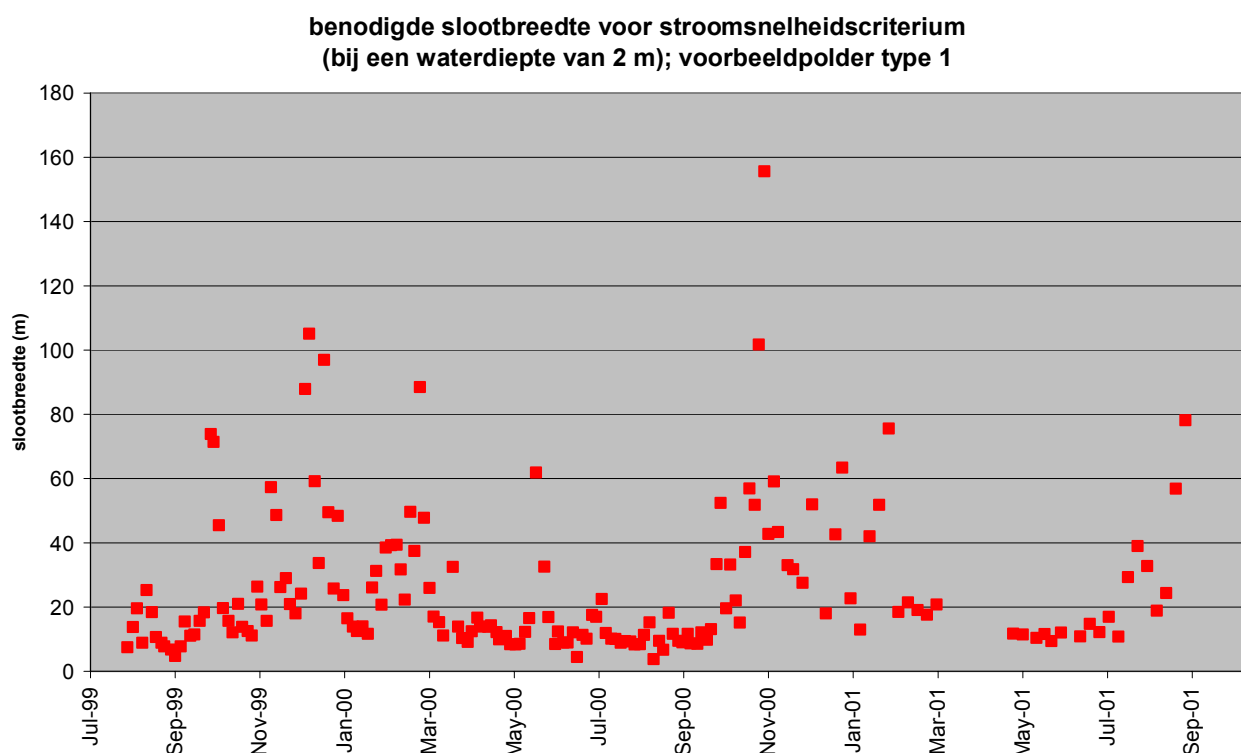
ingericht, echter ook weer niet te ver, aangezien wel zoveel mogelijk water uit het achterland de voorziening moet kunnen passeren op weg naar het gemaal.

Met het oog op de mogelijk grote hoeveelheden aan te voeren ijzerchloride en af te voeren slib dient het systeem wel zoveel mogelijk te worden geconcentreerd op 1 locatie. De meng- en doseerinrichting dient goed bereikbaar te zijn voor vrachtwagens die voor deze aan- en afvoer moeten zorgen.

In een boerensloot stelsel zitten bovendien bij voorkeur geen bochten (zie rapport II).

Tot slot vormen bestaande gebruiksfuncties van het polderwater of het aangrenzende land potentieel beperkingen voor toepassing van de boerenslootmethode. Denk bijvoorbeeld aan mogelijke stankoverlast in aangrenzend bebouwd gebied. Dergelijke aspecten dienen dan ook te worden meegenomen bij de locatiekeuze.

De hierboven beschreven randvoorwaarden en eerder gepresenteerde resultaten betekenen dat de boerenslootmethode vooral geschikt lijkt in kleipolders met een sterk kunstmatig karakter, zich uitend in relatief grote peilvakken. De noodzaak tot inrichting van een deel van het watersysteem als 'boerenvijver' ten behoeve van het bezinkingstraject is een aandachtspunt indien de polder momenteel louter bestaat uit smalle, langgerekte sloten. De droogmakerijen en andere grote inpolderingen van West-Nederland beantwoorden het beste aan deze beschrijving. De grote slootafstanden zijn wellicht een beperkende factor en grondverzet is mogelijk nodig om een 'boerenvijver' te creëren. Veenpolders worden minder geschikt geacht op grond van de gepresenteerde resultaten voor voorbeeldpolder type 3. Meer 'natuurlijke' kleipolders wateren vaak onder vrij verval af, onder invloed van het vaak nog aanwezige reliëf in het terrein. Dit poldertype komt veel voor in de zeekleigebieden van Noord-Nederland en Zeeland, en in het rivierengebied. Het kleinschalige karakter van de boerenslootmethode sluit (op papier) goed aan bij dit poldertype. De natuurlijke peilverschillen zijn bovendien potentieel gunstig voor het mengen en doseren. Uit duurzaamheidsoogpunt zijn ze echter mogelijk ongunstig voor het inrichten van recirculatie, omdat het water over relatief grote peilverschillen weer teruggemalen moet worden. In zeekleigebieden komen bovendien relatief veel dendritische en kronkelige slotenpatronen voor, onder invloed van oude kreeklopen. Deze patronen zijn ongunstig voor vlokvorming en het realiseren van recirculatie. Toepassing van de boerenslootmethode lijkt in dit poldertype dan ook alleen geschikt bij niet al te hoge aanvangsconcentraties fosfaat.



Figuur 4.1. Benodigde slootbreedte om te voldoen aan het stroomsnelheidscriterium van ≤ 0.01 m/s, voorbeeldpolder type 1.

4.2 Vlokkingsfiltratie

Vlokkingsfiltratie lijkt technisch gezien in zowel klei- als veenpolders haalbaar indien dit grootschalig toegepast kan worden. Naast de beschikbare ruimte op of nabij het gemaalterrein speelt ook de landschappelijke ligging van het gemaal een rol. In een open, landelijke omgeving vormt een industrieel ogende installatie al snel horizonvervuiling. Het ruimtebeslag ligt in de orde van grootte van 100-1000 m². Het benutten van één compacte locatie voor de zuivering is gunstig voor de aan- en afvoer van de benodigde grote hoeveelheden chemicaliën en slib, en voor de benodigde stroomvoorziening. Vanuit kosten oogpunt vereist een grootschalige toepassing een grote investering, en daarmee een groot achterland om veel polderwater te kunnen zuiveren en daarmee de baten op peil te krijgen. De eerder beschreven, min of meer natuurlijk afwaterende kleipolders met veelal kleine peilgebieden en gemalen lijken daarom minder geschikt voor vlokkingsfiltratie. In de polders en waarden van West-Nederland lijkt toepassing kansrijker. Een verdere kwantificering van de kosten wordt gegeven in rapporten II en IV.

4.3 Langzame zandfiltratie

Op papier is langzame zandfiltratie universeel geschikt indien grote arealen kunnen worden ingericht (1-10 ha). De methode is robuust, er zijn geen chemicaliën nodig, er wordt geen slib geproduceerd. Grootste knelpunt hier is de beperkte beschikbaarheid van de benodigde grote arealen. Het meervoudig benutten van deze arealen, als park of anderszins, biedt misschien kansen, waarbij een aandachtspunt is dat het zandbed periodiek vervangen moet worden.

4.4 Fuzzy filter

Zonder voorafgaande coagulatie is fuzzy filtering niet haalbaar in polders met relatief weinig aan deeltjes gebonden fosfaat. Met coagulatiestap mogelijk wel, maar hier ontstaat een topologisch probleem: enerzijds vergt het grootschalige industriële karakter van de installatie vrijwel zeker plaatsing bij een gemaal (zie ook vlockingsfiltratie). Anderzijds is coagulatie nabij het gemaal vaak niet haalbaar i.v.m. de grote stroomsnelheden in de maaltocht (zie par. 4.1). Wellicht biedt een maalkom mogelijkheden voor coagulatie. Het benodigde areaal voor de bijbehorende sliplagune is een tweede knelpunt.

In grote klei- of veenpolders met een sterk kunstmatig karakter (dus grote peilvakken) en veel gebonden fosfaat is de methode wel kansrijk. Zonder coagulatie is fosfaatslib bovendien herbruikbaar als meststof. Een korte afvoercyclus door bv. regelmatige afzet van het fosfaatslib in de omgeving maakt wellicht een kleinere sliplagune mogelijk. Gezien het huidige mestoverschot is de vraag of dit op korte termijn realistisch is. Dit wordt op langere termijn wellicht anders als de fosfaatbronnen wereldwijd uitgeput zouden raken.

5 Referenties

Rapport I (2010). Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?. Rapport I: Gegevens inventarisatie ten behoeve van ontwerpaspecten. Deltares, rapportno. 1202057-001.

Rapport II (2010). Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?. Rapport II: Technologische en financiële karakterisering zuiveringssystemen. Waternet, 1202057-002.

Rapport IV (2010). Zuiveren en Gemalen: Een Logische Combinatie?. Rapport IV: Kostenberekening voor drie voorbeeldpolders. Deltares, rapportno. 1202057-004.

A Kenmerken voorbeeldpolders

Voor de drie typen voorbeeldpolders hebben werkelijke polders model gestaan. Dit zijn Polder de Noordplas (type 1), Polder Bleiswijk (type 2) en de Krimpenerwaard (type 3).

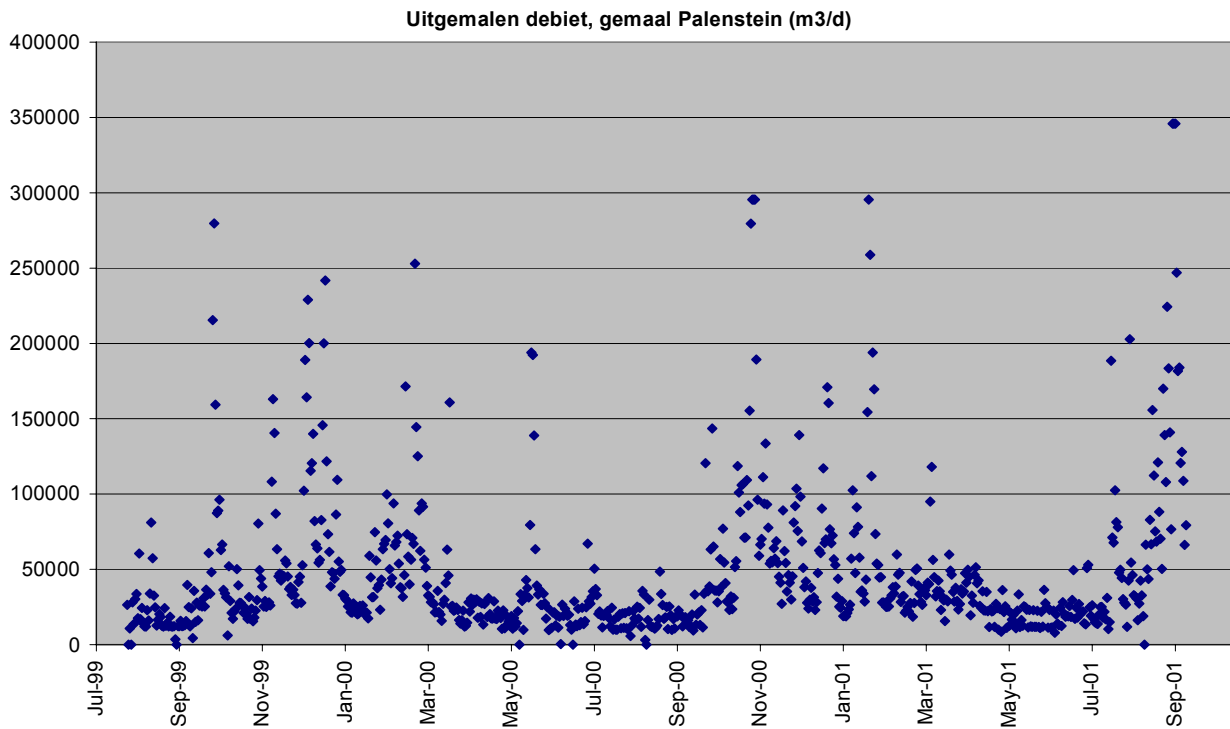
Voorbeeldpolder type 1 Polder de Noordplas

(bron: Bardoel et al., 2003, meetgegevens van Hoogheemraadschap Rijnland)

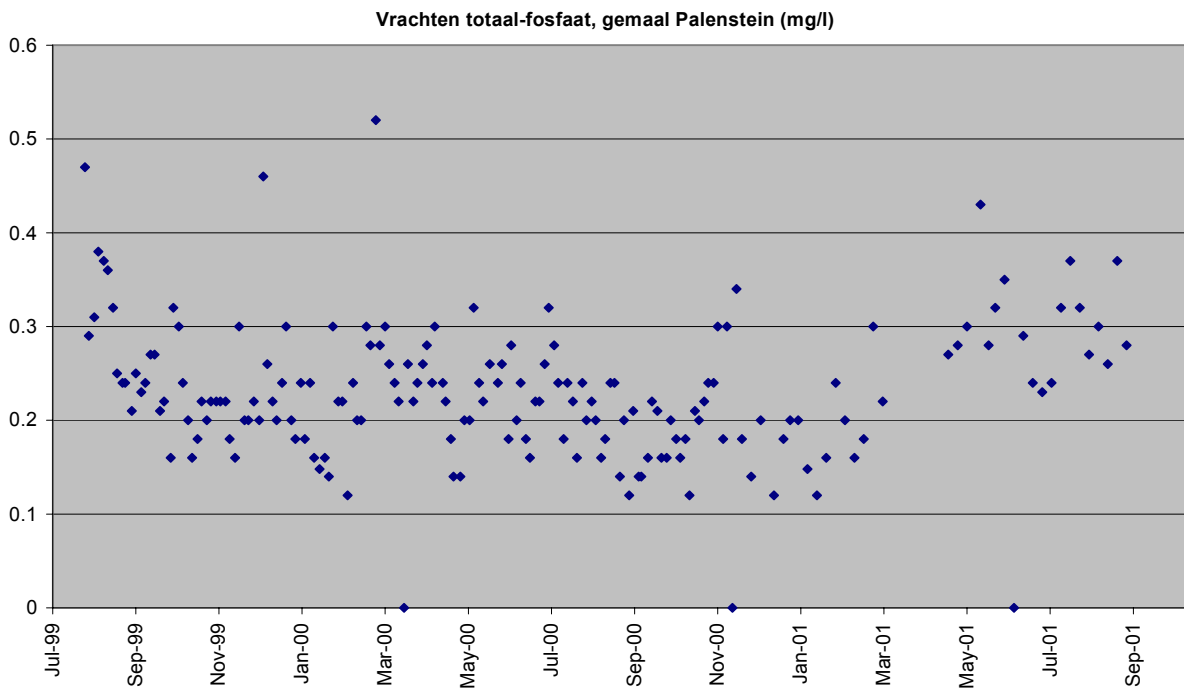
Polder de Noordplas is een droogmakerij tussen Waddinxveen, Boskoop en Zoetermeer. De oppervlakte is ongeveer 4500 ha en de maaiveldhoogte is NAP -4 à -5 m. Het landgebruik is hoofdzakelijk akkerland en deels grasland. De bodem bestaat voornamelijk uit kleigronden. De polder wordt bemalen door gemaal Palenstein in het westen (ca. 2300 ha), gemaal Omring in het oosten (ca. 2100 ha), een gemaal voor een deel van het stedelijk gebied van Zoetermeer, en enkele onderbemalingen. Gemaal Palenstein in Zoetermeer maalt het water via de Elleboogse Wetering uit op de Noord Aa middels twee pompen, elk met een capaciteit van 110 m³ per minuut.

In het kader van een onderzoek naar het effect van waterbeheer op de chloride- en nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, zijn er van augustus 1999 tot september 2001 hoogfrequente metingen uitgevoerd bij de gemalen Palenstein en Omring. Het betreft dagelijkse metingen van het uitgemalen debiet, en metingen om de 3 à 4 dagen van de vrachten van verschillende stoffen waaronder chloride, stikstof, totaal-fosfaat en ortho-fosfaat. De stofmetingen zijn debietsproportioneel uitgevoerd, zodat voor de gehele meetperiode de totale stofvrachten konden worden afgeleid. Deze metingen zijn uitgevoerd door Hoogheemraadschap Rijnland. Uit de metingen blijkt dat het totaal-fosfaatgehalte gemiddeld over de meetperiode 0.24 mg/l bedraagt voor gemaal Palenstein en 0.28 mg/l voor gemaal Omring. Dit zijn lage concentraties in vergelijking tot de andere onderzochte polders / gemalen. De verhouding tussen ortho-fosfaat en totaal-fosfaat is laag, ca. 12 % voor beide gemalen.

Figuren 2.3. en 2.4 tonen de meetreeksen van respectievelijk het uitgemalen debiet en de fosfaatvrachten bij gemaal Palenstein.



Figuur A1. *Uitgemalen debiet, gemaal Palenstein. Op basis van gegevens Hoogheemraadschap Rijnland.*



Figuur A2. *Fosfaatconcentratie (debietsproportioneel), gemaal Palenstein. Op basis van gegevens Hoogheemraadschap Rijnland.*

Voorbeeldpolder type 2 : Polder Bleiswijk

(op basis van gegevens van Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard)

Polder Bleiswijk maakt deel uit van een droogmakerijencomplex tussen Rotterdam, Zoetermeer en Gouda. De polder wordt gekenmerkt door een relatief groot aandeel glastuinbouw in het landgebruik. De bodem bestaat er hoofdzakelijk uit kleigronden. Gemaal De Kooi bemaalt de polder Bleiswijk en slaat uit op de Rotte. De twee pompen van het gemaal hebben elk een capaciteit van 225 m³ per minuut. Ze bemalen een gebied met een oppervlakte van 3700 ha.

De totaal-fosfaatconcentratie bedraagt 0.68 mg/l, gemiddeld voor de jaren 2003 en 2008. Het aandeel ortho-fosfaat bedroeg in deze jaren 50-60%. Een deel van de hoge fosfaatconcentraties in deze polder is te verklaren door lozing uit de glastuinbouw. Deze lozing is inmiddels deels opgeheven en wordt de komende jaren verder aangesloten op de riolering en gezuiverd op de awzi Kortenoord. Deze awzi loost op de Hollandse IJssel.

In welke mate de fosfaatconcentratie in de polder Bleiswijk hierdoor wordt verlaagd is nog niet bekend. Voor de berekeningen is toch het hoge (historische) fosfaatgehalte van 0.68 mg/l gehanteerd, om in deze studie een vergelijking te kunnen maken tussen hoog- en laagbelaste poldertypen.

Voorbeeldpolder type 3 : Krimpenerwaard

(op basis van gegevens van Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard)

De Krimpenerwaard ligt tussen de Hollandse IJssel en de Lek. Het is een grote polder waar vooral extensieve landbouw plaats. De polder bestaat voor het grootste deel uit veengronden, dichterbij de rivieren veelal met een kleidek. Het landgebruik bestaat vrijwel uitsluitend uit grasland.

De afwatering vindt plaats via diverse gemalen. In deze studie is gekeken naar gemaal Verdoold in Gouderak (zie figuur 2.5). Dit gemaal heeft een capaciteit van 320 m³ per minuut en slaat het water uit naar de Hollandse IJssel. Het afwateringsgebied van dit gemaal is ongeveer 4700 ha. Het gemaal zal op korte termijn worden vernieuwd, waarna het achterland ca. 5900 ha zal bedragen. De gemiddelde fosfaatconcentratie bij dit gemaal is 0.5 à 0.6 mg/l, met een aandeel ortho-fosfaat van ongeveer 60%.



Figuur A3. Gemaal Verdoold, Gouderak, Krimpenerwaard (foto Victor Beumer / Deltares).

Verantwoording berekeningswijzen voorbeeldpolders

Polder de Noordplas, die model stond voor voorbeeldtype 1, is de enige ons bekende polder waar hoogfrequent uitmaaldebieten en fosfaatconcentraties zijn gemeten.

Om de tijdsafhankelijke rekenmethode toe te passen op de andere typen voorbeeldpolders zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

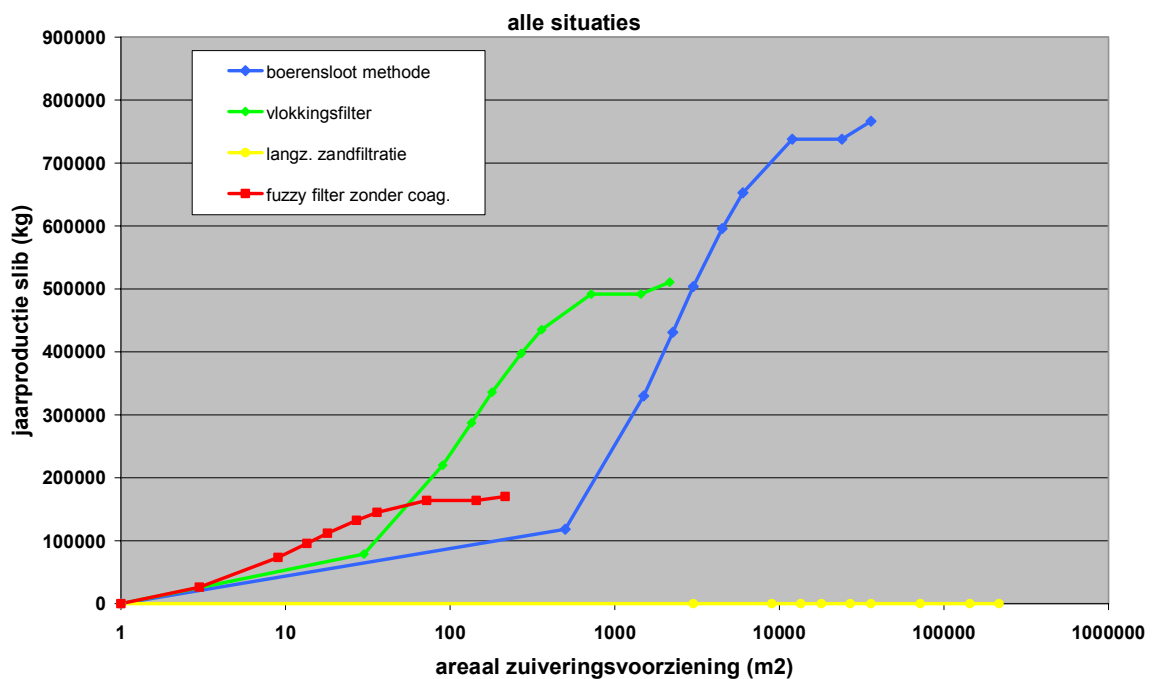
- De reeks met dagelijkse debieten zoals gemeten voor gemaal Palenstein (oppervlak bemalingsgebied 2320 ha) is vermenigvuldigd met een factor 3700 / 2320 resp. 4700 / 2320. 3700 en 4700 zijn de oppervlakten van de bemalingsgebieden van respectievelijk gemalen De Kooi en Verdoold;
- De reeks met gemeten fosfaatvrachten bij gemaal Palenstein is zodanig aangepast dat de gemiddelde concentratie totaal-fosfaat gelijk wordt aan de waarden die uit de andere voorbeeldpolders bekend zijn.

Deze bewerkingen houden impliciet de aanname in dat alle voorbeeldpolders op dezelfde manier afvoer genereren. Dit is niet noodzakelijkerwijs het geval, omdat het landgebruik verschillend is (veel akkerbouw vs. veel glastuinbouw), en er ook verschillen kunnen zijn in kwelbezwaar en berging. In grote lijnen zullen de afvoercharacteristieken van de polders echter redelijk op elkaar lijken, met in het winterhalfjaar een neerslagoverschot en in natte perioden veel uit te malen water, en in de zomermaanden juist lage maaldebieten. De gedachte is dat deze werkwijze het ruimtebeslag waarheidsgetrouwer berekent dan een werkwijze uitgaande van een jaargemiddelde afvoer. Dit lijkt te worden bevestigd door de relatief grote hoeveelheden water die in de winterperiode niet kunnen worden gezuiverd en het algehele rendement daarmee verlagen.

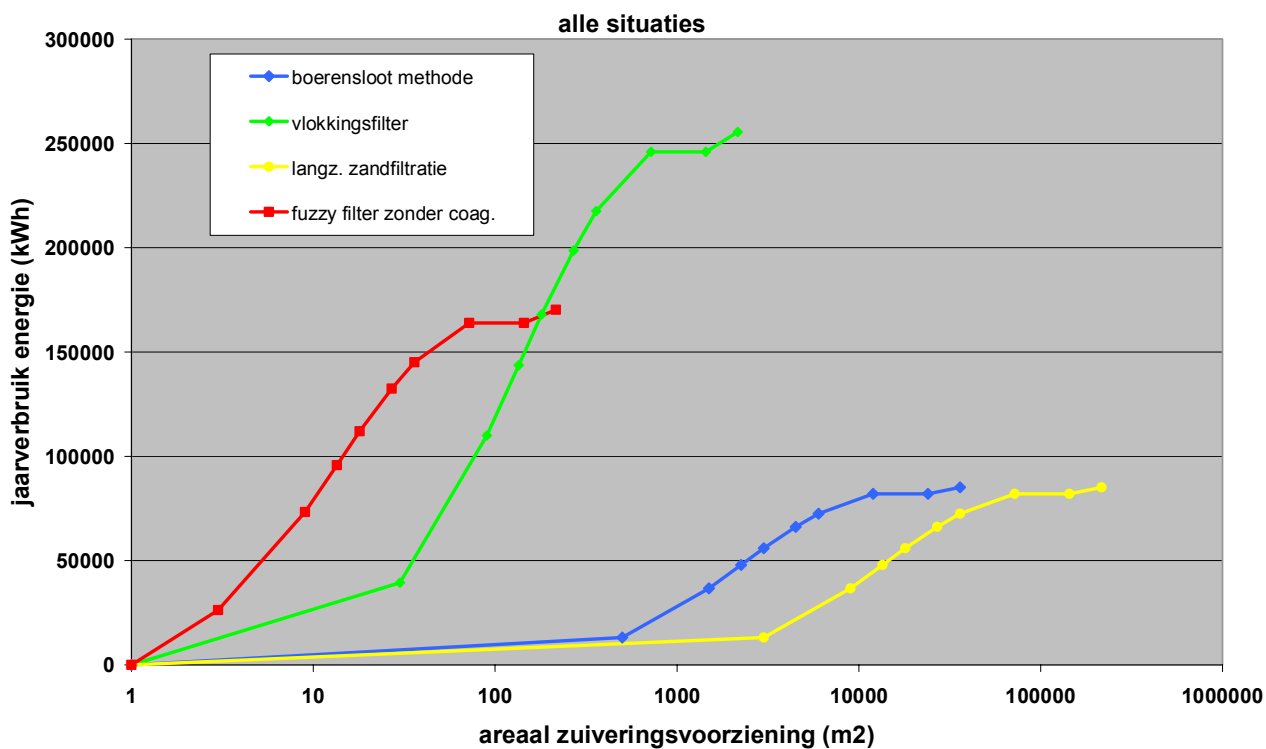
B Grafieken chemicaliënverbruik, slibproductie en energieverbruik



Figuur B1. Chemicaliënverbruik op jaarbasis, alle voorbeeldpoldertypen, gemaal- en recirculatie.



Figuur B2. Slibproductie op jaarbasis, alle voorbeeldpoldertypen, gemaal- en recirculatie.



Figuur B3. *Energieverbruik op jaarbasis, alle voorbeeldpoldertypen, gemaal- en recirculatie.*