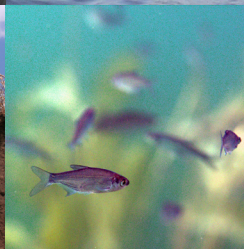


Metamodel PCDitch



Metamodel PCDitch

referentie	projectcode	status
STO170-1-87/strg/001	STO170-1-87	concept 01
projectleider	projectdirecteur	datum
drs.ing. S.A. Schep	drs. M. Klinge	29 maart 2013

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs.ing. S.A. Schep	

INHOUDSOPGAVE	blz.
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	1
1.1. Achtergrond	1
1.2. Doel	2
1.3. Leeswijzer	2
2. DATASET VOOR SIMULATIES PCDITCH	5
2.1. Inleiding	5
2.2. Methode	5
2.3. Resultaat	6
3. DATASET VOOR AFLEIDING METAMODEL	9
3.1. Inleiding	9
3.2. Methode	10
4. METAMODEL	13
4.1. Inleiding	13
4.2. Methode	13
4.3. Resultaat	14
5. CONCLUSIE	17
6. LITERATUUR	19
laatste bladzijde	19
BIJLAGEN	aantal blz.
I Opbouw Metamodel	2
II N/P-ratio	3

SAMENVATTING

Met de ecologisch modellen PCDitch (voor kleine lijnvormige wateren zoals sloten) en PCLake (voor meren en plassen) kan de 'kritische' nutriëntenbelasting van een watersysteem worden bepaald. Dit is de nutriëntenbelasting, waarbij een water 'omslaat' van troebel naar helder. Deze kritische nutriëntenbelasting is systeemspecifiek.

Begin 2011 is een metamodel voor PCLake ontwikkeld, waarmee de kritische P-belasting kan worden bepaald zonder het model PCLake zelf te gebruiken (Witteveen+Bos 2010). Dit metamodel is ondertussen ingebouwd in het Volg- en Stuursysteem. Het doel van dit onderzoek is het ontwikkelen van een metamodel voor PCDitch, waarmee waterbeheerders de kritische P-belasting van een lijnvormig water kunnen uitrekenen zonder het model PCDitch zelf te hoeven gebruiken.

In het metamodel wordt een statistische relatie beschreven tussen een beperkt aantal invoerparameters en de uitkomst van het model PCDitch. Met deze relatie kan een snelle schatting worden gemaakt van de uitkomst van het model afhankelijk van de invoer. De benodigde invoer bestaat uit het bodemtype, de waterdiepte en het debiet. Voor alle andere invoerparameters is uitgegaan van de standaardwaarden.

Met het model wordt de P-belasting, waarbij het ecologische evenwicht verschuift van een dominantie van algen en/of kroos naar ondergedoken waterplanten. Er zijn 2 criteria gehanteerd voor het omslagpunt waaraan beide moet worden voldaan: de verhouding tussen het doorzicht en de diepte moet hoger zijn dan 0,5 en de kroosbedekking moet lager zijn dan 10 %.

Er is gekozen voor een black box neurale netwerk, omdat deze techniek als enige voldoende betrouwbare resultaten opleverde. Het metamodel van PCDitch presteert zeer goed ten opzichte van het model PCDitch zelf. De berekende kritische grenzen zijn vergelijkbaar. De gemiddelde relatieve fout is beperkt (2,2 %) en de gemiddelde R^2 zeer hoog (1,000). Het metamodel is gebaseerd op een set met 20.000 kritische grenzen en 360.000 berekeningen met PCDitch.

1. INLEIDING

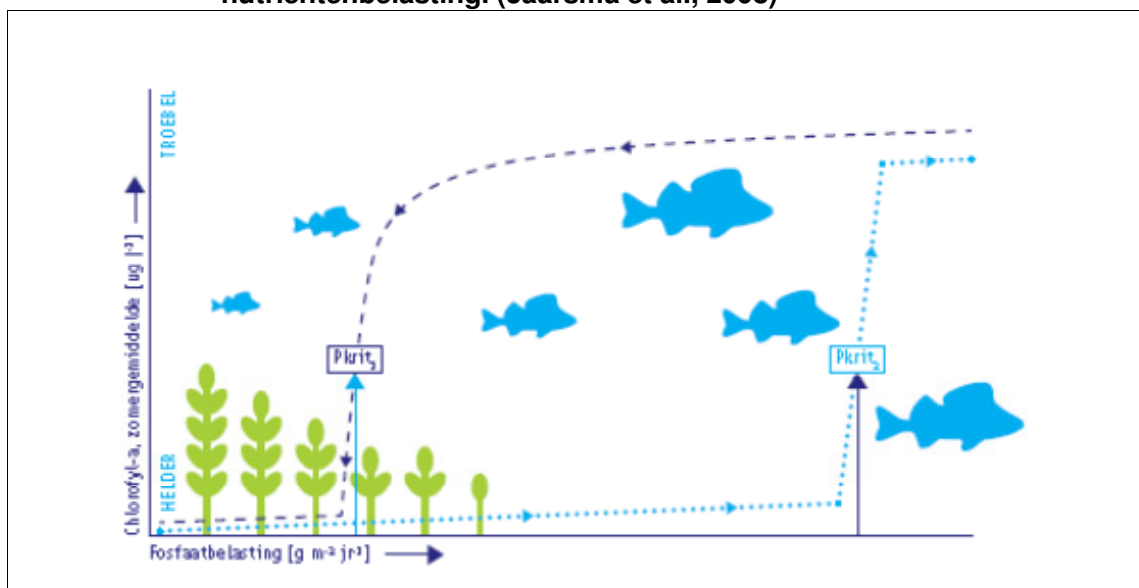
1.1. Achtergrond

Uit de ex-ante evaluaties van de KRW komt naar voren dat belasting van het oppervlaktewater met nutriënten één van de grote knelpunten is voor het bereiken van schoon helder water. Dit is het gevolg van eutrofiering in het verleden, waardoor de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater aanzienlijk verslechterd is. Terugdringing van de nutriëntenbelasting heeft nog niet tot herstel geleid. Veel (ondiepe) meren hebben een beperkt doorzicht en worden gedomineerd door algen, terwijl meer lijnvormige watergangen worden gedomineerd door een eenzijdige waterplantengemeenschap of een bedekking met kroos.

Het vergaand terugdringen van de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is ingrijpend en kostbaar. Dit geldt zowel voor lozingen uit het stedelijk gebied als voor diffuse belasting uit het landelijk gebied. Daarnaast is niet altijd duidelijk of de gerealiseerde reductie in nutriëntenbelasting leidt tot verbetering van de ecologische waterkwaliteit en daarmee de doelen van de KRW. De complexiteit van processen en mechanismen in het aquatisch ecosysteem maken een goede inschatting van de effectiviteit van maatregelen onzeker. Inzicht in de relatie tussen onder andere de inrichting, hydrologie, bodemcondities, belastingen, fysisch-chemische processen, waterkwaliteit, voedselweb en ecologische toestand is daarom cruciaal.

De ecologisch modellen PCDitch (voor lijnvormige wateren) en PCLake (voor meren en plassen) beoogen de belangrijkste bovengenoemde relaties te beschrijven. Waterbeheerders hebben te kennen gegeven dat dergelijke instrumenten een hoge potentie hebben voor toepassing in het waterbeheer en een wezenlijke functie kunnen vervullen bij de opzet van herstelplannen en maatregelpakketten. De grote kracht van de modellen is dat het mogelijk is de 'kritische' nutriëntenbelasting van een watersysteem te bepalen. Dit is de nutriëntenbelasting, waarbij een water 'omslaait' van troebel naar helder (afbeelding 1.1). Deze kritische nutriëntenbelasting is systeemspecifiek.

Afbeelding 1.1. Alternatieve stabiele toestanden (helder en troebel) in relatie tot de nutriëntenbelasting. (Jaarsma et al., 2008)



Het is niet eenvoudig om met de modellen PCLake en PCDitch de kritische nutriëntenbelasting te berekenen. Witteveen+Bos heeft om die reden in opdracht van STOWA een meta-model voor PCLake ontwikkeld, waarmee de kritische P-belasting kan worden berekend (Schip, 2010). Een vergelijkbaar metamodel van PCDitch was tot op heden nog niet beschikbaar.

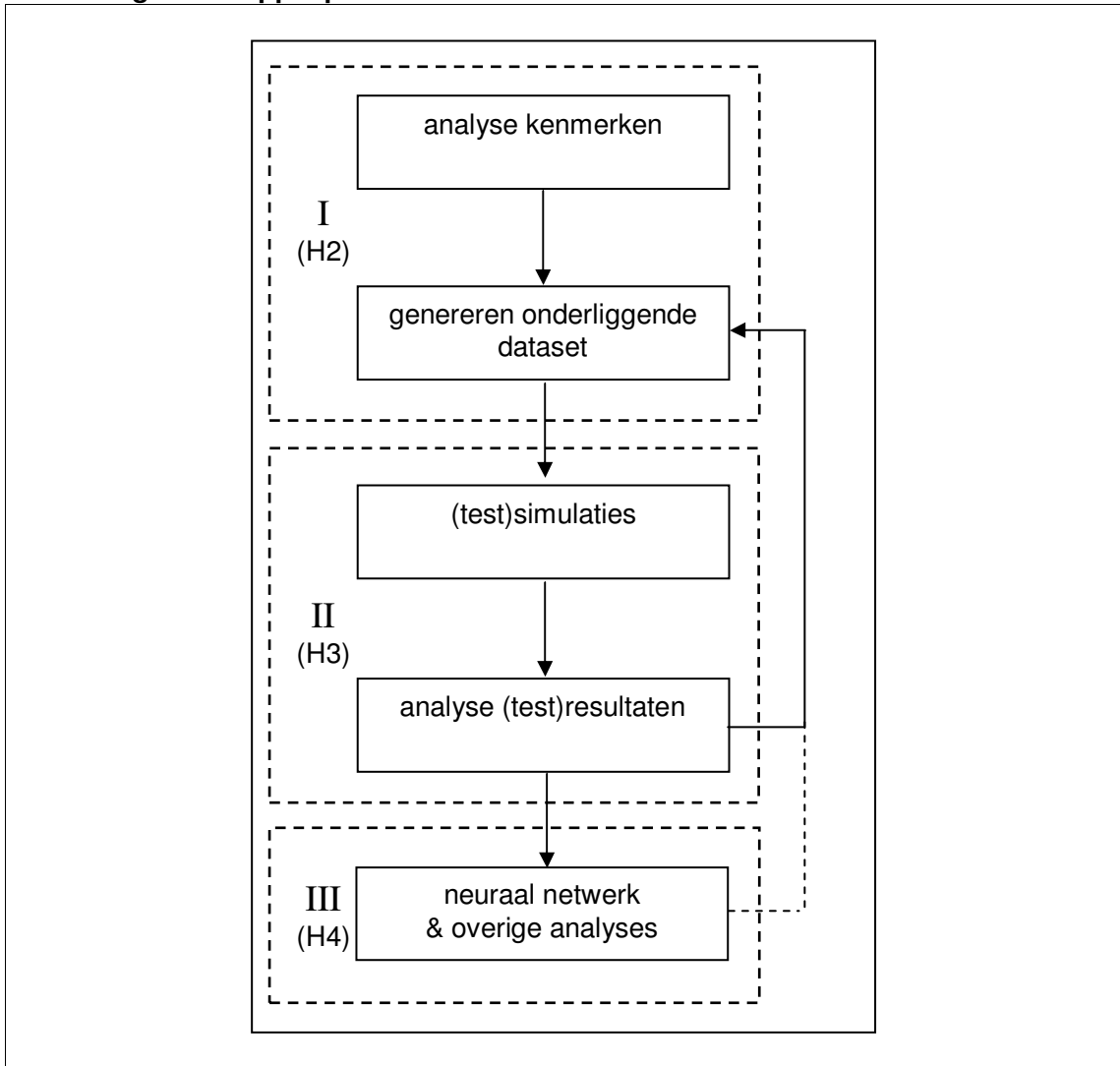
1.2. Doel

Het doel van dit project is het ontwikkelen van een metamodel van PCDitch waarmee waterbeheerders de kritische P-belasting van een water kunnen uitrekenen zonder het model PCDitch zelf te hoeven gebruiken. In het metamodel wordt een relatie beschreven tussen een beperkt aantal kenmerken van een watersysteem en de kritische P-belasting zoals die berekend wordt met PCDitch. Dit model is geschikt voor toepassing in lijnvormige wateren.

1.3. Leeswijzer

In afbeelding 1.2 is een overzicht gegeven van de stappen die nodig zijn voor het ontwikkeling van een metamodel van PCDitch. In hoofdstuk 2 is beschreven hoe de dataset met combinaties van kenmerken is opgebouwd (stap I). In hoofdstuk 3 is beschreven hoe met deze kenmerken de kritische belasting is berekend (stap II). In hoofdstuk 4 is beschreven hoe het metamodel is afgeleid (stap III). Ook is een vergelijking gemaakt tussen de kritische P-belasting zoals berekend met het metamodel en de kritische P-belasting zoals berekend met PCDitch zelf.

Afbeelding 1.2. Stappenplan



2. DATASET VOOR SIMULATIES PCDITCH

2.1. Inleiding

Het doel van dit onderdeel is het ontwikkelen van een dataset, waarmee simulaties met PCDitch worden uitgevoerd. Voor de ontwikkeling van een goed metamodel is een grote dataset nodig met aan de ene kant verschillende relevante kenmerken van watersystemen en aan de andere kant kritische P-belastingen. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe de dataset met kenmerken is opgebouwd, waarmee de uitkomsten van het model PCDitch worden gegenereerd.

2.2. Methode

Kenmerken

Voor het metamodel is uitgegaan van de kenmerken bodemtype, waterdiepte en debiet, in navolging van Janse (2005). Uiteraard kunnen er daarnaast nog vele andere invoerfactoren van invloed zijn, maar deze zijn in deze studie vastgezet op hun standaardwaarden. Hieronder wordt beschreven hoe de verdeling per parameter tot stand is gekomen.

Verdeling

Voor de verdeling zijn met name de reikwijdte (minimale en maximale waarde), de vorm (waarden gelijkmatig verdelen of bepaalde waarden vaker laten voorkomen) en het zwaartepunt (welke waarden moeten relatief vaak voorkomen) van belang. De verdelingen zijn zo gemaakt dat ze zo goed mogelijk aansluiten bij de dimensies en parameters van de in Nederland voorkomende sloten. Getracht is om de verdeling van de invoerparameters zo aan te passen dat er meer waarden zijn voor veel voorkomende waterdieptes en debieten. Zo komt een waterdiepte van 50 cm vaker voor dan een waterdiepte van 2 m.

Waterdiepte

De verdeling voor waterdiepte is zo gekozen dat de meeste waarden tussen de 0,25 en 1,00 m liggen en daarna afloopt richting de 3,00 m. Deze is gebaseerd op een normale verdeling met een gemiddelde van 0,75 m en een standaard deviatie van 1 waarbij van een eventuele negatieve waarde de absolute waarde is genomen en de waarden groter dan 3 m zijn weggelaten.

Debiet

De parameter debiet is het hydraulische debiet op het wateroppervlak in mm/dag. De verdeling van de invoervariabele debiet is een combinatie van een normale verdeling en een blokverdeling. Ongeveer 70 % van de waarneming volgt een normale verdeling met een gemiddelde van 50 en een standaardafwijking van 15, waarbij van de eventuele negatieve waarden de absolute waarde is genomen. De resterende waarnemingen worden getrokken uit een uniforme distributie tussen de 60 en 400.

Bodemtype

Voor het kenmerk bodemtype is uitgegaan van 3 waarden: klei, veen en zand. Er is voor gekozen om elk bodemtype even vaak voor te laten komen in de dataset waarmee het metamodel is berekend.

N/P-ratio

Het doel van deze studie is een metamodel waarmee de kritische P-belasting kan worden bepaald. Bij een N/P-ratio van 34 zijn de meeste systemen al P-gelimiteerd. Om zeker te zijn dat het systeem ook echt P-gelimiteerd is, zijn er ook kritische belastingen berekend met een N/P-ratio van 100. De N/P-ratio (op gewichtsbasis (g/g)) is de ratio van de belasting N en P in mg/m²/dag van het ingaande water. De dataset is zo opgebouwd dat 50 % van de waarden een N/P-ratio heeft van 34. De andere 50 % van de waarden hebben een N/P-ratio's van 100. Voor een verdere vergelijking tussen beide N/P-ratio's wordt verwezen naar de bijlage.

2.3. Resultaat

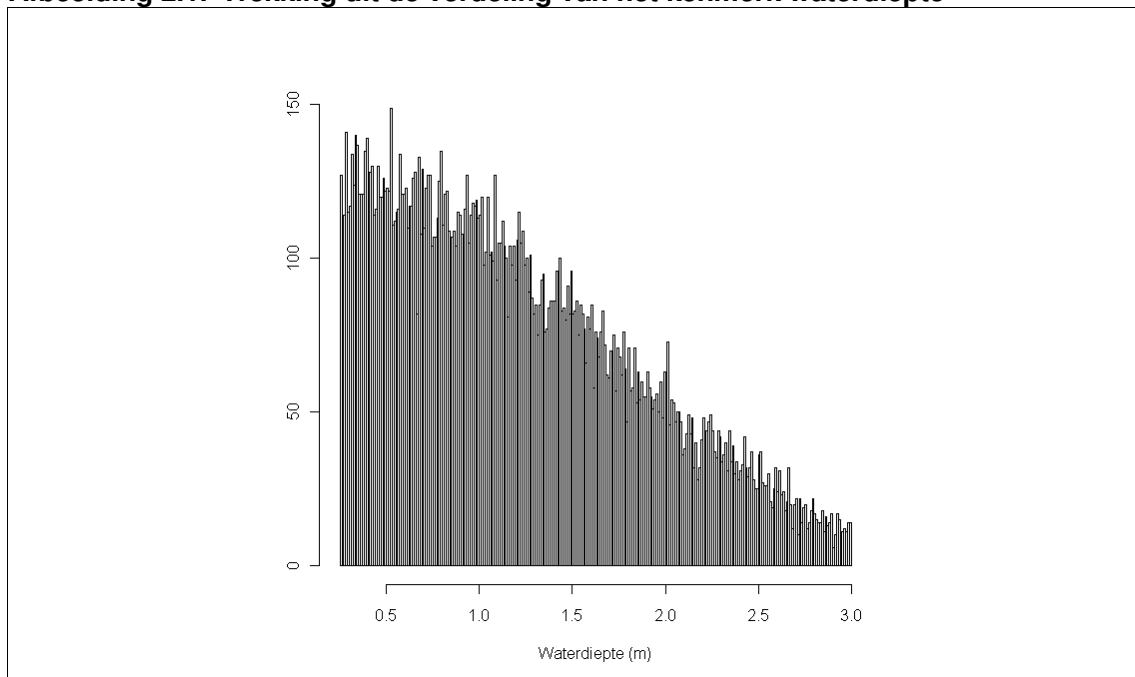
In totaal zijn 20000 combinaties van bodemtype, waterdiepte, debiet en N/P-ratio gegenereerd. Een overzicht van enkele beschrijvende statistieken voor waterdiepte en debiet is weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1. Beschrijvende statistiek invoer dataset

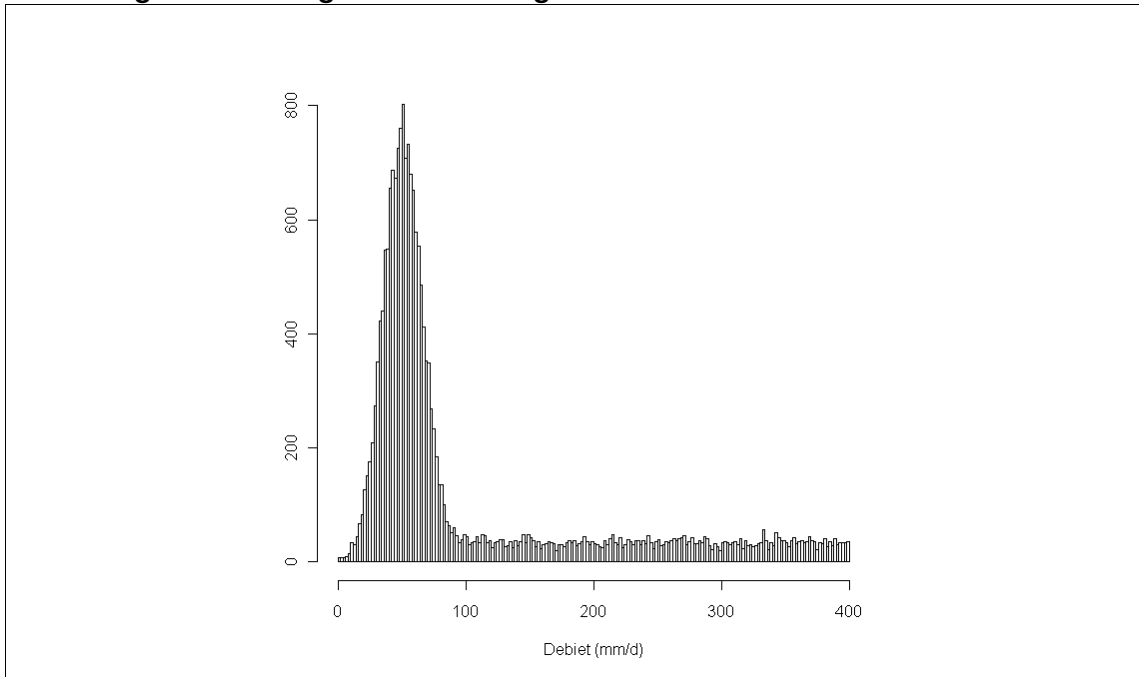
	waterdiepte (m)	debiet (mm/d)
minimum	0.25	0.01
gemiddelde	1.21	102.63
standaard afwijking	0.67	98.41
maximum	3.00	399.93

In afbeelding 2.1 is de gerealiseerde trekking te zien van de verdeling van het kenmerk waterdiepte. In afbeelding 2.2 is dit te zien voor het kenmerk debiet.

Afbeelding 2.1. Trekking uit de verdeling van het kenmerk waterdiepte



Afbeelding 2.2. Trekking uit de verdeling van het kenmerk debiet



3. DATASET VOOR AFLEIDING METAMODEL

3.1. Inleiding

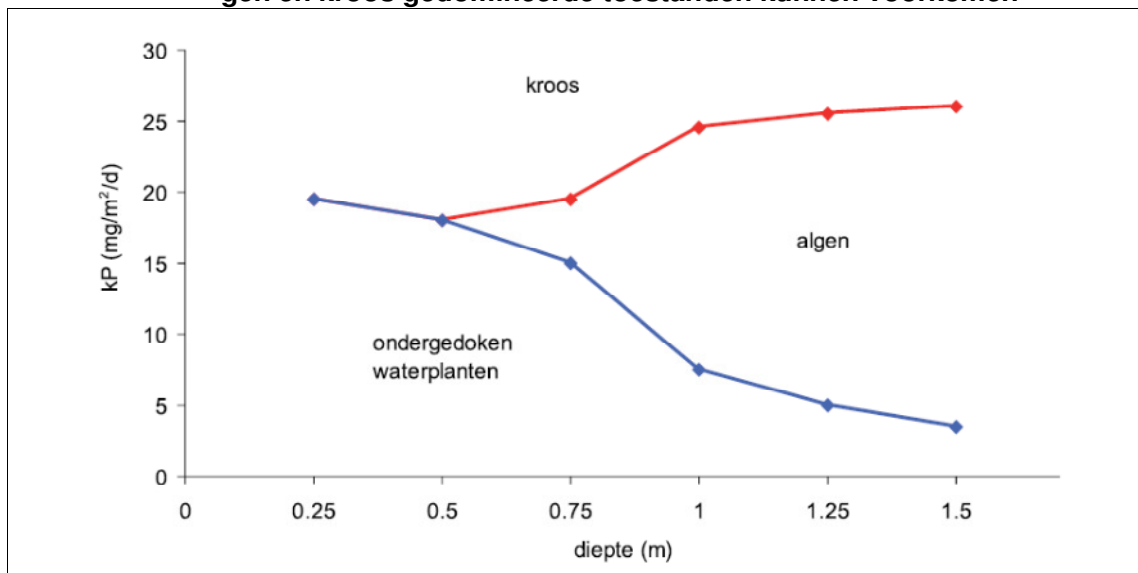
Het doel van dit onderdeel is het berekenen van kritische grenzen op basis van een groot aantal simulaties met PCDitch, welke de basis vormen voor het metamodel PCDitch. In dit hoofdstuk wordt beschreven welke stappen zijn genomen om de kritische grenzen met PCDitch te bepalen op basis van de in het vorige hoofdstuk gegenereerde dataset.

Alternatieve stabiele toestanden

In een slootsysteem kunnen 3 alternatieve stabiele ecologische toestanden worden onderscheiden: dominantie door ondergedoken waterplanten, dominantie door algen en dominantie door kroos. Een slootsysteem met een lage P-belasting zal gedomineerd worden door ondergedoken waterplanten.

Als de P-belasting toeneemt, komt er een moment waarbij het systeem omslaat naar een systeem met volledige kroosbedekking (in ondiepe sloten) of naar een door algengedomineerd systeem (in diepere sloten). Dit is de eerste kritische grens. Wanneer in een door algen gedomineerd systeem de P-belasting nog meer toeneemt, dan slaat het systeem nog een keer om naar een door kroos gedomineerd systeem. Dit is de tweede kritische grens. In afbeelding 3.1 is het voorkomen van de 3 toestanden en de bijbehorende kritische grenzen afhankelijk van de diepte grafisch weergegeven. De afwezigheid van algendominantie is alleen te zien bij relatief ondiepe sloten. Bij een debiet van 50 mm/d ligt de grens bij 0,50 m.

Afbeelding 3.1. De grenzen voor de kritische P-belasting voor een sloot met een hydraulisch debiet van 50 mm/d laten zien dat er vanaf ongeveer 0,50 m diepte afhankelijk van de belasting ondergedoken waterplanten, algen en kroos gedomineerde toestanden kunnen voorkomen



De focus van dit project ligt op de kritische grens waarbij het slootsysteem omslaat naar een helder door waterplanten gedomineerd systeem. Deze grens is voor waterbeheerders ook het meest relevant omdat zowel kroosdominantie als algendominantie ongewenst is. Het heeft vooral zin om de belasting terug te dringen als dit bijdraagt aan herstel van wa-

terplanten. Met het metamodel kan alleen de eerste kritische grens worden bepaald. (de blauwe lijn in afbeelding 3.1).

3.2. Methode

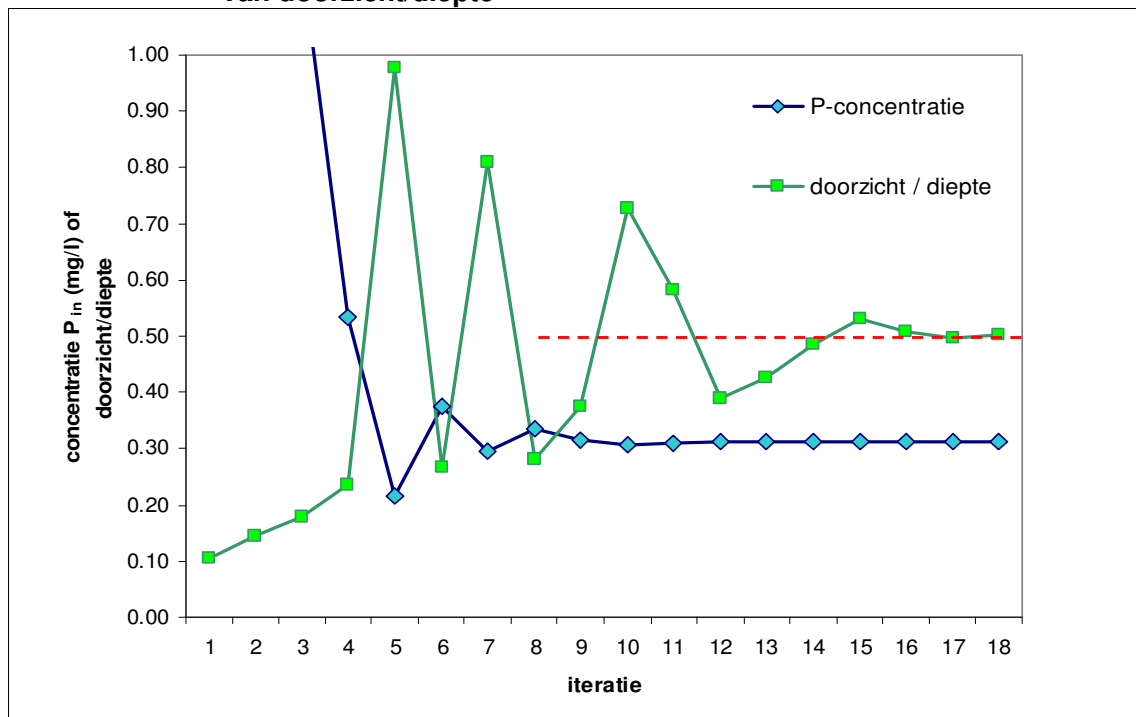
Criterium kritische belasting

Als criterium voor het omslagpunt wordt gekozen voor de verhouding tussen de parameters doorzicht (secchi-diepte) en waterdiepte. Het omslagpunt is bereikt als deze verhouding 0,5 betreft (Witteveen+Bos 2010). Bij deze verhouding komt er genoeg licht op de bodem om plantengroei mogelijk te maken. In het model PCDitch wordt bij het berekenen van de secchi-diepte geen rekening gehouden met kroosbedekking. Bij een hoge kroosbedekking zal de secchi-diepte ook groot zijn. Er moet daarom ook aan de voorwaarde worden voldaan dat de kroosbedekking lager is dan 10 % om tot de juiste kritische grens te komen.

Afleiden kritische belasting

Voor het bepalen van de kritische belasting wordt het model PCDitch 18 keer uitgevoerd met verschillende waarden voor de P-belasting. De belasting bestaat uit een ingaande concentratie (mg P/l) vermenigvuldigd met het ingaande debiet (mm/d). Het ingaand debiet komt uit de dataset voor afleiding van het metamodel (hoofdstuk 2). De ingaande concentratie variëren we in 18 stappen. Uit ervaring met het afleiden van het metamodel PCLake (Witteveen+Bos, 2010) bleek dat we met 18 stappen de kritische belasting nauwkeurig genoeg kunnen benaderen (zie afbeelding 3.2).

Afbeelding 3.2. Voorbeeld: iteratie in 18 stappen naar de kritische grens op basis van doorzicht/diepte



De gehanteerde methode wijkt iets af van de methode die gehanteerd is voor het metamodel PCLake. In 18 stappen gaan we op zoek naar het omslagpunt. In de eerste stap wordt een berekening met PCDitch uitgevoerd voor één initiële P-belasting. Deze belasting wordt bepaald op basis van het ingaande debiet en het gemiddelde van 2 initiële grensconcentraties: -0,1 mg/l en 10 mg/l. In de eerste stap is de initiële concentratie hiermee ongeveer

4,95 mg/l (zie kader). We kijken na elke berekening of er sprake is van een heldere toestand of niet. Dit doen we op basis van de kroosbedekking en het doorzicht (ratio doorzicht/diepte).

Invulling van de initiële concentraties

Voor het bepalen van de concentratie wordt in de eerste 3 stappen bij het gemiddelde een random getal opgeteld. De random factor in de eerste stappen en de ondergrens van -0,1 mg P/l zorgen voor een continue verdeling van waarden voor de P-concentratie, ook als de concentratie dicht bij 0 mg P/l ligt. Deze continue verdeling is nodig omdat is gebleken dat het trainen van neurale netwerken gevoelig is voor een discrete verdeling in de dataset (Witteveen+Bos, 2010).

Als de kroosbedekking hoger is dan 10 % is er sprake van een 'troebele' toestand (dominantie kroos). Als de kroosbedekking lager is dan 10 % en de ratio doorzicht/diepte lager dan 0,5 is er ook sprake van een 'troebele' toestand (dominantie algen). Als de kroosbedekking lager is dan 10 % en de ratio doorzicht/diepte hoger dan 0,5 is er sprake van een 'heldere' toestand (dominantie waterplanten).

Na de eerste stap wordt bepaald of:

- de kroosbedekking groter is dan 10 % of de ratio doorzicht/diepte lager is dan 0,5. Zo ja, dan is sprake van een troebele toestand. De P-concentratie waarmee gerekend is geeft dan een P-belasting die hoger ligt dan de kritische P-belasting. In de volgende stap moeten we rekenen met een lagere P-concentratie. Hiervoor kiezen we een nieuwe P-concentratie tussen -0,1 mg/l en de P-concentratie waar in deze stap mee gerekend is;
- de kroosbedekking lager is dan 10 % en de ratio doorzicht/diepte hoger is dan 0,5. Zo ja, dan is sprake van een heldere toestand. De P-concentratie waarmee gerekend is geeft dan een P-belasting die lager ligt dan de kritische P-belasting. In de volgende stap moeten we rekenen met een hogere P-concentratie. Hiervoor kiezen we een nieuwe P-concentratie tussen de P-concentratie waar in deze stap mee gerekend is en 10 mg/l.

In deze tweede stap en elke daarop volgende stap wordt weer bepaald of er, uitgaande dan de P-belasting waarmee gerekend is, sprake is van een heldere of troebele toestand. Afhankelijk van de toestand wordt de concentratie aangepast. Het verschil met de eerste stap is dat de nieuwe concentratie bepaald wordt op basis van het gemiddelde van de laatst gebruikte concentratie en de eerstvolgende lagere of hogere concentratie.

Een fictief voorbeeld: we gaan uit van 2 initiële grensconcentraties: -0,1 mg/l en 10 mg/l. In de eerste stap rekenen we met een concentratie van 4,95 mg/l (het gemiddelde van -0,1 en 10 mg/l). Met de P-belasting op basis van de concentratie van 4,95 mg/l berekenen we een troebele toestand. In de tweede stap rekenen we daarom met het gemiddelde van -0,1 mg/l en 4,95 mg/l. Dit resulteert in een P-concentratie van 2,43 mg/l. Met de P-belasting op basis van de concentratie van 2,43 mg/l berekenen we een heldere toestand. In de derde stap rekenen we met het gemiddelde van 2,43 mg/l en 4,95 mg/l. Dit resulteert in een P-concentratie van 3,69 mg/l. Met de P-belasting op basis van de concentratie van 3,69 mg/l berekenen we een heldere toestand. In de vierde stap rekenen we met het gemiddelde van 2,43 mg/l en 3,69 mg/l etc.

4. METAMODEL

4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het metamodel voor het voorspellen van kritische grenzen van lijnvormige wateren is afgeleid. Daarnaast zijn de met het metamodel berekende kritische grenzen vergeleken met de met PCDitch berekende kritische grenzen. Het metamodel is beoordeeld op basis van de absolute en relatieve fout, de standaardafwijking en de verklarende variantie (R^2).

4.2. Methode

Het metamodel is afgeleid met een standaard neurale netwerk. Uit een eerste test bleek dat een standaard neurale netwerk beter presteert dan het white-box neurale netwerk dat gebruikt is voor het metamodel van PCLake (Witteveen+Bos, 2010).

Neurale netwerken zijn (kunstmatige) netwerken gebaseerd op de werking van zenuwcellen, waarbij punten (neuronen) onderling verbonden zijn. De connecties tussen de verschillende neuronen kunnen worden aangepast door het netwerk te trainen op een dataset. Er is in eerste instantie gebruik gemaakt van 2 technieken voor het bouwen van een neurale netwerk: een 'black-box'-neurale netwerk en een 'white-box'-neurale netwerk.

black-box neurale netwerk

Een black-box neurale netwerk is een techniek waarbij een neurale netwerk wordt gebouwd op basis van gewogen sommen van inputs en transferfuncties. Het is een 'black-box' aangezien de uitkomst dusdanig complex is dat interpretatie onmogelijk is. Ook is het niet mogelijk dit soort netwerken te vereenvoudigen. Wel geeft deze techniek over het algemeen de beste prestaties.

white-box neurale netwerk

Product-unit networks (PUN, white-box neurale netwerk) kunnen beter relaties voorspellen die machten en delingen bevatten. Aangezien de verwachting is dat bij een sterk niet-lineair model als PCDitch de achterliggende relaties soortgelijke verbanden vertonen ligt het voor de hand om deze methode te gebruiken. Een bijkomend voordeel is dat in tegenstelling tot een black-box neurale netwerk de uitkomsten relatief simpel kunnen zijn, wat de interpretatie van de uitkomsten mogelijk kan maken. Een ander voordeel is dat de geproduceerde netwerken achteraf vereenvoudigd (gesnoeid) kunnen worden door de minst significante parameters weg te strepen, waardoor een beter interpreteerbaar resultaat overblijft.

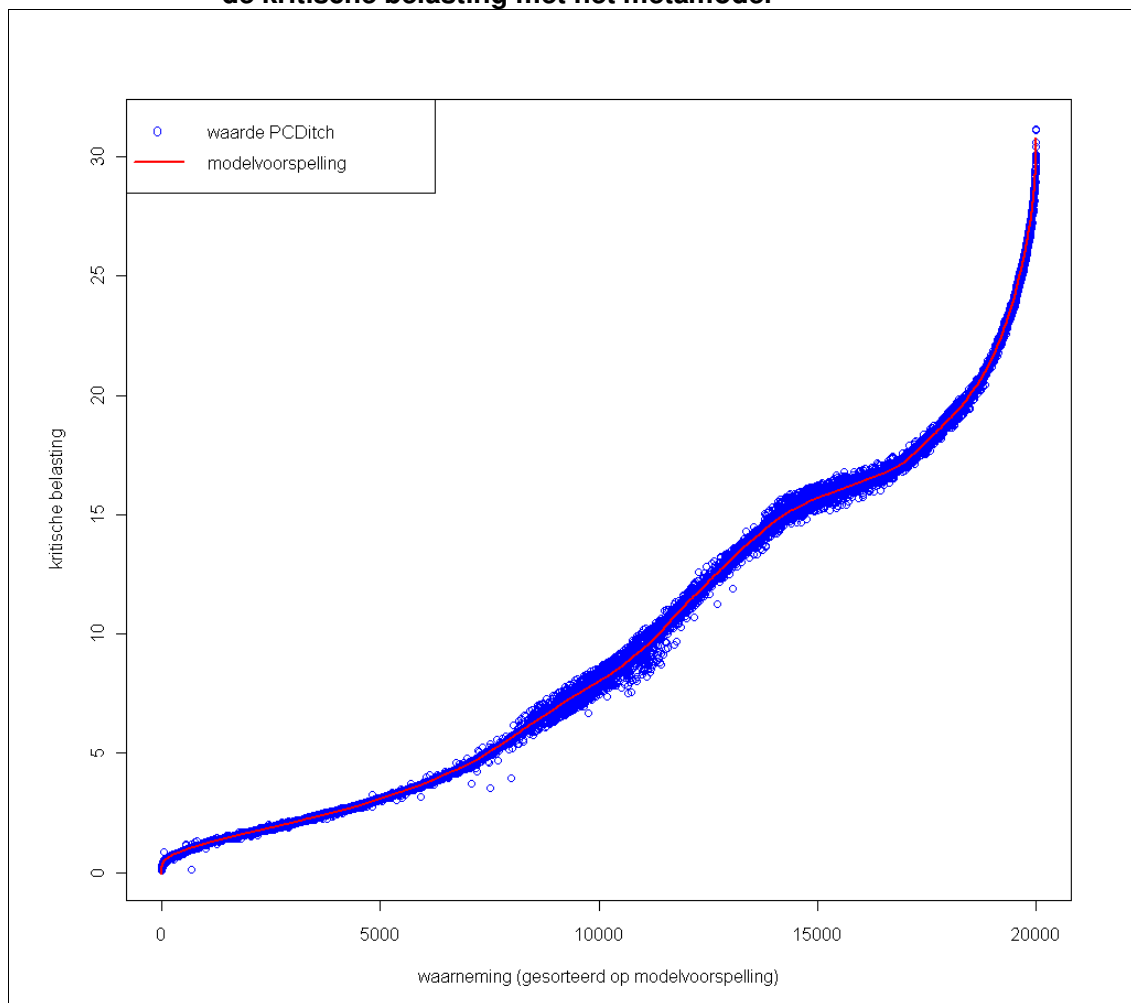
Aan de hand van een kleine test bleek dat een white-box neurale netwerk niet voldeed. Het black-box neurale netwerk presteerde wel goed en is daarom gebruikt om het metamodel mee af te leiden.

Er is gekozen voor 3 lagen waarbij de laatste laag de uitvoerlaag is. Een neurale netwerk presteert minder goed als discrete data wordt aangeboden, zoals N/P-ratio (34 of 100) of bodemtype (klei, veen, zand). De dataset van 20.000 combinaties is daarom opgesplitst in 6 afzonderlijke sets met alle combinaties van N/P-ratio en bodemtype. Er zijn dus uiteindelijk 6 neurale netwerken gebouwd die samen het metamodel vormen.

4.3. Resultaat

De uiteindelijke black-box neurale netwerken bestaat uit een drietal matrix vermenigvuldigingen en sommaties. De uitkomsten zijn omgezet via een tansig-functie. In bijlage I is de opbouw van het metamodel beschreven. De kritische grenzen berekend met het metamodel zijn vergeleken met de door PCDitch berekende kritische belastingen. In Afbeelding 4.1 zijn de kritische grenzen berekend met het metamodel uitgezet tegen de door PCDitch berekende kritische belastingen. Te zien is dat de met het metamodel berekende kritische grenzen goed overeenkomen met de met PCDitch berekende kritische grenzen.

Afbeelding 4.1. Vergelijking berekende kritische belasting met PCDitch en berekende kritische belasting met het metamodel



Het metamodel is beoordeeld op basis van de absolute en relatieve fout, de standaard afwijking en de verklarende variantie (R^2). In tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de prestaties van de 6 netwerken. Hieronder volgt een uitleg van elk criterium.

Tabel 4.2. Vergelijking resultaten metamodel

bodemtype	N/P-ratio	aantal runs	gemiddelde absolute fout	gemiddelde relatieve fout	standaard afwijking relatieve fout	R^2	Adj. R^2
klei	34	3338	0.071	0.010	0.012	1.000	1.000
klei	100	3414	0.085	0.012	0.118	1.000	1.000
veen	34	3314	0.077	0.008	0.010	1.000	1.000
veen	100	3312	0.075	0.007	0.008	1.000	1.000
zand	34	3326	0.099	0.016	0.024	0.999	0.999
zand	100	3296	0.114	0.022	0.050	0.998	0.998

Absolute fout

Een absolute fout geeft aan wat het verschil is tussen 2 uitkomsten. Echter, een absolute fout zegt niets over een gehele set, waarin zowel lage als hoge waarden voorkomen. Een verschil van 1 bij een uitkomst van 100 is minder erg dan hetzelfde verschil bij een uitkomst van 4. De absolute fout varieert van 0,07 tot 0,11.

Relatieve fout

De relatieve fout is een betere indicatie voor de juistheid van de uitkomsten. Voor het berekenen van de relatieve fout wordt de absolute fout gedeeld door de waarde berekend door PCDitch. De relatieve fout geeft dus aan wat de afwijking is van het metamodel ten opzichte van PCDitch. De gemiddelde relatieve fout varieert van 0,7 % tot 2,2 %. Dit is zeer nauwkeurig en valt ruim binnen de betrouwbaarheidsmarge van PCDitch zelf.

Standaardafwijking

Ook de relatieve fout moet kritisch bekeken worden. Een grote spreiding van de fout betekent dat een uitkomst alsnog vaak verkeerd is. Hoe kleiner de spreiding (standaardafwijking) hoe consequenter de berekeningen zijn. De standaardafwijking van de relatieve fout varieert van 1 % tot 12 %.

Verklaarde variantie

De verklaarde variantie (R^2) geeft aan welk deel van de uitkomsten overeenkomt met de originele waarde. Het is dus een maat voor de kwaliteit van het model. Bij een waarde van 1 beschrijft het model exact de relatie tot de oorspronkelijke waarde. Echter, de R^2 is sterk afhankelijk van de grootte van de gebruikte dataset. De R^2 varieert van 0,998 tot 1,000. Dit is zeer hoog.

5. CONCLUSIE

Het doel van het project is het ontwikkelen van een metamodel voor PCDitch, waarmee waterbeheerders de kritische P-belasting van een water kunnen uitrekenen zonder het model PCDitch zelf te hoeven gebruiken.

In dit onderzoek is een metamodel van PCDitch ontwikkeld op basis van neurale netwerken. Het metamodel van PCDitch presteert zeer goed. Een vergelijking op basis van 20.000 kritische grenzen berekend met het metamodel van PCDitch met 20.000 kritische grenzen berekend met PCDitch laat zien dat de verschillen zeer klein zijn. De verklaarde variantie (R^2) varieert van 0,998 tot 1,000. Dit is zeer hoog. De gemiddelde relatieve fout varieert van 0,7 tot 2,2 %. De fout valt door toepassing van het metamodel binnen de modelonzekerheid van PCDitch zelf en is hierdoor verwaarloosbaar klein.

De conclusie is dat met dit onderzoek een zeer goed toepasbaar metamodel van PCDitch is ontwikkeld, waarmee waterbeheerders de kritische P-belasting van een water kunnen uitrekenen op basis van de kenmerken waterdiepte, bodemtype en hydraulisch debiet zonder het model PCDitch zelf te hoeven gebruiken.

Het metamodel is beschikbaar via de website www.pbl.nl en zal ook worden opgenomen in het Volg- en Stuursysteem.

6. LITERATUUR

1. Jaarsma, N., Klinge M., Lamers, L., van Weeren, B.J. 2008. Van helder naar troebel... en weer terug : een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de kaderrichtlijn water. STOWA rapport 2008-04. 72pp.
2. Janse, J.H. 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Dissertatie. Universiteit Wageningen.
3. Van Liere, L., J. H. Janse and G. H. P. Arts (2007). Setting nutrient values for ditches using the eutrophication model PCDitch. *Aquat. Ecol.* 41: 443-449.
4. Witteveen+Bos 2010. Neuraal netwerk PCLake ten behoeve van KRW-verkenner. Witteveen+Bos, rapport nr. UT565-2-1.

BIJLAGE I OPBOUW METAMODEL

Schaling

De variabelen waterdiepte (D) en debiet (Q) worden vooraf geschaald, zodat ze tussen 0 en 1 liggen. De factor voor waterdiepte is 3 m, voor debiet 400 m³/h.

Voor het trainen van het netwerk is de doelvariabele (kritische belasting) ook geschaald. De uitkomst van het netwerk moet daarom worden teruggeschaald. De output van het netwerk wordt daarom vermenigvuldigd met een factor 40.

De schaling is verwerkt in de formules die hierna worden beschreven.

Indeling netwerk

Voor elk bodemtype (1, 5, 6) is een afzonderlijk neurale netwerk getraind. Een netwerk bestaat uit 3 matrices (A1-A3), 3 vectoren (b1-b3) en een 'transfer-functie' luisterend naar de naam 'tansig', die voor alle netwerken gelijk is. Deze functie is als volgt gedefinieerd:

$$f(x) = 2/(1+\exp(-2*x))-1.$$

Alle matrices en vectoren (totaal 6) behorende bij een model zijn bekend.

Tabel 3. Matrix A1 van het model met bodemtype 'klei' (1)

-4.4698	4.4022
-17.357	9.6904
0.77603	-3.9156
5.7297	1.3038
0.80142	-0.36094

Toepassen van een neurale netwerk

Gegeven de waarden

D = waterdiepte,
Q = debiet,

wordt de startvector berekend door de schaling toe te passen en de waarden samen te voegen tot één vector:

$$x_0 = [D/3 \quad Q/400]'$$

Van de startvector komt men in 3 stappen bij de output.

Stap 1, eerste laag van het neurale netwerk:

$$x_1 = f(A_1 * x_0 + b_1)$$

Waarbij 'f' de hierboven beschreven transfer-functie is, A1 een 5x2-matrix en b1 een 5x1-vector.

Stap 2, tweede laag van het neurale netwerk:

$$x_2 = f(A_2 * x_1 + b_2)$$

Waarbij 'f' de transfer-functie is, A2 een 4x5-matrix en b2 een 4x1-vector. De 5x1-vector x1 is de output van stap 1.

Stap 3, output laag van het neuraal netwerk:

$$kP = 40 * (A3*x2 + b3)$$

Let op, hier wordt geen transfer-functie toegepast. Wel wordt de output geschaald met een factor 40. De 4x1-vector x2 is de output van stap 2. A3 is een 1x4-matrix en b3 een 1x1 vector.

Het resultaat kP is een voorspelling van de kritische belasting die uit PCDitch komt bij gegeven waterdiepte, debiet, N/P-ratio en bodemtype.

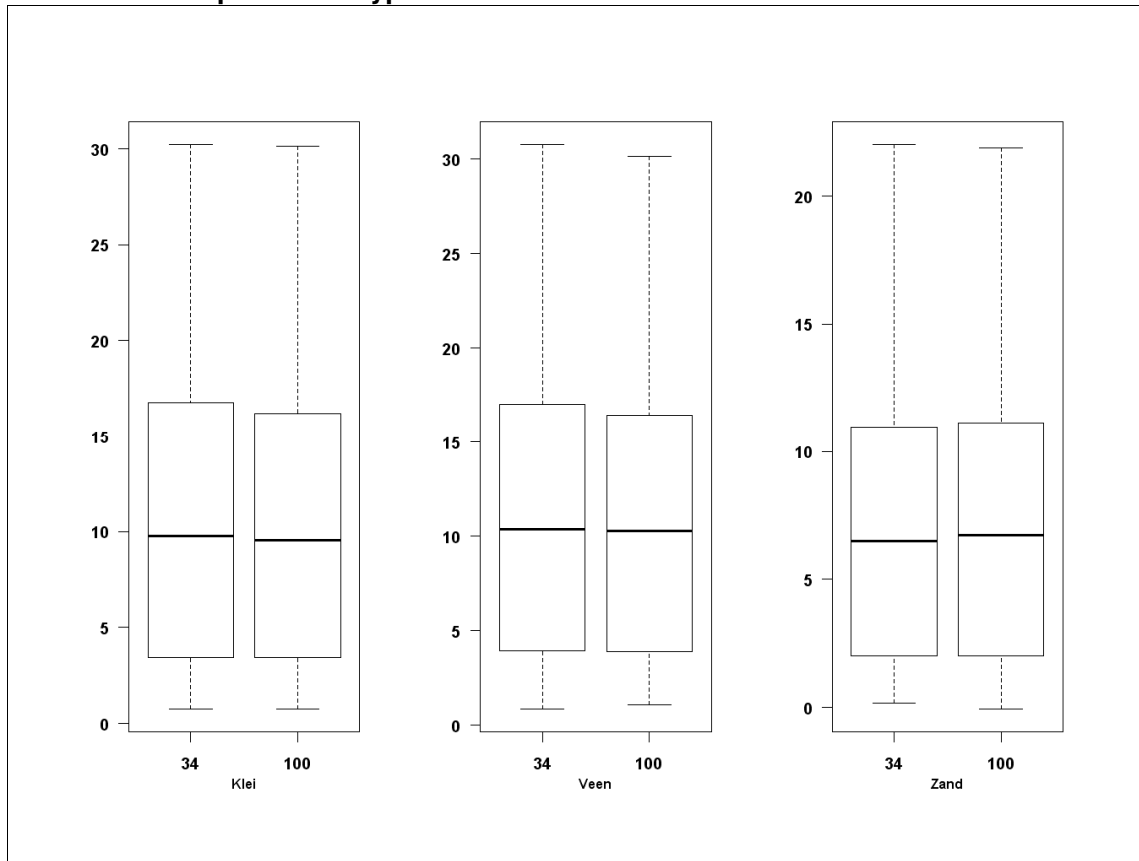
BIJLAGE II NP-RATIO

Om ervoor te zorgen dat de simulaties zijn gedaan met een P-limiterend systeem zijn de N/P-ratio's zo gekozen (34 en 100), dat er ook daadwerkelijk sprake zal zijn van een P-limiterend systeem. Uit een eerdere analyse bleek dat een N/P-ratio van 34 al voldoende is voor een P-limiterend systeem. Uit vergelijkingen met het metamodel tussen N/P-ratio's van 34 en 100 blijkt ook dat er nauwelijks verschil is tussen de uitkomsten (**afbeelding ii.1**). Het verschil is het grootst tussen 12 en 16 mg/m²/dag (afbeelding ii.2). Het gemiddelde relatieve verschil tussen de uitkomsten met verschillende N/P-ratio's is 0,022 met een standaard afwijking van 0,03 (tabel ii.1).

Tabel II.1. Verschil tussen N/P-ratio 34 en 100

bodemtype	gemiddelde kritische belasting		gemiddelde relatieve verschil	standaard afwijking van verschil
	N/P-ratio = 34	N/P-ratio = 100		
Klei	10,8	10,6	0.02	0.02
Veen	11,2	11,0	0.02	0.02
Zand	6,9	7,0	0.02	0.04
Totale set	9,6	9,5	0.02	0.03

Afbeelding II.1. Kritische belastingen berekend voor de 2 N/P-ratio's en uitgesplitst per bodemtype



Afbeelding II.2. Vergelijking N/P-ratio 34 en 100 op basis van dezelfde debieten en waterdieptes als in de totale basis dataset

