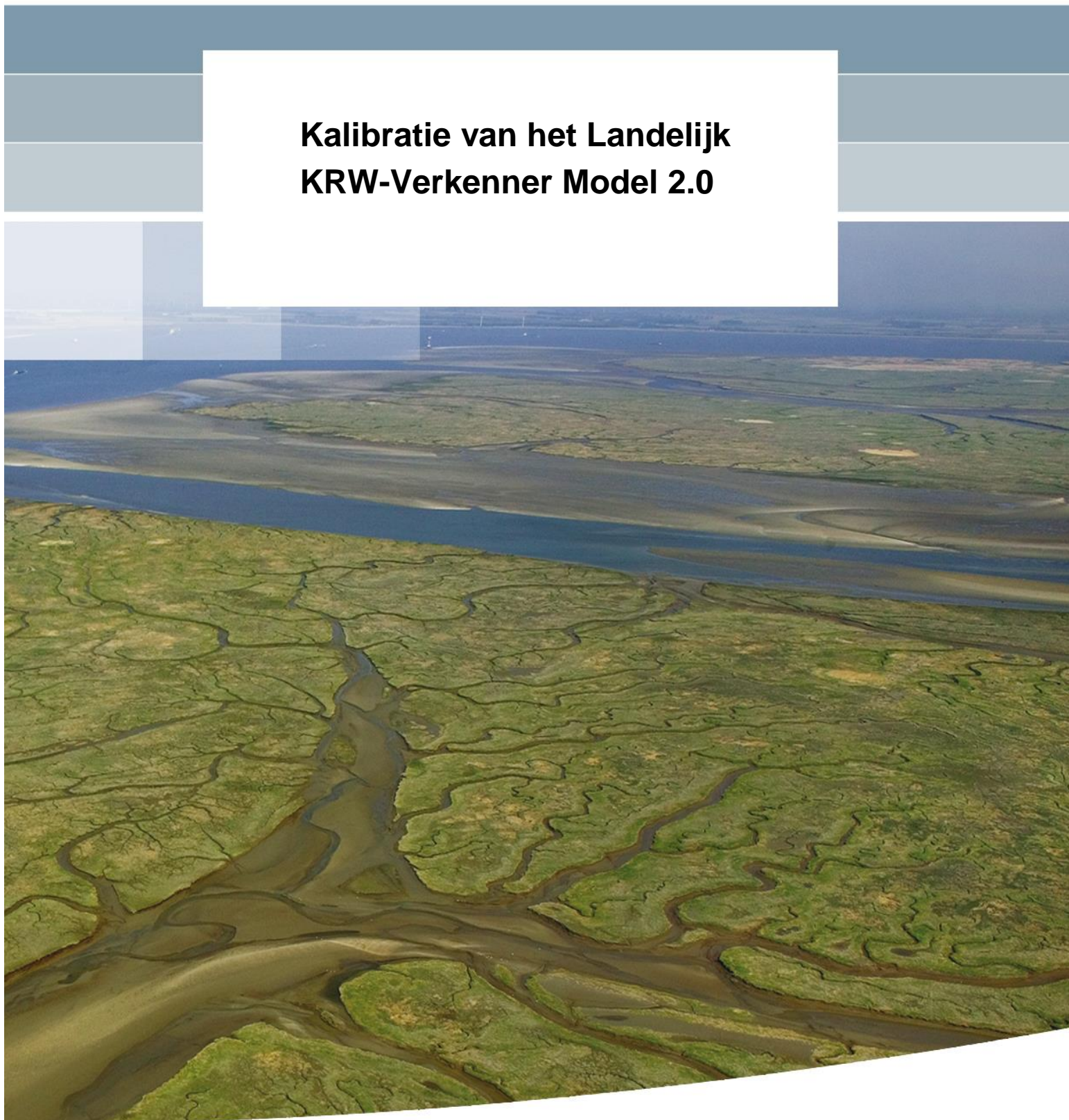


**Kalibratie van het Landelijk
KRW-Verkenner Model 2.0**



Kalibratie van het Landelijk KRW- Verkenner Model 2.0

Martin Mulder (Alterra)
Peter Cleij

1220069-000

Title

Kalibratie van het Landelijk KRW-Verkenner Model 2.0

| | | | |
|---|----------------|----------------------|--------------|
| Client | Project | Reference | Pages |
| Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving | 1220069-000 | 1220069-000-ZKS-0003 | 1 |

Trefwoorden



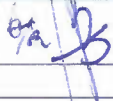

Kalibratie, validatie, KRW-Verkenner, waterkwaliteit, nutriënten

Samenvatting

Het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM), versie 2.0, is gekalibreerd op afbraakconstantes en temperatuurcoëfficiënten van het gemodelleerde eerste orde afbraak proces van N-totaal en P-totaal in oppervlaktewater, en vervolgens gevalideerd. Beschreven worden de opzet en de resultaten van kalibratie en validatie.

Referentie

Mulder, M. en P. Cleij, *Kalibratie van het Landelijk KRW-Verkenner Model 2.0*, rapportnummer 1220069-000-ZKS-0003, Deltares.

| Version | Date | Author | Initials | Review | Initials | Approval | Initials |
|---------|-----------|----------------------------|---|---------------------------|--|---------------|---|
| | dec. 2015 | Martin Mulder (Alterra) |  | Joost van den Roovaart |  | Sacha de Rijk |  |
| | | Peter Cleij |  | | | | |

Status

definitief

Dit onderzoek is mede uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Mest en Milieu'(projectnummer BO-20-004.011).

Inhoud

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 1 | Inleiding | 1 |
| 2 | Retentie in het LKM | 3 |
| 3 | Opzet en uitvoering kalibratie | 5 |
| 3.1 | Inleiding | 5 |
| 3.2 | Meetgegevens | 5 |
| 3.3 | Kalibratie script | 8 |
| 3.3.1 | Inleiding | 8 |
| 3.3.2 | Analyse afzonderlijke modelruns | 8 |
| 3.3.3 | Analyse kalibratierun | 11 |
| 3.3.4 | Log-schaal | 12 |
| 3.3.5 | Modelonvolkomenheden | 13 |
| 3.4 | Kalibratie procedure | 13 |
| 4 | Resultaten | 15 |
| 4.1 | Inleiding | 15 |
| 4.2 | Regionale wateren Hoog-Nederland | 15 |
| 4.2.1 | Parameterinstellingen | 15 |
| 4.2.2 | Modelprestaties | 15 |
| 4.2.3 | Conclusies | 17 |
| 4.3 | Regionale wateren Laag-Nederland | 18 |
| 4.3.1 | Parameterinstellingen | 18 |
| 4.3.2 | Modelprestaties | 18 |
| 4.3.3 | Conclusies | 20 |
| 4.4 | Maas | 20 |
| 4.4.1 | Parameterinstellingen | 20 |
| 4.4.2 | Modelprestaties | 21 |
| 4.4.3 | Conclusies | 22 |
| 4.5 | Rijn | 23 |
| 4.5.1 | Parameterinstellingen | 23 |
| 4.5.2 | Modelprestaties | 23 |
| 4.5.3 | Conclusies | 25 |
| 4.6 | IJssel | 25 |
| 4.6.1 | Parameterinstellingen | 25 |
| 4.6.2 | Modelprestaties | 26 |
| 4.6.3 | Conclusies | 27 |
| 4.7 | Randmeren-Oost | 28 |
| 4.7.1 | Parameterinstellingen | 28 |
| 4.7.2 | Modelprestaties | 29 |
| 4.7.3 | Conclusies | 30 |
| 4.8 | Markermeer | 31 |
| 4.8.1 | Parameterinstellingen | 31 |
| 4.8.2 | Modelprestaties | 31 |
| 4.8.3 | Conclusies | 33 |
| 4.9 | IJsselmeer | 34 |
| 4.9.1 | Parameterinstellingen | 34 |

| | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------|
| 4.9.2 | Modelprestaties | 34 |
| 4.9.3 | Conclusies | 36 |
| 4.10 | Samenvatting kalibratieresultaten | 37 |
| Conclusies en aanbevelingen | | 39 |
| Referenties | | 41 |

1 Inleiding

Bij de laatste validatie van het Landelijk KRW-Verkenner Model (Cleij et al. 2014) is gebleken dat de concentraties voor N-totaal en P-totaal vaak matig tot slecht voorspeld worden. Eén van de manieren om de voorspellende waarde van een model te verhogen is kalibratie. Het LKM is echter modelparameter-arm, en de enige 'knoppen', waaraan wat betreft modelparameters gedraaid kan worden zijn de parameters van het eerste-orde afbraak proces voor N-totaal en P-totaal, de afbraakconstante bij 20 °C en de temperatuurcoëfficiënt. De tot nu toe gebruikte retentieparameters zijn afkomstig van een vertaling van de retentieparameters van het KRW-ECHO systeem naar de retentieparameters voor de KRW-Verkenner (Roovaart et al. 2012).

Het in dit rapport beschreven onderzoek is via kalibratie gezocht naar een nieuwe set retentieparameters voor N-totaal en P-totaal, uitgaande van de tot nu toe gehanteerde parameterwaarden met als doel het voorspellend vermogen van het LKM op dit punt te verbeteren.

2 Retentie in het LKM

Retentie wordt binnen het LKM gemodelleerd met hulp van de KRW-Verkenner faciliteit voor het toepassen van een eerste-orde afbraakproces op stoffen (Meijers en Witteveen, 2013). Retentie vindt dan plaats in de nodes (bakjes met een bepaald volume water) van de LKM-schematisatie, waardoor de uitstromende concentratie van een stof lager zal zijn dan de instroomconcentratie.

Hierbij wordt de volgende formulering gehanteerd:

$$c_{uit} = \frac{Q_{in} * c_{in}}{(Q_{uit} + k * V)}$$

waarbij

| | |
|-----------|---|
| c_{uit} | uitstromende concentratie (g/m ³) |
| c_{in} | instromende concentratie (g/m ³) |
| q_{in} | instromend debiet (m ³ /s) |
| q_{uit} | uitstromend debiet (m ³ /s) |
| V | watervolume (m ³) |
| k | afbraakconstante (1/d) |

De afbraakconstante k wordt hierbij als volgt uitgedrukt:

$$k = k_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

waarbij

| | |
|----------|--|
| k_{20} | afbraakconstante bij 20 °C |
| θ | temperatuurscoëfficiënt (default is 1.047) |
| T | watertemperatuur in °C |

Een positieve temperatuurscoëfficiënt zorgt ervoor dat het retentieproces sneller verloopt bij hogere temperaturen.

De afbraakconstante bij 20 °C en de temperatuurscoëfficiënt kunnen per stof worden opgegeven. Daarnaast is er de mogelijkheid het retentiedrag ruimtelijk te differentiëren via een 'tag' van een schematisatie node. Watertemperaturen kunnen per kwartaal aan de KRW-Verkenner worden opgegeven. Een ruimtelijke differentiering is hierbij niet mogelijk.

In tabel 1 zijn de afbraakconstantes bij 20 °C en de temperatuurcoëfficiënten weergegeven zoals die, ruimtelijk gespreid, als uitgangpunt voor de kalibratie zijn gebruikt.

Tabel 1: Standaard parameterwaarden voor afbraakconstante en temperatuurcoëfficiënt.

| Categorie | N-totaal Afbraakconstante bij 20 °C | Temperatuur- coëfficiënt | P-totaal Afbraakconstante bij 20 °C | Temperatuur- coëfficiënt |
|-----------------------|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Hoog-Nederland | 0.195 | 1.047 | 0.15 | 1.047 |
| Laag-Nederland | 0.0198 | 1.047 | 0.0198 | 1.047 |
| Rijkswateren | | | | |
| <u>Rivieren</u> | | | | |
| - Maas | 0.0117 | 1.047 | 0.0269 | 1.047 |
| - Rijn | 0.0233 | 1.047 | 0.0539 | 1.047 |
| - IJssel | 0.0340 | 1.047 | 0.0786 | 1.047 |
| <u>Meren</u> | | | | |
| - Randmeren-Oost | 0.00384 | 1.047 | 0.000544 | 1.047 |
| - Markermeer | 0.000719 | 1.047 | 0.000102 | 1.047 |
| - IJsselmeer | 0.0024 | 1.047 | 0.00034 | 1.047 |

3 Opzet en uitvoering kalibratie

3.1 Inleiding

De kalibratie van de retentieparameters voor N-totaal en P-totaal is uitgevoerd aan de hand van meetgegevens voor de jaren 2005 t/m 2008 en uitvoer van KRW-Verkenner runs met LKM invoer voor de periode 2005-2008. De LKM invoer bestond hierbij uit de LKM-schematisatie en variabele invoer voor de 16 kwartalen in periode 2005-2008. De variabele invoer werd hierbij samengesteld uit uitvoer van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM 3.02), het Landelijk SOBEK model (LSM 1.2) en het landelijk uitspoelingsmodel voor nutriënten (STONE 3.2), en uit gegevens uit RWZibase (CBS), de Emissieregistratie database en het KRW-ECHO systeem van Alterra.

Wat betreft de meetgegevens is gebruik gemaakt van de data die verzameld is in het kader van het project *Toestand- en trendanalyse voor nutriënten op KRW-meetlocaties* (van Duijnhoven et al. 2015). Een selectie van meetlocaties is hierbij gekoppeld aan corresponderende *surface water units* (SWU's) van de LKM schematisatie.

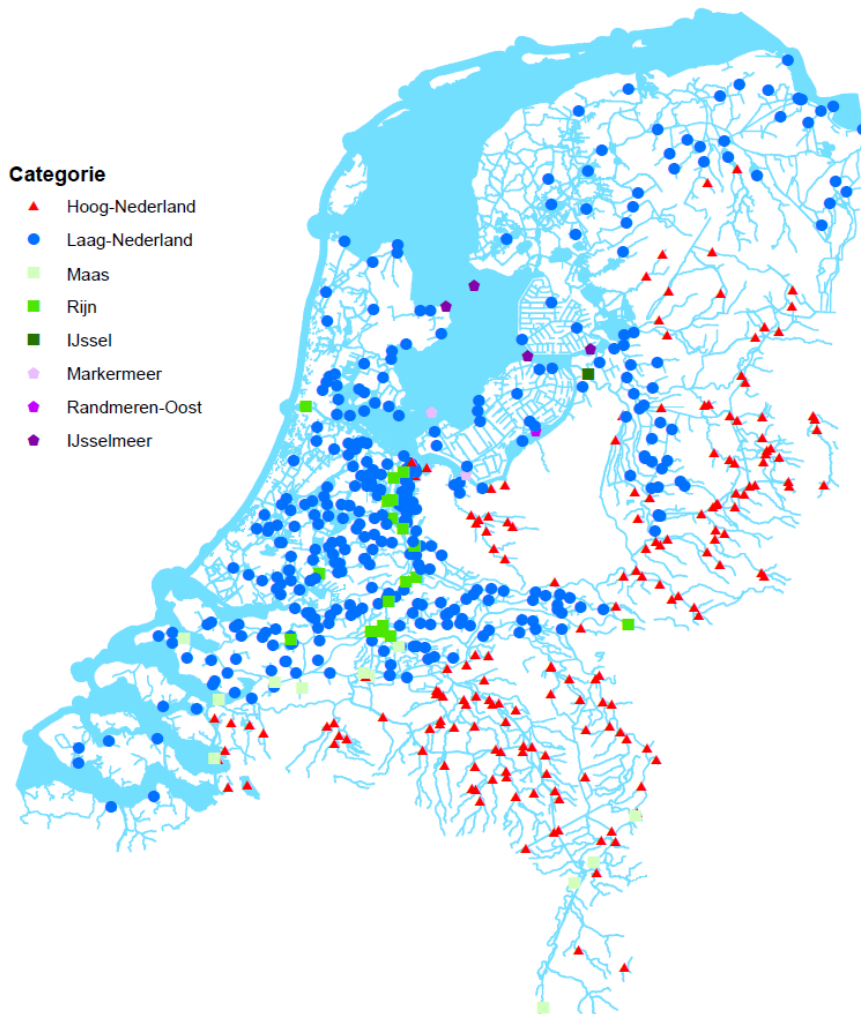
3.2 Meetgegevens

Uit de dataset met meetgegevens zijn meetlocaties geselecteerd die zich bevinden in de waterlichamen van de KRW-verkenner. Hierbij is gelet op beperkte beïnvloeding van de waterkwaliteit door niet-gemodelleerde buitenlandse wateraanvoer binnen het LKM.

Middels de Boxplot-methode zijn extreem hoge en lage meetwaarden uit de database verwijderd. De boxplot-methode betreft een grafische weergave van de vijf-getallensamenvatting en is daarmee een sterk vereenvoudigde, maar zeer bruikbare, voorstelling van de verdeling van de data (John Tukey, 1977). Deze vijf-getallensamenvatting bestaat uit het minimum, het eerste kwartiel, de mediaan (tweede kwartiel), het derde kwartiel en het maximum van de waargenomen data. Om extreme meetwaarden in de data te identificeren wordt de interkwartielafstand (het verschil tussen het eerste en derde kwartiel, IKA) bepaald. Alle waarden die onder een grens van 3 IKA onder het eerste kwartiel, of 3 IKA boven het derde kwartiel liggen worden gezien als extreme uitschieters welke zijn verwijderd uit de database voor de kalibratie. De extreme uitschieters zijn per locatie bepaald. In tabel 2 en figuur 1 worden overzichten gegeven van het aantal ligging meetlocaties per categorie.

Tabel 2: Overzicht meetlocaties per categorie.

| Categorie | Aantal |
|-----------------------|---------------|
| Hoog-Nederland | 171 |
| Laag-Nederland | 360 |
| Rijkswateren | 38 |
| <u>Rivieren</u> | |
| - Maas | 12 |
| - Rijn | 18 |
| - IJssel | 1 |
| <u>Meren</u> | |
| - Markermeer | 2 |
| - Randmeren-Oost | 1 |
| - IJsselmeer | 4 |



Figuur 1: Meetlocaties per categorie.

Na filtering van extreme uitschieters is er verder gelet op het voorkomen van het aantal metingen per locatie en per kwartaal. Er is een minimum aantal van 3 metingen vereist per locatie en per kwartaal. Dit om te voorkomen dat een enkele meting een te zwaar gewicht zal gaan krijgen in het kalibratieproces. Vervolgens zijn kwartaal-gemiddelde N-totaal en P-totaal concentraties bepaald.

Circa 75% van de kwartaalwaarnemingen zijn random geselecteerd ten behoeve van de kalibratie. De overige 25% wordt gebruikt voor de validatie. In totaal zijn er (in de periode 2005 tot en met 2008) 5345 kwartaalwaarnemingen van N-totaal en 5271 kwartaalwaarnemingen van P-totaal geselecteerd voor de kalibratie, zie tabel 3. Voor de validatie zijn er 1786 kwartaalwaarnemingen van N-totaal en 1748 kwartaalwaarnemingen van P-totaal geselecteerd, zie tabel 4.

Tabel 3: Overzicht selectie kwartaalwaarnemingen ten behoeve van de kalibratie.

| Categorie | N-totaal | | P-totaal | |
|-----------------------|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| | Aantal | Gem. conc. [mg l ⁻¹] | Aantal | Gem. conc. [mg l ⁻¹] |
| Hoog-Nederland | 1744 | 5.1 | 1672 | 0.23 |
| Laag-Nederland | 3188 | 3.4 | 3178 | 0.28 |
| Rijkswateren | 413 | 3.3 | 421 | 0.17 |
| <u>Rivieren</u> | | | | |
| - Maas | 144 | 3.8 | 154 | 0.17 |
| - Rijn | 170 | 3.2 | 177 | 0.19 |
| - IJssel | 12 | 3.5 | 9 | 0.15 |
| <u>Meren</u> | | | | |
| - Randmeren-Oost | 14 | 1.8 | 13 | 0.06 |
| - Markermeer | 24 | 2.0 | 22 | 0.14 |
| - IJsselmeer | 49 | 3.0 | 46 | 0.10 |

Tabel 4: Overzicht selectie kwartaalwaarnemingen ten behoeve van de validatie.

| Categorie | N-totaal | | P-totaal | |
|-----------------------|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| | Aantal | Gem. conc. [mg l ⁻¹] | Aantal | Gem. conc. [mg l ⁻¹] |
| Hoog-Nederland | 577 | 5.0 | 611 | 0.24 |
| Laag-Nederland | 1085 | 3.4 | 1012 | 0.26 |
| Rijkswateren | 124 | 3.3 | 125 | 0.16 |
| <u>Rivieren</u> | | | | |
| - Maas | 43 | 3.8 | 38 | 0.15 |
| - Rijn | 57 | 3.3 | 50 | 0.20 |
| - IJssel | 4 | 3.3 | 7 | 0.13 |
| <u>Meren</u> | | | | |
| - Randmeren-Oost | 2 | 0.9 | 3 | 0.07 |
| - Markermeer | 8 | 1.8 | 10 | 0.14 |
| - IJsselmeer | 4 | 3.3 | 17 | 0.13 |

Voor de IJssel, Randmeren-Oost, Markermeer en IJsselmeer heeft dit, met name voor de validatie, (zeer) kleine sets opgeleverd. Bij de beoordeling van de kalibratieresultaten zal hiermee rekening gehouden moeten worden.

Voor de kleinste van deze sets, de validatieset voor N-totaal voor Randmeren-Oost (meetresultaten voor het Veluwemeer), met twee kwartaal-gemiddelden die gemiddeld de helft lager liggen dan de kwartaal-gemiddelden voor de kalibratieset (0.9 mg-N/l tegen 1.8 mg-n/l), zijn de concentraties nader bekeken. Voor de validatieset gaat het hier om twee waarden voor het derde kwartaal: 1.05 mg-N/l (2006) en 0.75 mg-N/l (2007). Deze laatste waarde van 0.75 is wel de laagste uit de reeks, maar ook de twee andere waarden voor het derde kwartaal (uit de kalibratieset) zijn relatief laag: 1.01 mg-N/l (2005) en 0.94 mg-N/l (2008). De concentraties voor de andere kwartalen, vooral voor het eerste kwartaal, (allemaal kalibratieset) zijn relatief hoog. Het grote verschil in gemiddelde concentratie tussen validatie- en kalibratieset lijkt dus niet veroorzaakt door 'uitbijters' in de meetreeks, maar berust hoofdzakelijk op de toevallige omstandigheid dat voor de validatieset twee kwartaal-gemiddelde concentraties zijn geselecteerd uit het derde kwartaal.

3.3 Kalibratie script

3.3.1 Inleiding

De kalibratie is uitgevoerd met hulp van een R-script dat parallelle modelruns laat uitvoeren op de WUR-HPC (High Performance Computing) faciliteit. De invoer van dit kalibratie script bestaat uit een range van waarden voor elk van de te kalibreren parameters. Op basis hiervan genereert het script een serie van (meestal) 100 combinaties van waarden voor de retentieparameters, waarna elk combinatie wordt doorgerekend door het waterkwaliteitsmodel van de KRW-Verkenner (telkens 16 runs, één voor elk kwartaal in de periode 2005-2008). De gegenereerde parameterwaarden worden hierbij volgens 'Latin Hypercube Sampling' methode getrokken uit de (uniforme) verdelingen, die door de parameter ranges in de invoer van het script worden gedefinieerd. De berekende kwartaal-concentraties worden vervolgens op verschillende manieren vergeleken met de corresponderende meetgegevens in de vorm van kwartaal-gemiddelde concentraties per meetpunt. Hierbij bestaat ook de mogelijkheid bestaat de kalibratie run te selecteren die volgens een te kiezen optimalisatiecriterium de beste overeenkomst tussen meting en rekenresultaat oplevert.

Het kalibratie script gebruikt intermediaire uitvoer van de KRW-Verkenner in de vorm van de invoer van het waterkwaliteitsdeelmodel (*Delwaq* in steady-state mode). Eén van deze *Delwaq* invoerbestanden is *decay.inp*, waarin de KRW-Verkenner de waarden van de retentieparameters wegschrijft voor de verschillende door te rekenen stoffen en deelgebieden (geïdentificeerd door middel van een 'tag'). Het kalibratie script past dit bestand aan door hier de parameterwaarden te vervangen door de gegenereerde waarden. Een KRW-Verkenner run wordt vervolgens nagebootst door een run met alleen *Delwaq*, waarbij dan tevens de uitvoer van het waterkwantiteitsmodel van de KRW-Verkenner (*wabacore*) wordt gebruikt. Dit resulteert in berekende concentraties in het *Delwaq* uitvoerbestand *stofbal.mon*. Dit bestand wordt normaal gesproken door de KRW-Verkenner opgepakt om de resultaten binnen de KRW-Verkenner te tonen. Nu wordt het bestand door het kalibratie script opgepakt om de resultaten te kunnen vergelijken met de gemeten concentraties.

Voor het effect van de temperatuurscoëfficiënt op de berekende concentraties zijn in de KRW-Verkenner watertemperaturen nodig. Deze kunnen per kwartaal gespecificeerd worden (een ruimtelijke verdeling is niet mogelijk) en worden door de KRW-Verkenner ook weggeschreven in het *Delwaq* invoerbestand *decay.inp*. Voor de kalibratie is daarom een KRW-Verkenner import bestand met watertemperaturen aangemaakt, die door het kalibratie script wordt opgepakt en wordt ingevoegd in het *decay.inp* bestand. Dit bestand bevat de gemiddelde watertemperaturen per kwartaal in de periode 2005 - 2008 op basis van meetgegevens uit de Limnodata 2013.

3.3.2 Analyse afzonderlijke modelruns

Onderstaande beschrijving van de modelprestatieparameters is grotendeels overgenomen uit het rapport *Validatie van modelsystemen voor het voorspellen van de oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit in het stroomgebied 'de Drentse Aa'* (Walvoort et al., 2009).

Per modelrun worden een aantal modelprestatie-maten bepaald, zoals de variantie, systematische fout, willekeurige fout, totale fout, gemiddelde absolute fout en de modefficiëntie. De gebruikte validatiematen hierbij zijn een functie van:

- de meetwaarden (γ_i) voor $i = 1 \dots n$;
- de daarmee corresponderende modelvoorspellingen ($\hat{\gamma}_i$) voor $i = 1 \dots n$;
- of het verschil tussen γ_i en $\hat{\gamma}_i(e_i)$ voor $i = 1 \dots n$.

Hier is n het aantal meetwaarden. De relatie tussen deze drie karakteristieken wordt gegeven door:

$$\gamma_i = \hat{\gamma}_i + e_i$$

De restterm (e_i) is het gevolg van onvolkomenheden in het model (onjuiste procesformulering, ontbreken van processen, fouten in de parameterisering, fouten in de gebiedschematisatie) en/of meetfouten.

Variantie

De variantie (σ_{γ}^2) kwantificeert de variatie van de waarnemingen en modelvoorspellingen rond het rekenkundig gemiddelde en kan gezien worden als een maat voor de dynamiek:

$$\sigma_{\gamma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})^2$$

$$\sigma_{\hat{\gamma}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{\gamma}_i - \bar{\hat{\gamma}})^2$$

Met het rekenkundig gemiddelde van de n waarnemingen (γ_i) of n modelvoorspellingen ($\hat{\gamma}_i$):

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i$$

$$\bar{\hat{\gamma}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\gamma}_i$$

De variantie ligt tussen $[0, \infty]$. Een variantie van 0 geeft aan dat er geen dynamiek is, hetgeen aangeeft dat een waarneming/modelvoorspelling niet veranderd in de tijd.

Correlatiecoëfficiënt

Pearsons (product-moment) correlatiecoëfficiënt is een maat voor de (lineaire) overeenkomst in patroon tussen de gemeten en de gemodelleerde tijdreeksen en wordt gegeven door:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})(\hat{\gamma}_i - \bar{\hat{\gamma}})}{\sigma_{\gamma} \sigma_{\hat{\gamma}}}$$

De correlatiecoëfficiënt ligt in $[-1, 1]$. De correlatiecoëfficiënt is gelijk aan 1 als de gemodelleerde reeks lineair evenredig is met de waargenomen reeks. Dat wil zeggen dat

$$\frac{(\gamma_i - \bar{\gamma})}{(\hat{\gamma}_i - \bar{\hat{\gamma}})} = c \text{ voor } c > 0, \text{ en } i = 1 \dots n$$

Een correlatie van 1 wil zeggen dat de waargenomen en berekende tijdreeksen perfect in fase zijn. Een correlatie van -1 geeft aan dat de tijdreeksen in tegenfase zijn. Er is dan sprake van een faseverschuiving.

Systematische fout

De systematische fout (of de gemiddelde fout) wordt gegeven door:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) = \bar{Y} - \bar{\hat{Y}}$$

Willekeurige fout

De willekeurige fout is een maat voor de precisie en kan worden berekend als de variatie van de fout rond de gemiddelde fout:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2$$

Totale fout

De totale fout (gemiddelde gekwadraterde fout, Eng. Mean Squared Error, MSE) is een maat voor nauwkeurigheid. Deze fout kan worden opgesplitst in twee componenten, namelijk de gekwadraterde systematische fout en de willekeurige fout.

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2$$

Modefficiëntie

De modefficiëntie volgens Nash en Sutcliffe (1970) wordt berekend met:

$$E_{NS} = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2}$$

Met de kwadraatsom van de metingen:

$$F_0^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

En de resterende kwadraatsom die niet door het model kan worden verklaard:

$$F^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

De modefficiëntie ligt in $[-\infty, 1]$. $E_{NS} = 1$ komt overeen met een perfect model, $E_{NS} = 0$ met een model die het net zo goed doet als wanneer het gemiddelde van de meetgegevens als predictor wordt gebruikt. Waarden kleiner dan 0 geven aan dat het gemiddelde van de meetgegevens een betere predictor is dan het model.

E_{NS} is gerelateerd aan σ_t^2 via:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{\sigma_t^2}{\sigma_Y^2}$$

Bandbreedte methode

Ten behoeve van de KRW-verkenner kalibratie is nieuwe optimalisatie criterium ontwikkeld voor het analyseren van de modelprestatie. Hierbij wordt gekeken naar de procentuele afwijking van een modelvoorspelling t.o.v. de waarneming. Vooraf worden twee bandbreedtes (bb_1 en bb_2) opgelegd waarbij een modelvoorspelling wel of niet binnen de bandbreedte van de waarneming ligt:

$$|\gamma_i - \hat{\gamma}_i| \leq bb_x \gg 1$$

$$|\gamma_i - \hat{\gamma}_i| > bb_x \gg 0$$

Het aantal modelvoorspellingen wat aan dit criterium voldoet (n_{bbx}) wordt vervolgens gewogen gemiddeld:

$$E_{BB} = \frac{\frac{n_{bb1}}{n} \frac{1}{bb_1} + \frac{n_{bb2}}{n} \frac{1}{bb_2}}{\frac{1}{bb_1} + \frac{1}{bb_2}}$$

De bandbreedte-methode ligt in $[0,1]$. $E_{BB} = 1$ geeft aan dat alle modelvoorspellingen binnen de opgegeven bandbreedte liggen, $E_{BB} = 0$ geeft aan dat geen van de modelvoorspellingen binnen de opgegeven bandbreedte voorkomen. In tabel 5 zijn de gehanteerde bandbreedtes weergegeven.

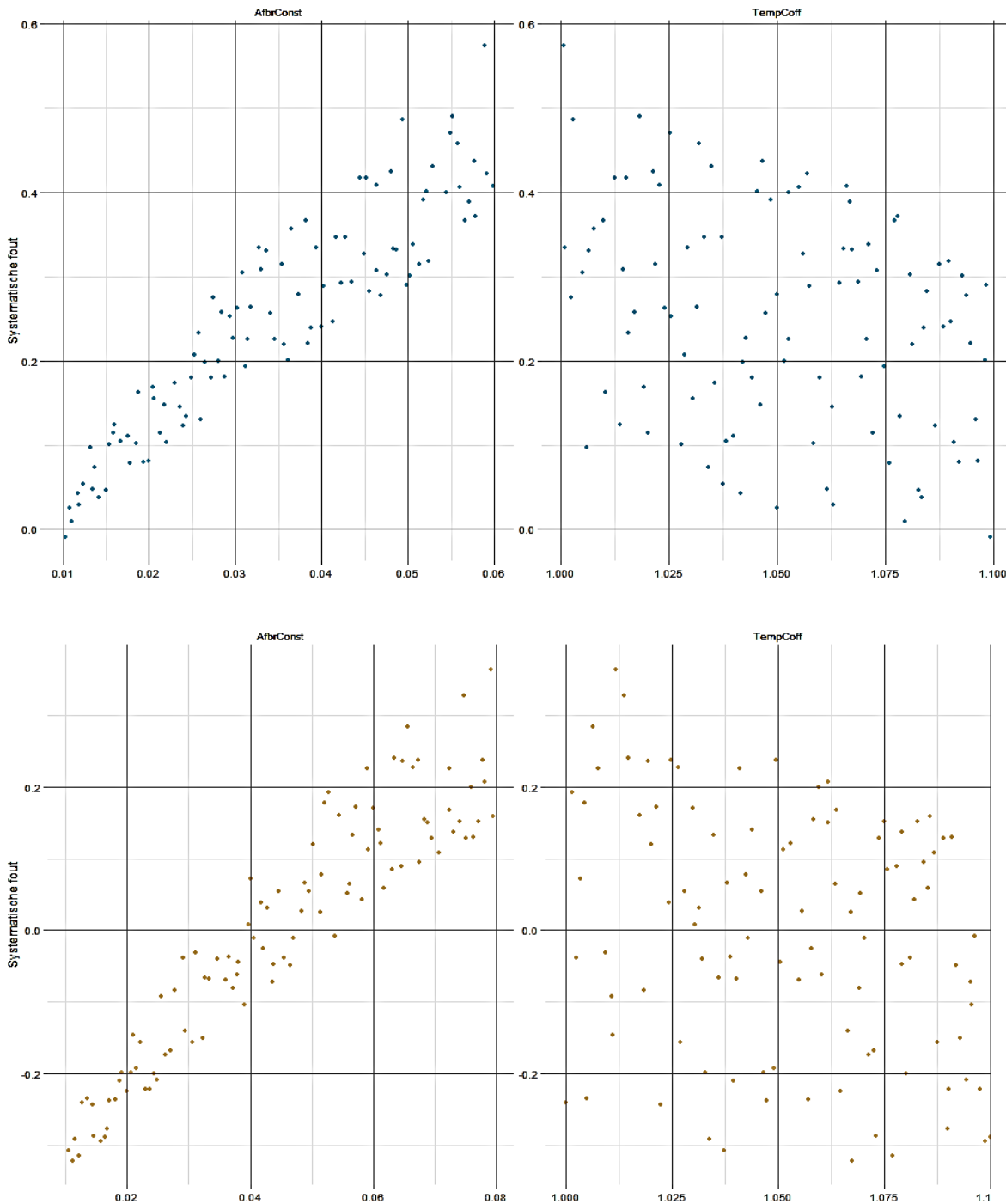
Tabel 5: Gehanteerde bandbreedte voor N-totaal en P-totaal.

| Parameter | Bandbreedte |
|-----------------|-------------|
| N-totaal | |
| bb_1 | 2.00 |
| bb_2 | 1.25 |
| P-totaal | |
| bb_1 | 3.00 |
| bb_2 | 1.45 |

Middels deze werkwijze hebben extreme modelresultaten (als gevolg van onvolkomenheden in het model) minder impact op het kalibratieproces. Hierbij wordt wel verondersteld dat modelvoorspellingen binnen een bepaalde range van de waarneming niet het gevolg zijn van onvolkomenheden in het model.

3.3.3 Analyse kalibratierun

Door de modelprestaties van alle modelruns gezamenlijk te analyseren kan een beeld worden gevormd hoe de afbraakconstante en de temperatuurcoëfficiënt afzonderlijk en op elkaar reageren. In figuur 2 is een voorbeeld gegeven waarbij de verschillende combinaties van parameterwaarden zijn uitgezet tegen de systematische fout (Hoog-Nederland).



Figuur 2: Parameterwaarden van de afbraakconstante en de temperatuurcoëfficiënt versus modelprestatie (Systematische afwijking). Met boven N-totaal en onder P-totaal.

3.3.4 Log-schaal

Analyse van modelprestaties gebeurt op basis van een natuurlijk logaritmische schaal. Hiermee krijgt het modelleren van lage concentraties een extra gewicht waardoor voorkomen wordt dat er een te grote retentie wordt berekend door de KRW-verkenner.

3.3.5 Modelonvolkomenheden

Het kalibratieproces is gevoelig voor modelonvolkomenheden. Deze modelonvolkomenheden worden idealiter opgelost voorafgaand aan het kalibratieproces maar helaas is dit niet altijd mogelijk. Als alternatief kunnen situaties met modelonvolkomenheden worden geïsoleerd zodat ze geen of een beperkte rol spelen bij het kalibratieproces.

Bij het kalibreren van wabacore-Delwaq is gebleken dat in situaties met geen waterstroming gedurende een kwartaal absurd lage of hoge nutriëntenconcentraties ($> 1.000 \text{ kg/l}$) worden berekend. Segmenten waarbij geen waterstroming optreedt gedurende een kwartaal zijn om deze redenen uitgesloten in de analyse.

Met het uitsluiten van zogenaamde nul-flows zijn nog niet alle extreme nutriëntenconcentraties berekend door het model uitgesloten van analyse. Daarom is besloten de berekende nutriëntenconcentraties af te kappen op een minimum waarden van $0.000001 \text{ mg l}^{-1}$ en een maximum waarde van 100 mg l^{-1} .

3.4 Kalibratie procedure

Om beïnvloeding van bovenstrooms zoveel mogelijk te voorkomen wordt het kalibratieproces eerst voor bovenstrooms (Hoog-Nederland) uitgevoerd. Zodra daar de meest optimale parameterwaarden zijn gevonden worden deze waarden vastgezet en wordt het kalibratieproces benedenstrooms voortgezet. Van bovenstrooms naar benedenstrooms worden hierbij de volgende categorieën onderscheiden:

- Regionale wateren Hoog-Nederland
- Regionale wateren Laag-Nederland
- Maas
- Rijn
- IJssel
- Randmeren-Oost
- Markermeer
- IJsselmeer

Bij het zoeken naar de meest optimale parameterwaarden zijn in de meeste gevallen meerdere kalibratieruns van elk 100 modelruns uitgevoerd. De 'best fit' binnen de finale kalibratierun representeert zo het eindresultaat.

Voor de eerste vier categorieën (met veel data) is de kalibratie uitgevoerd aan de hand van het bandbreedte criterium. Voor de laatste vier categorieën (met weinig data) is de model-efficiëntie als optimalisatiecriterium gebruikt.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de kalibratie gepresenteerd aan de hand van de 'best fit' van de finale kalibratierun. Voor deze 'best fit' worden de modelprestaties voor zowel de kalibratie- als de validatieset gegeven, en vergeleken met de modelprestaties bij de standaard instelling van de retentieparameters.

4.2 Regionale wateren Hoog-Nederland

4.2.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Hoog-Nederland is gebaseerd op de bandbreedte-methode. Zie Tabel 6 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 6: Parameterinstellingen van de finale kalibratierun voor Hoog-Nederland.

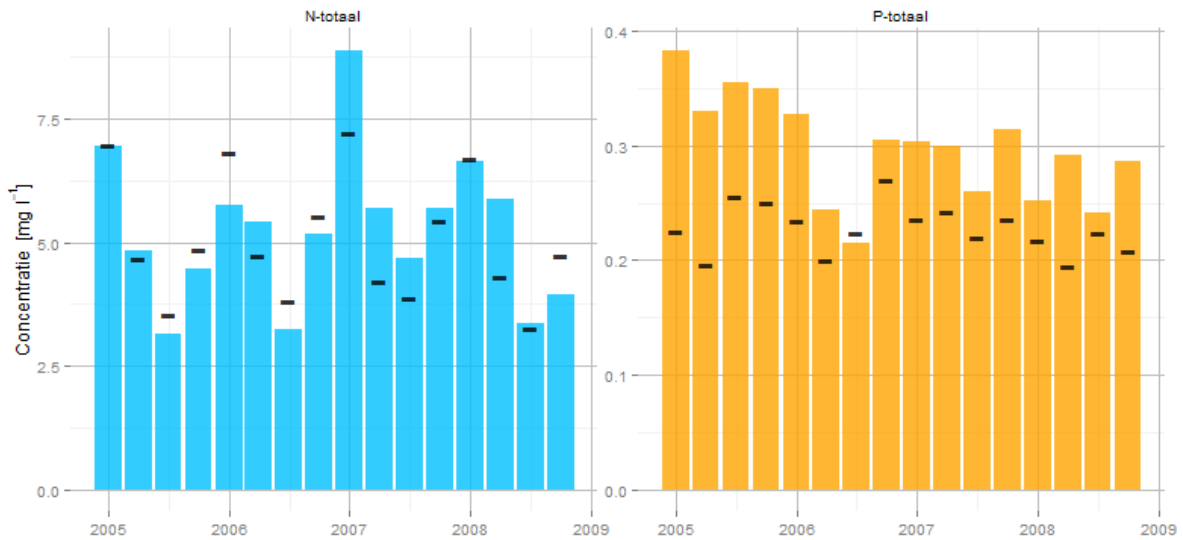
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.195 | 0.000 | 0.020 | 0.020 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.001 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.150 | 0.020 | 0.060 | 0.060 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.012 |

4.2.2 Modelprestaties

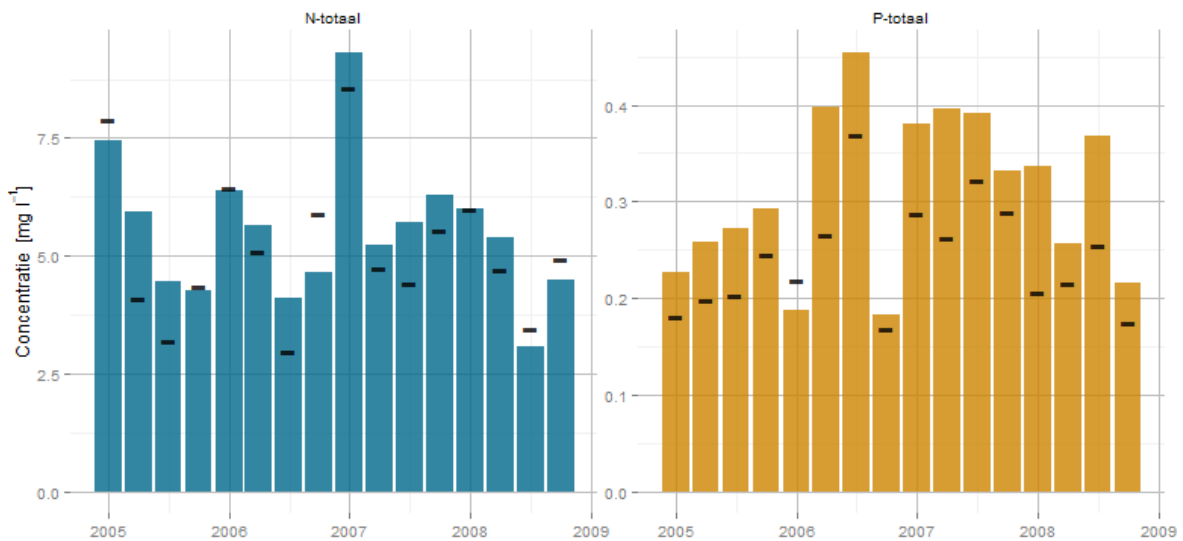
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Modelprestaties voor Hoog-Nederland (log-schaal).

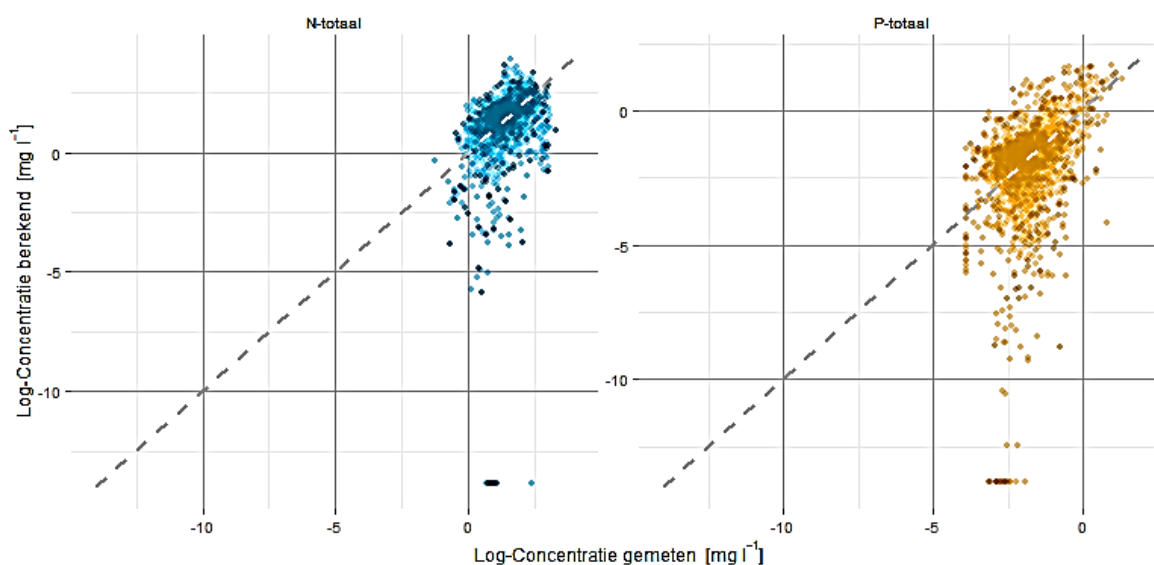
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.41, V: 0.43) | 4.70 | 2.70 | 3.91 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.37 | 0.33 | 0.31 |
| - Systematische fout | 1.39 | 0.19 | 0.23 |
| - Willekeurige fout | 4.10 | 2.42 | 3.53 |
| - Totale fout | 6.04 | 2.45 | 3.59 |
| - Gemiddelde absolute fout | 1.49 | 0.70 | 0.81 |
| - Modefficiëntie | -13.65 | -4.95 | -7.40 |
| - Bandbreedte | 0.24 | 0.46 | 0.44 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.60, V: 0.66) | 4.06 | 2.91 | 3.49 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.35 | 0.36 | 0.35 |
| - Systematische fout | 0.85 | 0.21 | 0.19 |
| - Willekeurige fout | 3.58 | 2.56 | 3.07 |
| - Totale fout | 4.30 | 2.60 | 3.11 |
| - Gemiddelde absolute fout | 1.24 | 0.96 | 0.99 |
| - Modefficiëntie | -6.13 | -3.32 | -3.72 |
| - Bandbreedte | 0.44 | 0.46 | 0.46 |



Figuur 3: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 4: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 5: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.2.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een redelijke verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van 24% naar 46% binnen de bandbreedte (en 44% voor de validatieset).

P-totaal laat echter nauwelijks een verbetering zien: van 44% naar 46% binnen de bandbreedte (en 46% voor de validatieset).

De modefficiëntie verbetert wel maar blijft met -4.95 voor N-totaal en P-totaal -3.32 zeer laag. Het feit dat de modefficiëntie voor P-totaal minder laag uitkomt dan voor N-totaal lijkt overigens te wijten aan een artefact, samenhangend met het feit dat de minimum concentraties voor N-totaal en P-totaal op het zelfde niveau zijn afgekapt, waardoor deze afgekapte concentraties minder extreem zijn bij de P-totaal concentraties dan bij de hogere N-totaal concentraties.

Ondanks dat wordt het verloop van de kwartaal-gemiddelde concentraties toch redelijk gereproduceerd voor N-totaal, voor zowel de kalibratie-dataset als de validatie-dataset, en voor P-totaal merkwaardigerwijs alleen voor de validatie-dataset, echter wel systematisch te laag.

4.3 Regionale wateren Laag-Nederland

4.3.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Laag-Nederland is gebaseerd op de bandbreedte-methode. Zie Tabel 8 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 8: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor Laag-Nederland.

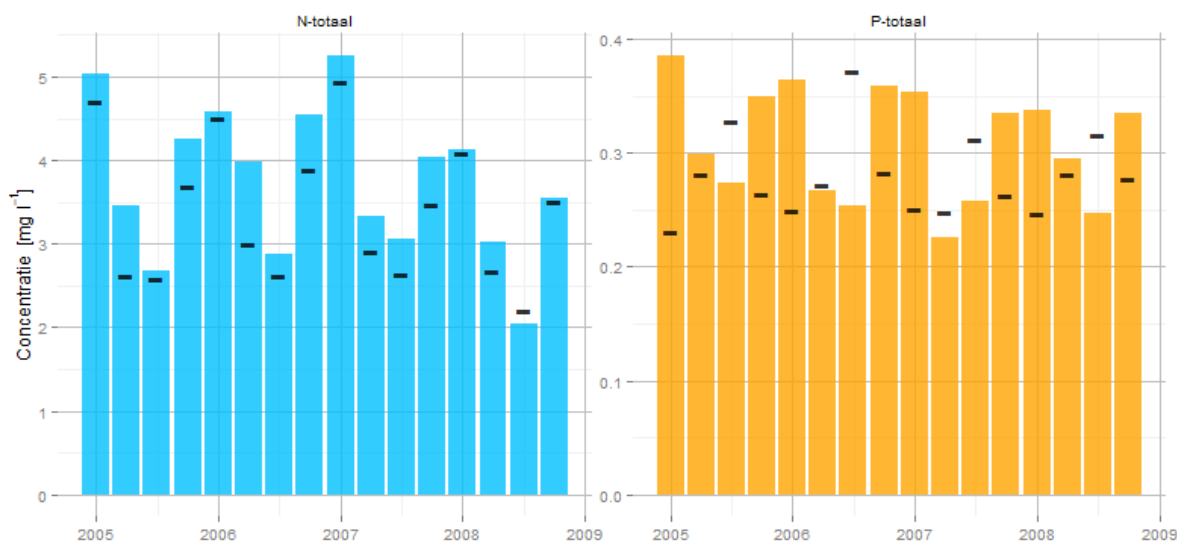
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0198 | 0.000 | 0.010 | 0.006 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.002 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0198 | 0.005 | 0.020 | 0.008 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.020 |

4.3.2 Modelprestaties

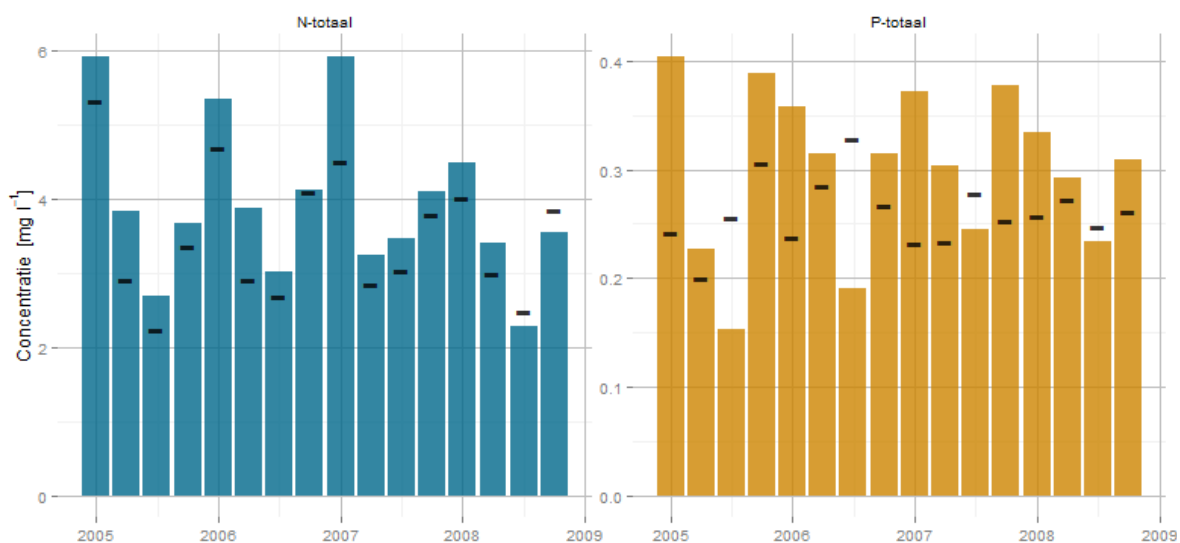
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Modelprestaties voor Laag-Nederland (log-schaal).

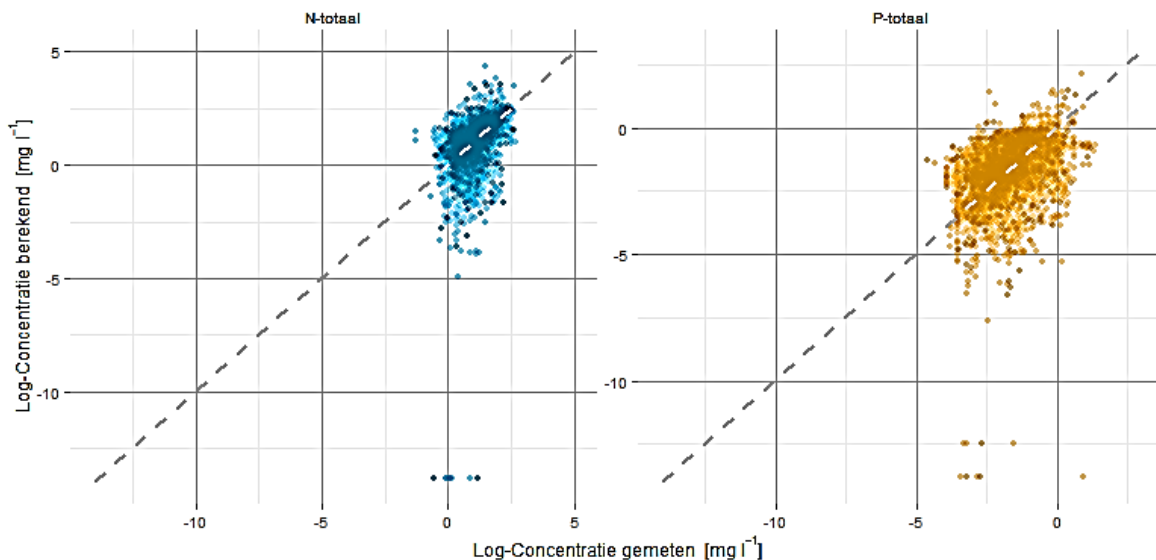
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.33, V: 0.32) | 1.87 | 1.28 | 1.07 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.46 | 0.42 | 0.44 |
| - Systematische fout | 0.63 | 0.08 | 0.03 |
| - Willekeurige fout | 1.47 | 1.06 | 0.87 |
| - Totale fout | 1.86 | 1.07 | 0.88 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.84 | 0.57 | 0.50 |
| - Modefficiëntie | -4.57 | -2.19 | -1.78 |
| - Bandbreedte | 0.39 | 0.50 | 0.53 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.83, V: 0.79) | 2.09 | 1.37 | 1.47 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.38 | 0.40 | 0.41 |
| - Systematische fout | 0.49 | -0.05 | -0.10 |
| - Willekeurige fout | 1.91 | 1.34 | 1.38 |
| - Totale fout | 2.15 | 1.34 | 1.39 |
| - Gemiddelde absolute fout | 1.01 | 0.82 | 0.81 |
| - Modefficiëntie | -1.58 | -0.61 | -0.77 |
| - Bandbreedte | 0.42 | 0.46 | 0.47 |



Figuur 6: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 7: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 8: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.3.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een redelijke verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van 39% naar 50% binnen de bandbreedte (en 53% voor de validatieset).

P-totaal laat echter (opnieuw) nauwelijks een verbetering zien: van 42% naar 46% binnen de bandbreedte (en 47% voor de validatieset).

De modefficiëntie verbetert wel, maar blijft met -2.19 voor N-totaal en P-totaal -0.61 laag.

Ondanks dat wordt het verloop van de kwartaal-gemiddelde concentraties toch redelijk gereproduceerd voor N-totaal, voor zowel de kalibratie-dataset als de validatie-dataset. Voor P-totaal volgen de modeluitkomsten echter niet de variaties in de gemeten waarden, zowel niet voor de kalibratie-dataset en de validatie-dataset.

4.4 Maas

4.4.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Maas is gebaseerd op de bandbreedte-methode. Zie Tabel 10 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 10: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor Maas.

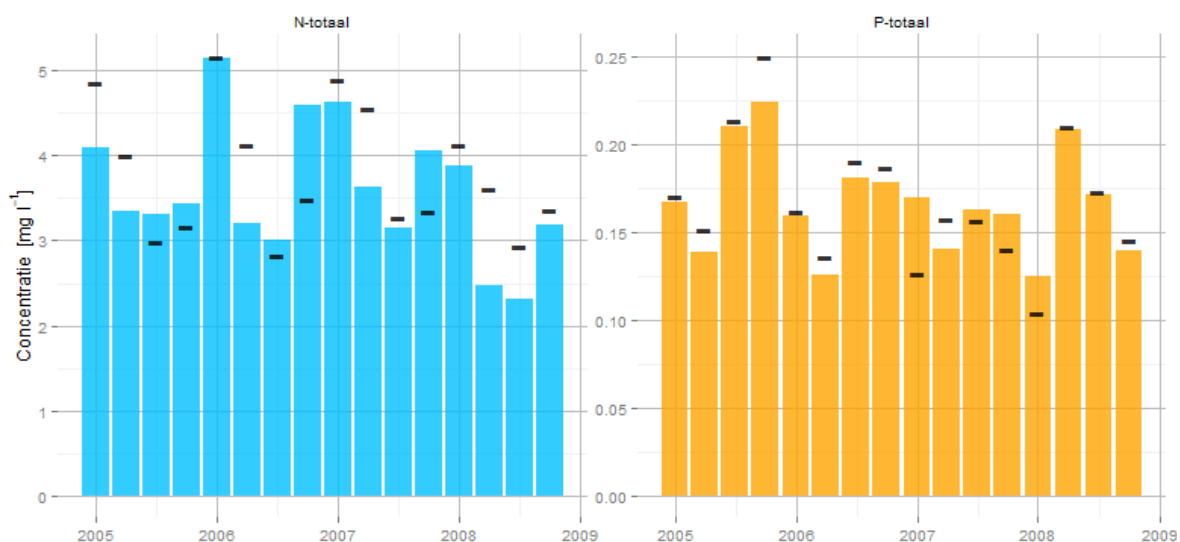
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0117 | 0.000 | 0.010 | 0.006 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.002 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0269 | 0.005 | 0.020 | 0.008 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.019 |

4.4.2 Modelprestaties

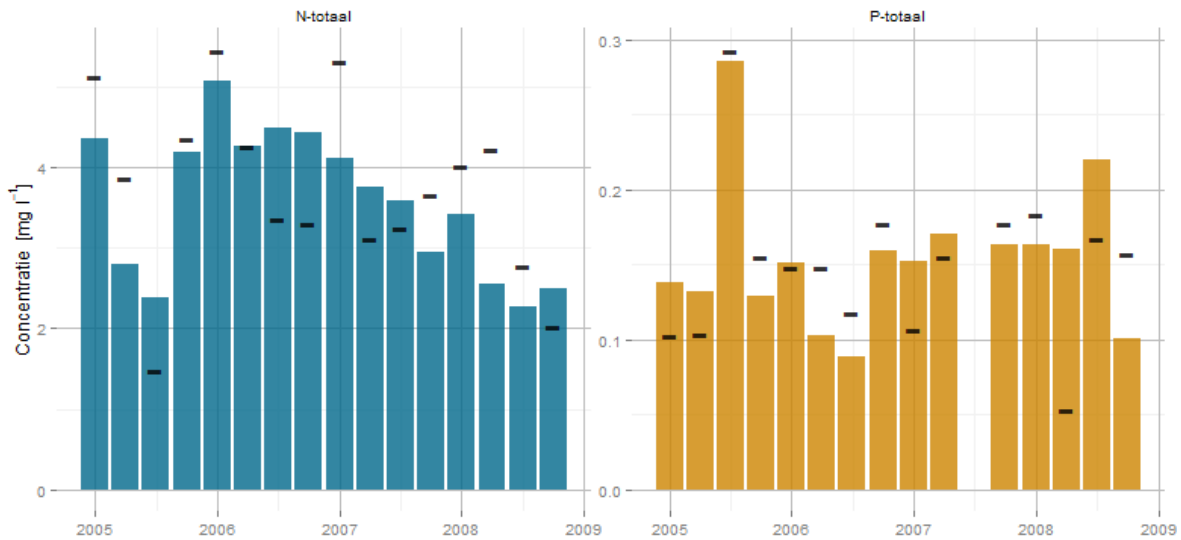
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11: Modelprestaties voor Maas (log-schaal)

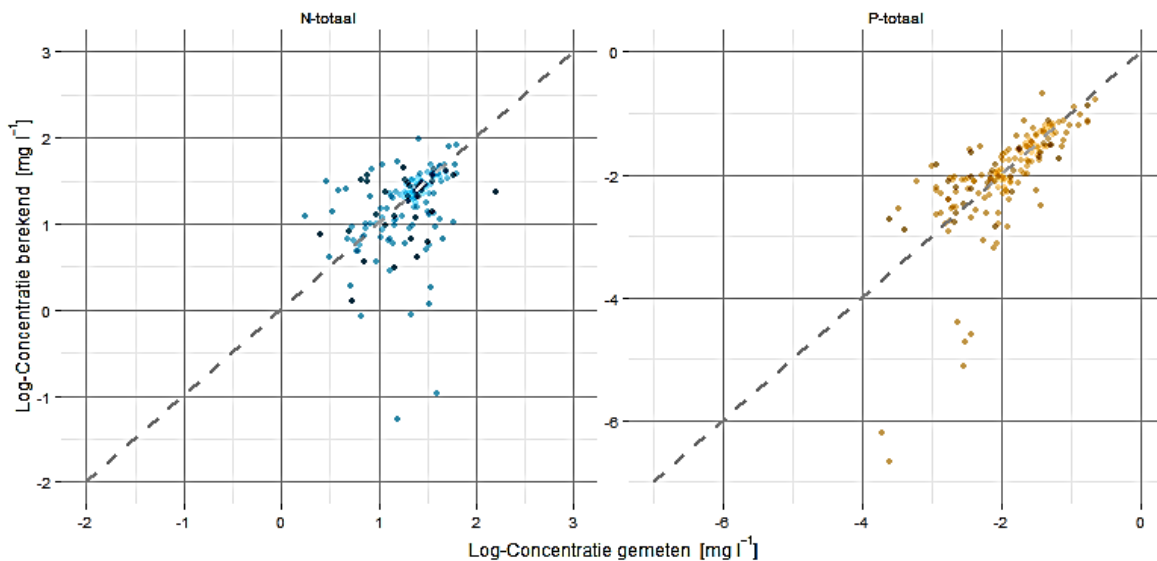
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.10, V: 0.10) | 0.39 | 0.23 | 0.12 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.41 | 0.33 | 0.44 |
| - Systematische fout | 0.43 | 0.09 | 0.04 |
| - Willekeurige fout | 0.33 | 0.23 | 0.13 |
| - Totale fout | 0.52 | 0.24 | 0.13 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.45 | 0.27 | 0.25 |
| - Modefficiëntie | -4.21 | -1.39 | -0.26 |
| - Bandbreedte | 0.61 | 0.78 | 0.72 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.35, V: 0.41) | 1.20 | 0.75 | 0.23 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.74 | 0.71 | 0.79 |
| - Systematische fout | 0.52 | 0.08 | -0.10 |
| - Willekeurige fout | 0.59 | 0.37 | 0.15 |
| - Totale fout | 0.86 | 0.38 | 0.16 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.60 | 0.36 | 0.30 |
| - Modefficiëntie | -1.46 | -0.09 | 0.60 |
| - Bandbreedte | 0.63 | 0.82 | 0.79 |



Figuur 9: Kwartaal gemiddelde nutriëntconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 10: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 11: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.4.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een redelijke verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van 61% naar 78% binnen de bandbreedte (en 72% voor de validatieset).

P-totaal laat hier zelfs een iets grotere verbetering zien: van 63% naar 82% binnen de bandbreedte (en 79% voor de validatieset).

De modefficiëntie verbetert ook maar blijft met -1.39 voor N-totaal en P-totaal -0.09 (te) laag.

Het verloop van de kwartaal-gemiddelde N-totaal concentraties wordt matig gereproduceerd voor zowel de kalibratie-dataset als de validatie-dataset. Voor P-totaal volgen de modeluitkomsten echter de variaties in de gemeten waarden redelijk goed, vooral voor de kalibratie-dataset.

4.5 Rijn

4.5.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Rijn is gebaseerd op de bandbreedte-methode. Zie Tabel 12 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 12: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor Rijn.

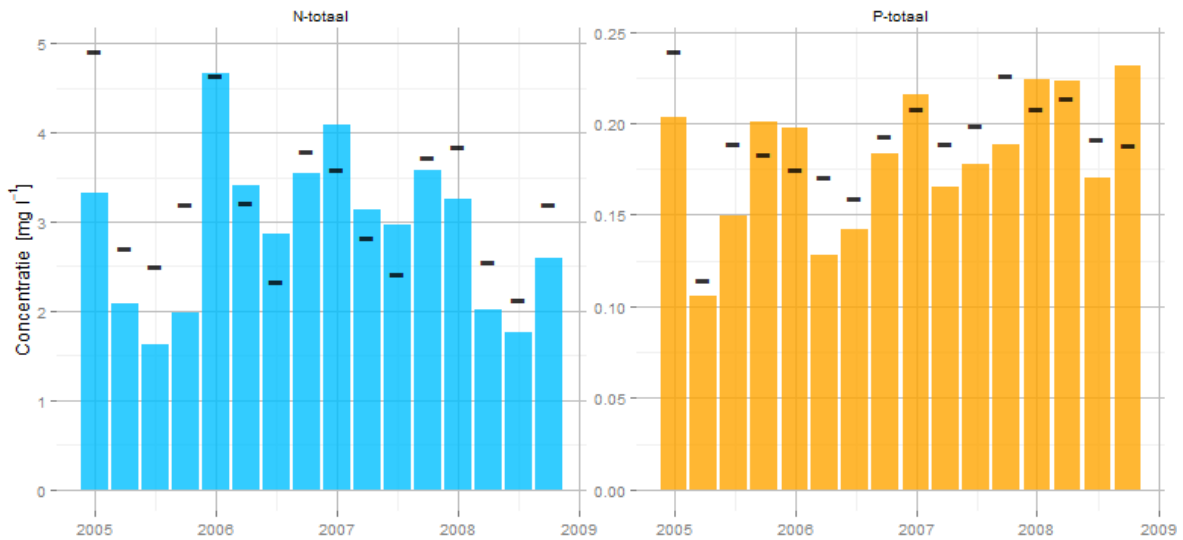
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0233 | 0.000 | 0.040 | 0.010 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.039 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0539 | 0.000 | 0.100 | 0.050 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.027 |

4.5.2 Modelprestaties

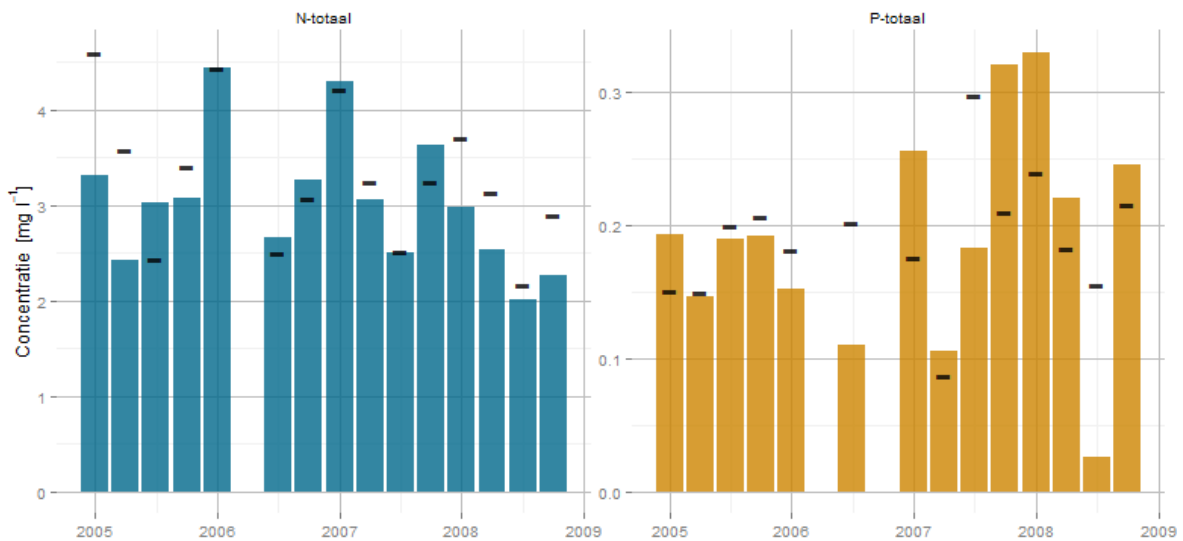
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Modelprestaties voor Rijn (log-schaal)

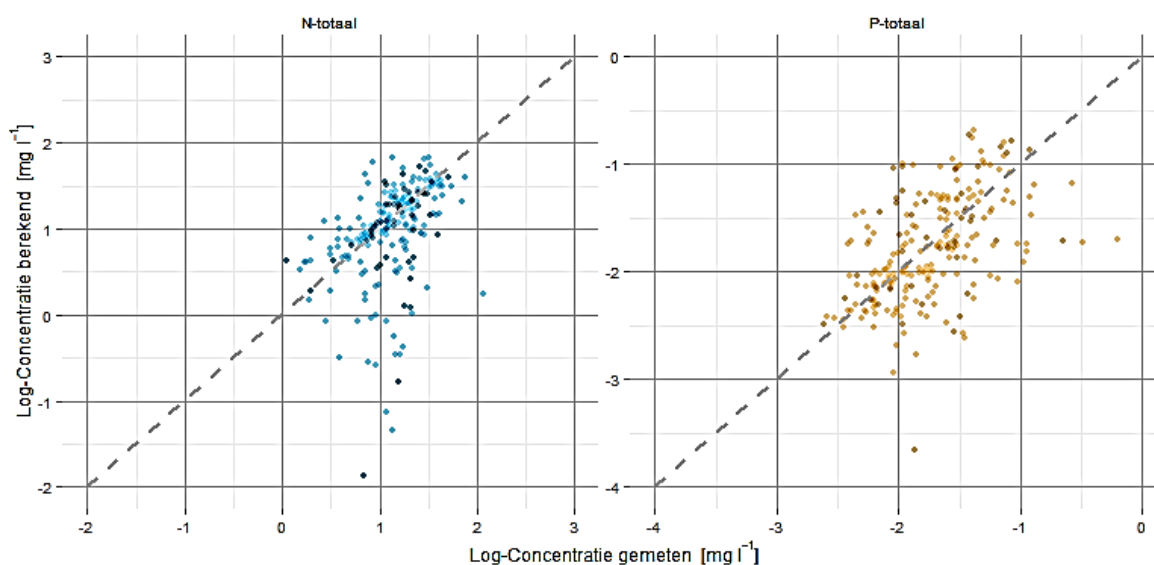
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.12, V: 0.09) | 0.28 | 0.31 | 0.34 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.61 | 0.39 | 0.38 |
| - Systematische fout | 0.30 | 0.15 | 0.15 |
| - Willekeurige fout | 0.18 | 0.28 | 0.30 |
| - Totale fout | 0.26 | 0.30 | 0.32 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.35 | 0.34 | 0.30 |
| - Modefficiëntie | -1.17 | -1.50 | -2.78 |
| - Bandbreedte | 0.63 | 0.67 | 0.77 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.18, V: 0.16) | 0.23 | 0.22 | 0.32 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.47 | 0.53 | 0.45 |
| - Systematische fout | 0.27 | 0.06 | -0.01 |
| - Willekeurige fout | 0.22 | 0.19 | 0.27 |
| - Totale fout | 0.29 | 0.19 | 0.27 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.39 | 0.33 | 0.38 |
| - Modefficiëntie | -0.60 | -0.07 | -0.74 |
| - Bandbreedte | 0.69 | 0.78 | 0.75 |



Figuur 12: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 13: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 14: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.5.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert maar een beperkte verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van 63% naar 67% binnen de bandbreedte (en 77% voor de validatieset).

P-totaal laat hier een wat grotere verbetering zien: van 69% naar 78% binnen de bandbreedte (en 75% voor de validatieset).

De modefficiëntie verbetert ook maar blijft met -1.50 voor N-totaal en P-totaal -0.07 (te laag).

Het verloop van de kwartaal-gemiddelde N-totaal concentraties wordt matig gereproduceerd voor zowel de kalibratie-dataset als de validatie-dataset. Hetzelfde geldt voor P-totaal.

4.6 IJssel

4.6.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor IJssel is gebaseerd op de modefficiëntie. Zie Tabel 14 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 14: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor IJssel.

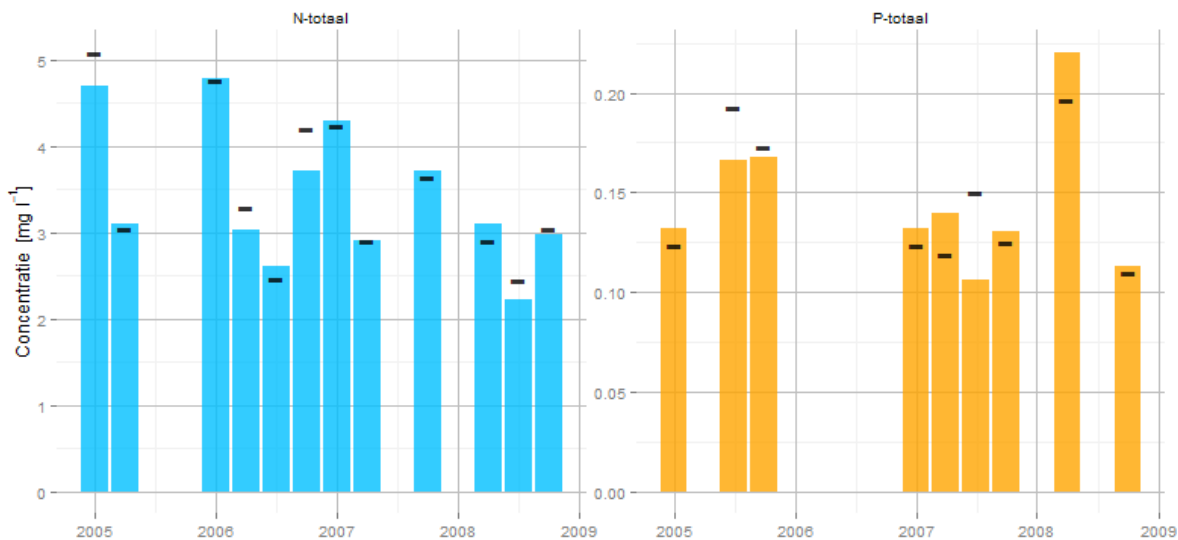
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0340 | 0.000 | 0.060 | 0.0002 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.092 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0786 | 0.000 | 0.150 | 0.045 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.001 |

4.6.2 Modelprestaties

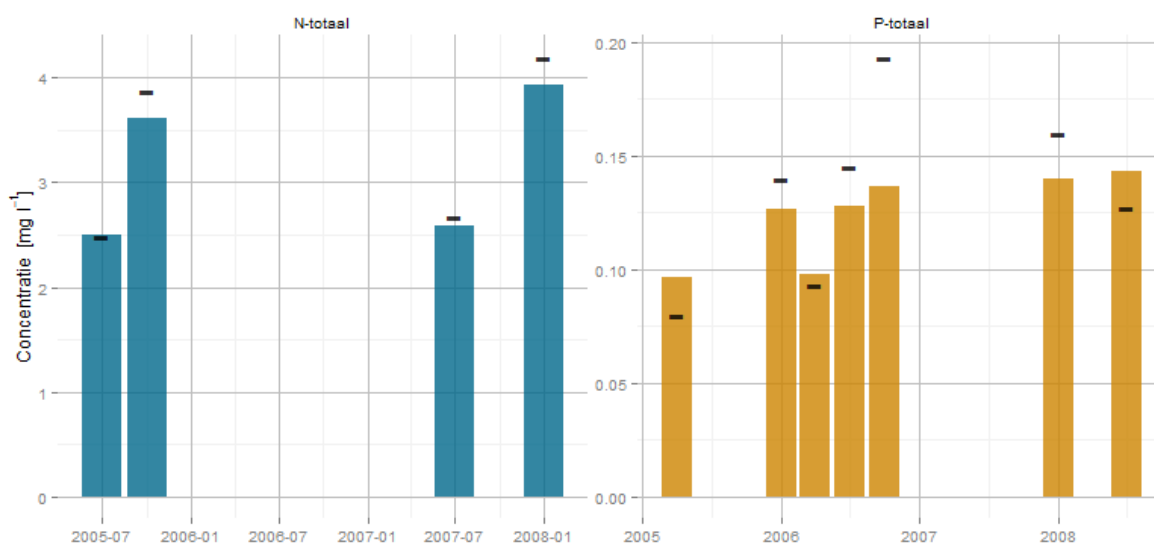
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Modelprestaties voor IJssel (log-schaal)

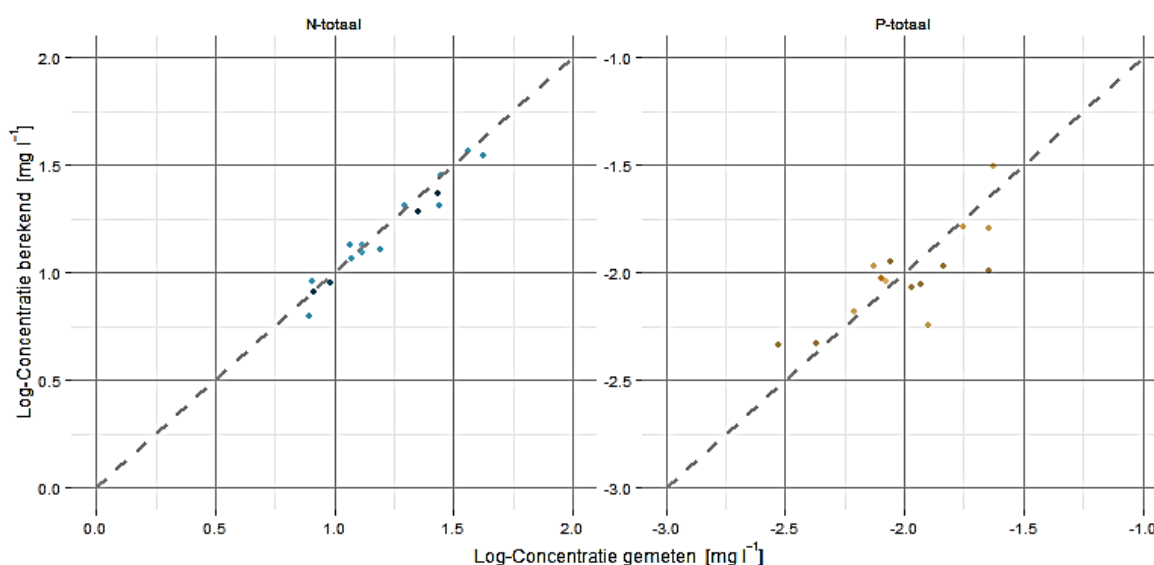
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.05, V: 0.05) | 0.04 | 0.05 | 0.04 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.97 | 0.97 | 1.00 |
| - Systematische fout | 0.17 | 0.02 | 0.04 |
| - Willekeurige fout | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| - Totale fout | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.17 | 0.05 | 0.04 |
| - Modefficiëntie | 0.44 | 0.93 | 0.95 |
| - Bandbreedte | 0.90 | 1.00 | 1.00 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.04, V: 0.08) | 0.05 | 0.05 | 0.02 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.77 | 0.76 | 0.87 |
| - Systematische fout | 0.14 | 0.00 | 0.05 |
| - Willekeurige fout | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| - Totale fout | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.15 | 0.11 | 0.15 |
| - Modefficiëntie | 0.08 | 0.50 | 0.61 |
| - Bandbreedte | 0.93 | 1.00 | 1.00 |



Figuur 15: Kwartaal gemiddelde nutriëntconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 16: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 17: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.6.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een duidelijke verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van een modefficiëntie van 0.44 naar 0.94 (en 0.95 voor de validatie-dataset). Ook P-totaal laat hier een duidelijke verbetering zien: van een modefficiëntie van 0.08 naar 0.50 (en 0.61 voor de validatie-dataset).

De bandbreedte-cijfers zijn in alle gevallen hoog. Dit wordt echter veroorzaakt door het feit dat de bandbreedtes niet zijn afgestemd op de hogere nauwkeurigheid van de modelresultaten voor de IJssel.

Het verloop van de kwartaal-gemiddelde N-totaal concentraties wordt ook goed gereproduceerd voor zowel de kalibratie dataset als de validatie dataset. Het verloop van de kwartaal-gemiddelde P-totaal concentraties wordt eveneens goed gereproduceerd voor de kalibratie dataset; voor de validatie dataset is dat minder.

De relatief goede prestaties voor de IJssel kunnen verklaard worden door het feit dat de concentraties in de IJssel sterk bepaald worden door de Rijn bovenstrooms van het splitsingspunt met de IJssel. Voor de gemeten concentraties in de IJssel betekent dit dat deze sterk gecorreleerd zullen zijn met de gemeten concentraties in de Rijn bij Lobith. En voor de gemodelleerde concentraties zal hetzelfde gelden. Samen met het feit dat de gemodelleerde en gemeten bij Lobith gelijk zijn - Lobith is een randvoorwaarde van het model met concentraties gebaseerd op metingen - betekent dit dat een goede correlatie te verwachten is tussen gemodelleerde en gemeten concentraties in de IJssel, en dus een goed kalibratie- en validatieresultaat.

4.7 Randmeren-Oost

4.7.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Randmeren-Oost is gebaseerd op de modefficiëntie. Zie Tabel 16 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 16: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor Randmeren-Oost.

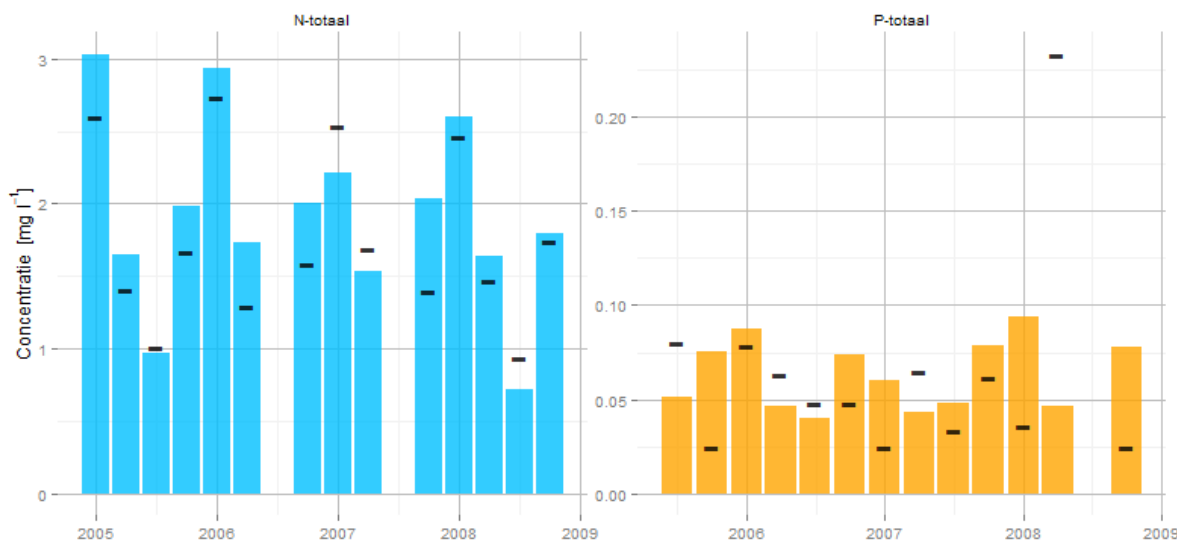
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.00384 | 0.000 | 0.060 | 0.017 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.025 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.000544 | 0.000 | 0.040 | 0.023 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.001 |

4.7.2 Modelprestaties

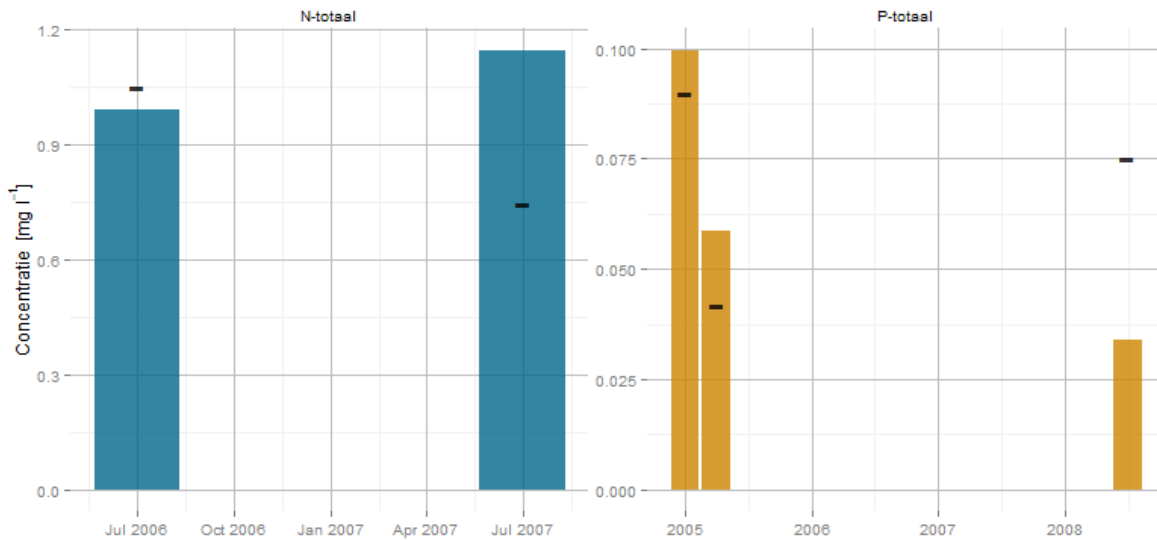
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17: Modelprestaties voor Randmeren-Oost (Log-schaal)

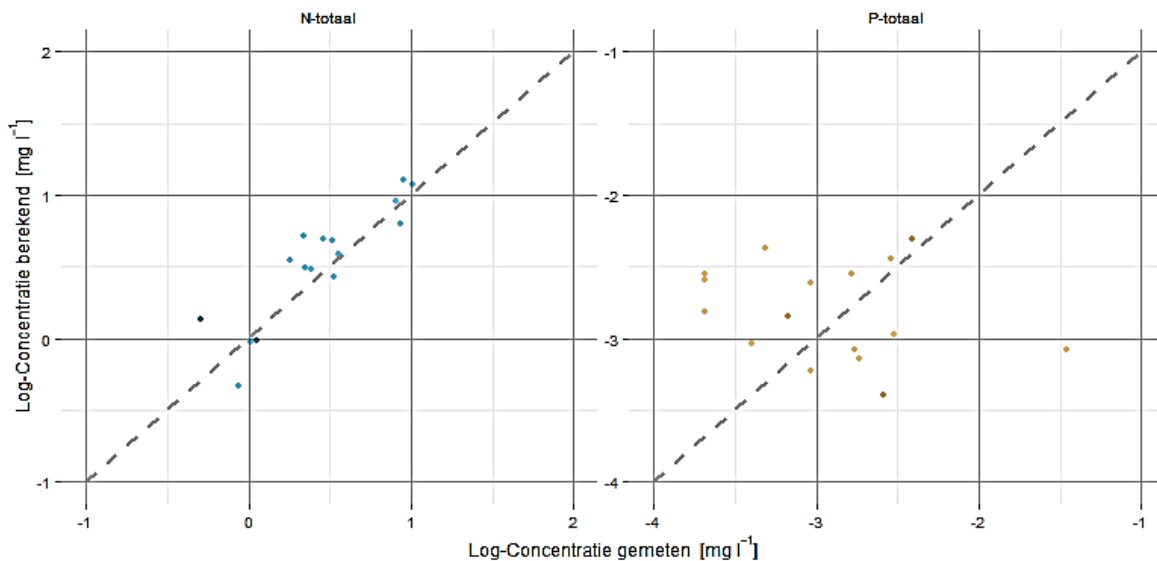
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.11, V: 0.03) | 0.07 | 0.14 | 0.01 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.90 | 0.90 | -1.00 |
| - Systematische fout | -0.21 | -0.08 | -0.18 |
| - Willekeurige fout | 0.02 | 0.03 | 0.06 |
| - Totale fout | 0.06 | 0.03 | 0.09 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.21 | 0.16 | 0.24 |
| - Modefficiëntie | 0.41 | 0.68 | -2.19 |
| - Bandbreedte | 0.69 | 0.82 | 0.69 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.36, V: 0.11) | 0.04 | 0.08 | 0.20 |
| - Correlatiecoëfficiënt | -0.54 | -0.36 | 0.22 |
| - Systematische fout | -1.00 | -0.17 | 0.12 |
| - Willekeurige fout | 0.52 | 0.56 | 0.24 |
| - Totale fout | 1.52 | 0.59 | 0.25 |
| - Gemiddelde absolute fout | 1.13 | 0.63 | 0.41 |
| - Modefficiëntie | -3.24 | -0.64 | -1.35 |
| - Bandbreedte | 0.18 | 0.46 | 0.78 |



Figuur 18: Kwartaal gemiddelde nutriëntconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 19: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 20: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.7.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een beperkte verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van een modefficiëntie van 0.41 naar 0.68. Ook P-totaal laat hier een verbetering zien: van een modefficiëntie van -3.24 naar -0.64, maar is dus nog steeds negatief.

De kwartaal-gemiddelde N-totaal concentraties worden redelijk gereproduceerd voor de kalibratie-dataset, voor de kwartaal-gemiddelde P-totaal concentraties is dat minder goed.

De validatieresultaten vallen voor zowel voor N-totaal en P-totaal slecht uit als we afgaan op de modefficiëntie (-2.19 voor N-totaal en -1.35 voor P-totaal), maar deze resultaten zijn zeer onbetrouwbaar gegeven de zeer kleine validatie sets: 2 kwartaal-gemiddelde concentraties voor N-totaal en 3 kwartaal-gemiddelde concentraties voor P-totaal.

4.8 Markermeer

4.8.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor Markermeer is gebaseerd op de modefficiëntie. Zie Tabel 18 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 18: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor Markermeer.

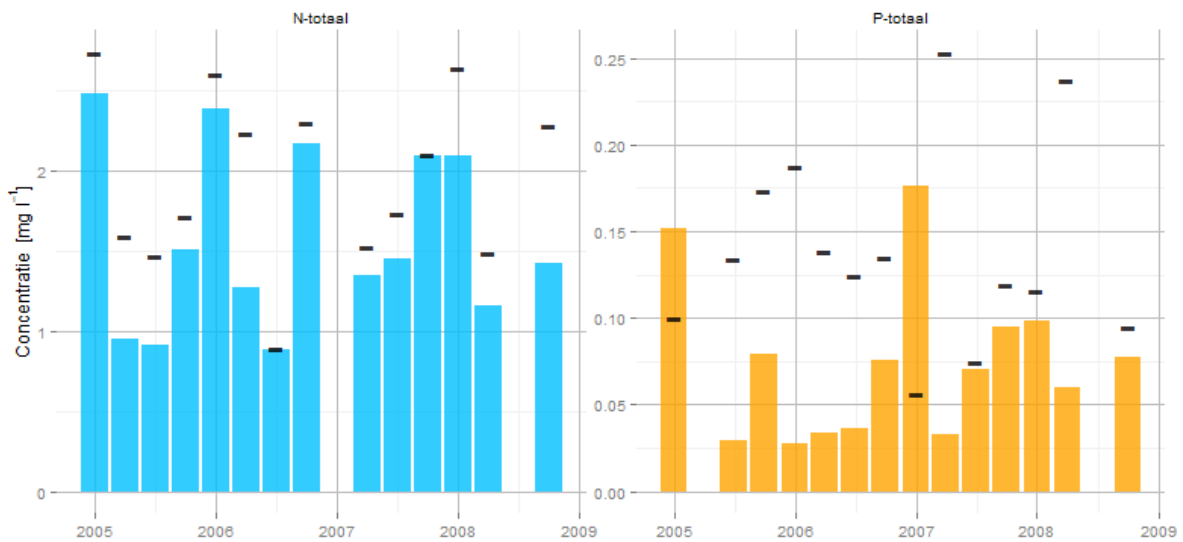
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.000719 | 0.000 | 0.020 | 0.0001 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.047 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.000102 | 0.000 | 0.002 | 0.000007 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.071 |

4.8.2 Modelprestaties

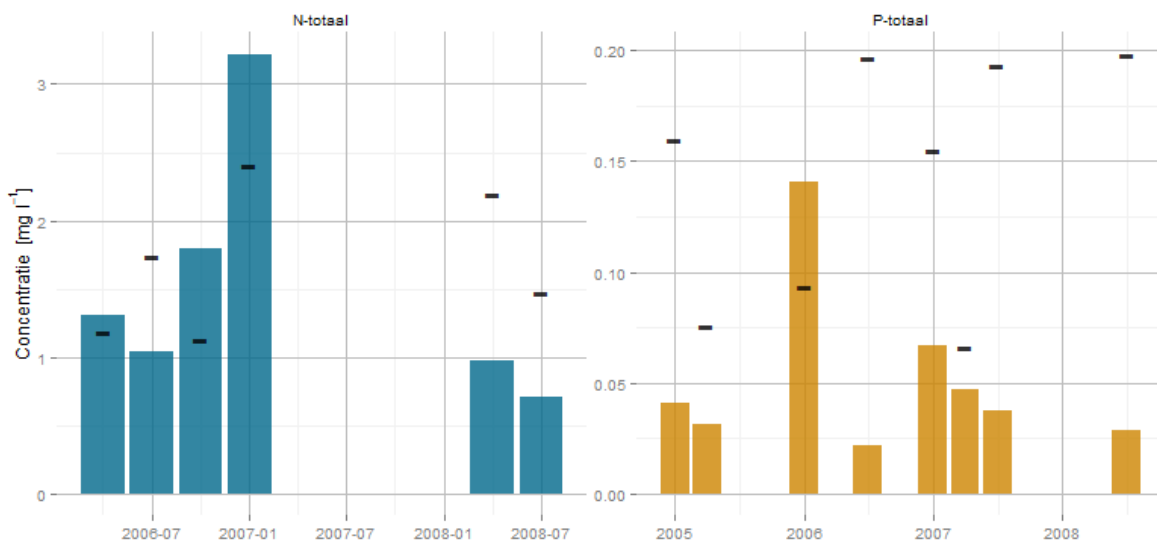
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19: Modelprestaties voor Markermeer (log-schaal)

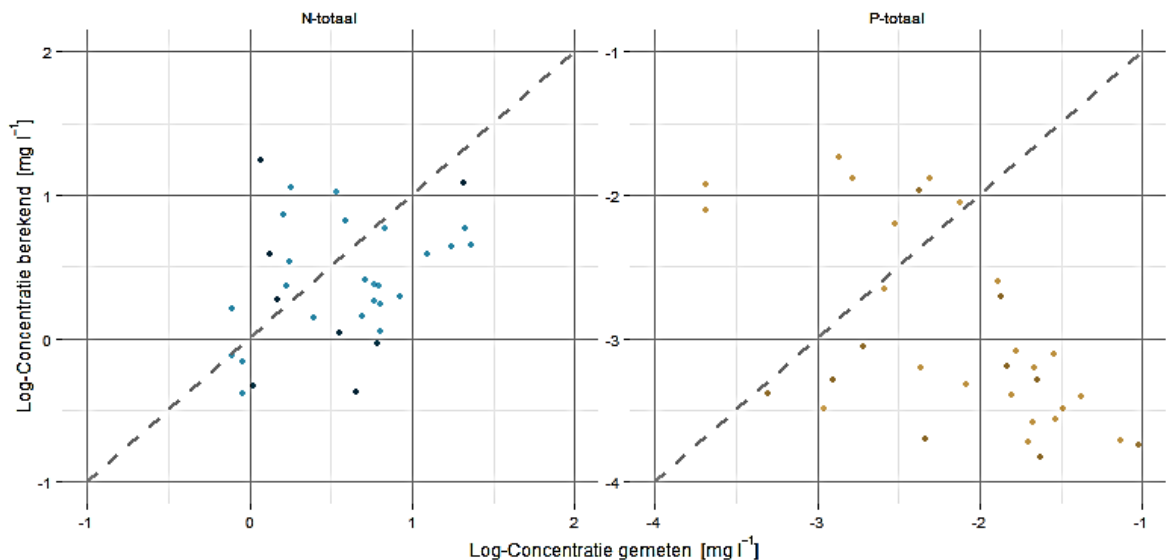
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.19, V: 0.18) | 0.69 | 0.13 | 0.33 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.90 | 0.41 | 0.11 |
| - Systematische fout | 0.49 | 0.18 | 0.15 |
| - Willekeurige fout | 0.23 | 0.19 | 0.45 |
| - Totale fout | 0.47 | 0.23 | 0.47 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.51 | 0.42 | 0.59 |
| - Modefficiëntie | -1.47 | -0.19 | -1.64 |
| - Bandbreedte | 0.48 | 0.44 | 0.32 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.48, V: 0.43) | 0.39 | 0.46 | 0.28 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.41 | -0.71 | -0.24 |
| - Systematische fout | 0.17 | 0.72 | 1.05 |
| - Willekeurige fout | 0.52 | 1.61 | 0.87 |
| - Totale fout | 0.55 | 2.13 | 1.98 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.58 | 1.28 | 1.13 |
| - Modefficiëntie | -0.14 | -3.42 | -3.62 |
| - Bandbreedte | 0.60 | 0.21 | 0.30 |



Figuur 21: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 22: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 23: Kwartaal gemiddelde nutriëntconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.8.3 Conclusies

De kalibratie voor N-totaal levert een verbetering op vergeleken met de standaard instellingen: van een modefficiëntie van -1.47 naar -0.19, maar is dus nog steeds negatief. De modefficiëntie voor de validatie komt met -1.64 zelfs lager uit. De kalibratie voor P-totaal laat een resultaat zien dat slechter is dan voor de Ausgangssituatie met een modefficiëntie die daalt van -0.14 naar -3.42 voor de kalibratie en -3.62 voor de validatie. Ook volgens het breedte-criterium daalt de modelprestatie duidelijk door kalibratie: van 60% naar 21% voor de kalibratie en 30% voor de validatie.

Figuur 21 laat verder zien dat de gemodelleerde waarden systematisch te laag uitkomen. Dit is ook te zien aan de hoge waarden voor de systematische fout overeenkomend met modeluitkomsten die gemiddeld voor N-totaal en factor 1.2 en voor P-totaal en factor 2 te laag zijn.

Dit kan een gevolg zijn van de gebruikte sequentiële wijze van kalibreren, beginnend bij Hoog-Nederland en eindigend aan het eind van de afvoerketen, waarbij het Markermeer dicht bij dit einde zit met aanvoer vanuit het IJsselmeer en de Randmeren en afvoer naar de Noordzee via het Noordzeekanaal. Wanneer de voorgaande kalibraties (en het gebruik van de standaard coëfficiënten voor het IJsselmeer) leiden tot concentraties in water dat afvoert naar het Markermeer, die beneden de gemeten concentraties in het Markermeer leiden, kan dit door de kalibratie niet meer gecompenseerd worden gegeven het feit dat bij de kalibratie niet met negatieve afbraakcoëfficiënten wordt gewerkt. Het beste wat de kalibratie dan nog kan opleveren is een afbraakcoëfficiënt van 0. Dit verklaart ook waarom de best-fit afbraakcoëfficiënten zeer dicht bij 0 liggen.

Conclusie is dan ook dat de gevonden best-fit afbraakcoëfficiënten voor het Markermeer niet bruikbaar zijn.

4.9 IJsselmeer

4.9.1 Parameterinstellingen

De keuze van de 'best fit' voor IJsselmeer is gebaseerd op de modefficiëntie. Zie Tabel 20 voor de parameterinstellingen van de finale kalibratierun.

Tabel 20: Parameterinstellingen voor de finale kalibratierun voor IJsselmeer.

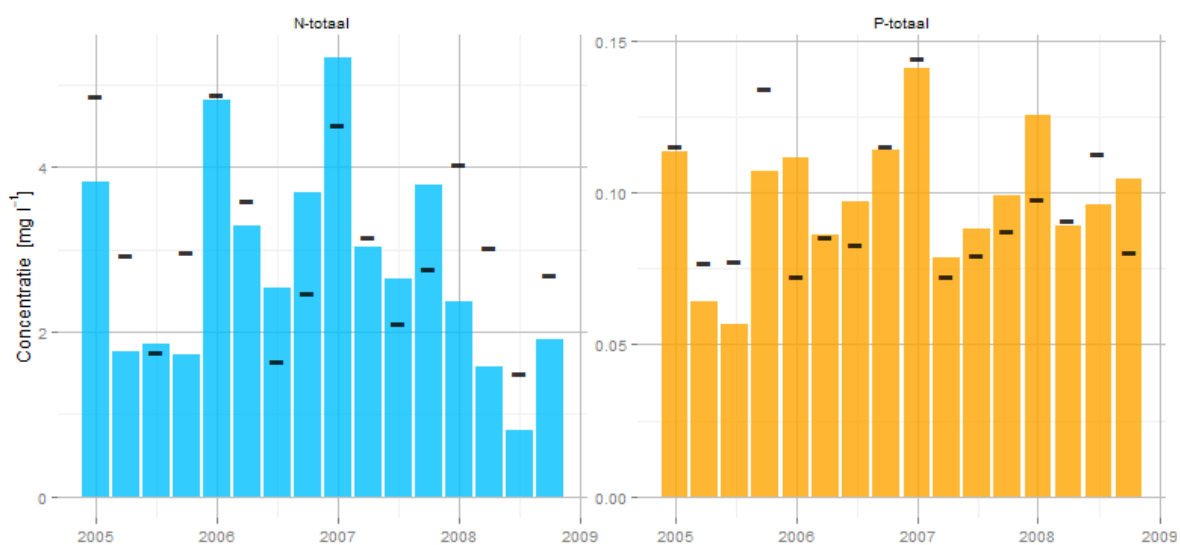
| Parameter | Standaard | Range | | Best-fit |
|-------------------------|-----------|-------|---------|----------|
| | | Min | Max | |
| N-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.0024 | 0.000 | 0.00004 | 0.00002 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.100 |
| P-totaal | | | | |
| Afbraakconstante | 0.00034 | 0.000 | 0.020 | 0.016 |
| Temperatuur-coëfficiënt | 1.047 | 1.000 | 1.100 | 1.011 |

4.9.2 Modelprestaties

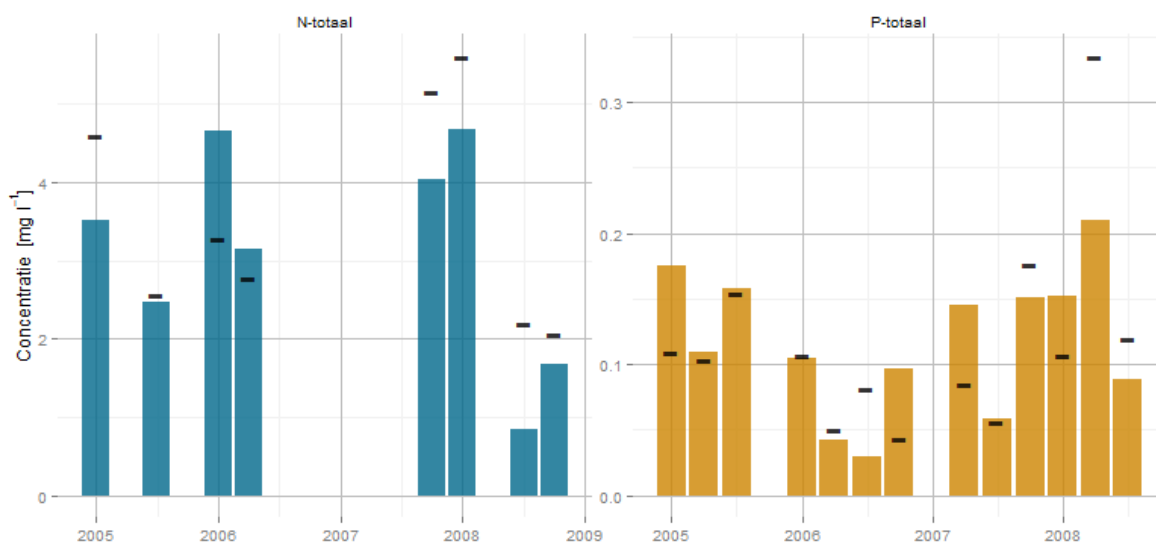
De modelprestaties voor de best fit zijn weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21: Modelprestaties voor IJsselmeer (log-schaal)

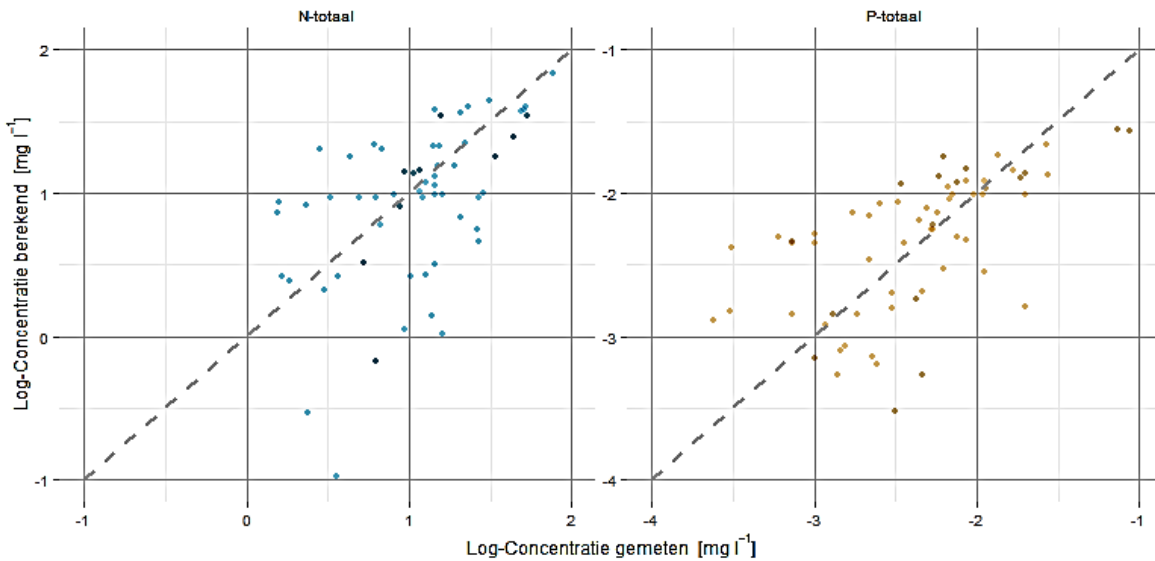
| Foutmodel | Standaard | Kalibratie | Validatie |
|--------------------------------|-----------|------------|-----------|
| N-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.18, V: 0.11) | 0.12 | 0.31 | 0.25 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.83 | 0.49 | 0.73 |
| - Systematische fout | 0.23 | 0.10 | 0.12 |
| - Willekeurige fout | 0.06 | 0.26 | 0.12 |
| - Totale fout | 0.11 | 0.27 | 0.13 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.28 | 0.39 | 0.26 |
| - Modefficiëntie | 0.40 | -0.48 | -0.17 |
| - Bandbreedte | 0.65 | 0.62 | 0.72 |
| P-totaal | | | |
| - Variantie (K: 0.26, V: 0.31) | 0.03 | 0.18 | 0.36 |
| - Correlatiecoëfficiënt | 0.30 | 0.57 | 0.66 |
| - Systematische fout | -0.26 | -0.08 | 0.06 |
| - Willekeurige fout | 0.24 | 0.19 | 0.23 |
| - Totale fout | 0.31 | 0.20 | 0.23 |
| - Gemiddelde absolute fout | 0.42 | 0.34 | 0.38 |
| - Modefficiëntie | -0.17 | 0.24 | 0.25 |
| - Bandbreedte | 0.68 | 0.76 | 0.72 |



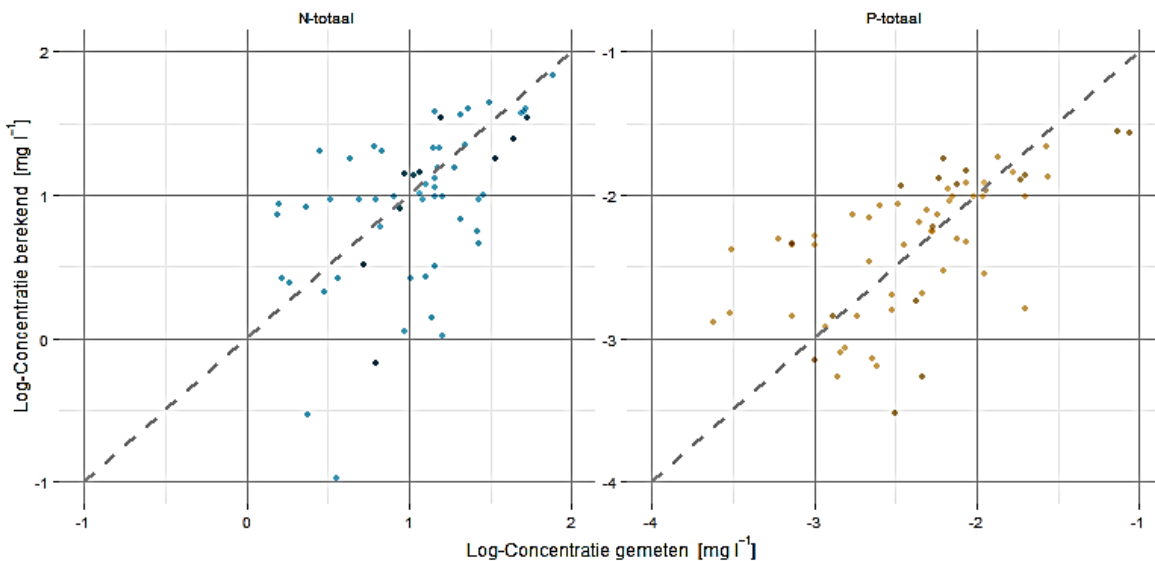
Figuur 24: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van kalibratie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 25: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van validatie-dataset, berekend versus gemeten. Met in het blauw N-totaal, in oranje P-totaal en in het zwart de waarneming.



Figuur 26: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).



Figuur 26: Kwartaal gemiddelde nutriëntenconcentraties op basis van de totale dataset, berekend versus gemeten (scatter). Met links N-totaal en rechts P-totaal (lichte kleuren betreffen de kalibratie-dataset en de donkere kleuren betreffen de validatie-dataset).

4.9.3 Conclusies

Hier laat de kalibratie voor N-totaal tot een lagere modefficiëntie dan in de referentiesituatie met een daling van 0.40 naar -0.48 (-0.17 voor de validatie), overigens zonder dat er veel aan het resultaat voor de bandbreedte-methode verandert (van 65% naar 62%, met 72% voor de validatie).

P-totaal laat wel een verbetering door de kalibratie zien: van -0.17 voor de modefficiëntie naar 0.24 (en 0.25 voor de validatie), gekoppeld aan een verbetering volgens de bandbreedte-methode (van 68% naar 76%, en 72% voor de validatie).

Het slechte resultaat voor N-totaal gaat gepaard met een relatief hoge systematische fout in de gekalibreerde modelresultaten, overeenkomend met gemodelleerde concentraties die 10% te laag zijn. Samen met de zeer lage gekalibreerde afbraakconstante, duidt dit op het zelfde probleem als geconstateerd bij het Markermeer, gerelateerd aan de sequentiële wijze van kalibreren. Conclusie is dan ook dat de best-fit retentieparameters voor N-totaal niet bruikbaar zijn.

4.10 Samenvatting kalibratieresultaten

In tabel 22 zijn de kalibratieresultaten samengevat, waarbij de resultaten van de drie kalibraties die tot een relatief hoge systematische fout leidden in de gekalibreerde modelresultaten, oranje zijn gemaakt.

Tabel 22: Samenvatting van de kalibratieresultaten

| Categorie | N-totaal | | P-totaal | |
|----------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| | Afbraakconst. | Temp.coëff. | Afbraakconst. | Temp.coëff. |
| Regionale wateren Hoog-Nederland | 0.020 | 1.001 | 0.060 | 1.012 |
| Regionale wateren Laag-Nederland | 0.006 | 1.002 | 0.008 | 1.020 |
| Maas | 0.006 | 1.002 | 0.008 | 1.019 |
| Rijn | 0.010 | 1.039 | 0.050 | 1.027 |
| IJssel | 0.0002 | 1.092 | 0.045 | 1.001 |
| Randmeren-Oost | 0.017 | 1.025 | 0.023 | 1.001 |
| Markermeer | 0.0001 | 1.047 | 0.000007 | 1.071 |
| IJsselmeer | 0.00002 | 1.100 | 0.016 | 1.011 |

Wat opvalt in de tabel is dat ook de afbraakconstante van N-totaal voor de IJssel zeer laag is. Ook dit verschijnsel zou gerelateerd kunnen zijn aan het probleem van de sequentiële opzet van de kalibratie. De systematische fout voor deze kalibratie is weliswaar laag (0.02), maar niet relatief gezien ten opzichte van de toevallige fout (afgerond 0.00). Dit kan duiden op een te hoge afbraakconstante van N-totaal voor Hoog-Nederland, waardoor de gemodelleerde N-totaal concentraties van het instromend water vanuit Hoog-Nederland naar de IJssel te laag uitvallen, hetgeen dan door de kalibratie gecompenseerd wordt door een (te) lage afbraakcoëfficiënt voor de IJssel.

In tabel 23 is een vergelijking gemaakt van de standaard afbraakcoëfficiënten met de afbraakcoëfficiënten na kalibratie.

Tabel 23: Vergelijking afbraakcoëfficiënten

| Categorie | N-totaal | | P-totaal | |
|----------------------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | Standaard | Na kalibratie | Standaard | Na kalibratie |
| Regionale wateren Hoog-Nederland | 0.195 | 0.020 | 0.150 | 0.060 |
| Regionale wateren Laag-Nederland | 0.020 | 0.006 | 0.020 | 0.008 |
| Maas | 0.012 | 0.006 | 0.027 | 0.008 |
| Rijn | 0.023 | 0.010 | 0.054 | 0.050 |
| IJssel | 0.034 | - | 0.079 | 0.045 |
| Randmeren-Oost | 0.0038 | 0.0170 | 0.0005 | 0.0230 |
| Markermeer | 0.0007 | - | 0.0001 | - |
| IJsselmeer | 0.0024 | - | 0.0003 | 0.016 |

De tabel laat grote verschillen zien tussen de tot nu toe gebruikte waarden en de waarden als resultaat van de kalibratie. Er zit wel enige systematiek in deze verschillen. Alle afbraakcoëfficiënten voor de regionale wateren en de grote rivieren zijn na kalibratie lager dan de standaard waarden, al is dat voor P-totaal bij de Rijn maar weinig lager. Dit terwijl de afbraakcoëfficiënten voor de grote meren na kalibratie allen veel hoger zijn dan de standaard waarden. Een verklaring voor deze meest grote verschillen is niet direct aan te wijzen.

Conclusies en aanbevelingen

Modelefficiëntie en model onvolkomenheden

De modelefficiëntie is maar beperkt toepasbaar gebleken als optimalisatiecriterium bij de kalibratie van de huidige versie van het LKM. Kalibratie van het retentieproces door middel van de afbraakconstante en de temperatuurcoëfficiënt aan de hand van dit optimaliseringscriterium blijkt niet goed mogelijk te zijn als gevolg van model onvolkomenheden. Extreem lage en hoge berekende concentraties van N-totaal en P-totaal zorgen ervoor dat de modelefficiëntie over het algemeen negatief is. Ten einde kalibratie van de retentieparameters mogelijk te maken met een optimalisatiecriterium als de modelefficiëntie is het aanpakken van deze modelonvolkomenheden van essentieel belang.

Om meer greep op deze model onvolkomenheden te krijgen, is het aan te bevelen een nadere analyse en validatie uit te voeren van de gebruikte afvoeren. Het modelleren van stofstromen via het watersysteem valt of staat immers met een goede hydrologische basis. In dit kalibratieonderzoek zijn de afvoeren als een gegeven (uit LHM en LSM) beschouwd en kan met de kalibratie van afbraakconstanten en de temperatuurcoëfficiënten mogelijk goede resultaten zijn geboekt met foutief berekende afvoeren ('being right for the wrong reasons').

Alternatief optimalisatiecriterium

Als oplossing voor het omgaan met de model onvolkomenheden is voor een deel van de kalibraties gekozen voor een alternatief optimalisatiecriterium, dat minder gevoelig is voor extreme waarden in de modelresultaten en minder reageert op artefacten in de kalibratiedata (in dit geval het afkappen van extreem hoge en extreem lage concentraties). Het effect van de toepassing van een dergelijk criterium is dat de kalibratie in feite geen oplossing probeert te vinden voor deze extremen - deze dienen immers geminimaliseerd te worden door het aanpakken van model onvolkomenheden - maar probeert voor de overige situaties een zo'n goed mogelijke fit te vinden.

Dit alternatieve optimalisatiecriterium is het 'bandbreedte' criterium geworden, dat gebruikt is voor de kalibraties waarvoor relatief veel meetdata beschikbaar was.

Aan het bandbreedte criterium kleven echter ook bezwaren. Zo is het geen continue functie van de modelparameters, een wenselijke eigenschap van een optimalisatiecriterium, en het is ook een enigszins subjectief en bewerkelijk criterium, met parameters die bij iedere kalibratie opnieuw moeten worden ingesteld.

Voor het aanpakken van de model onvolkomenheden is echter nog een lange weg te gaan, mede doordat een deel van de problemen in de aanleverende modellen (LHM, LSM, STONE) zal moeten worden opgelost. Tot die tijd is het van belang om over een robuust optimalisatiecriterium te beschikken. Het gebruikte bandbreedte criterium is dat dus nog niet. Aanbevolen wordt dan ook om bij volgende kalibraties een variant op het bandbreedte criterium te handteren, gebaseerd op percentiel-waarden.

Bruikbaarheid kalibratieresultaten

De kalibratie heeft voor een deel geresulteerd in zeer lage afbraakcoëfficiënten, gecombineerd met (relatief) hoge systematische fouten in de gekalibreerde modelresultaten, wat erop duidt dat de toegepaste sequentiële wijze van kalibreren, beginnend bij Hoog-Nederland en eindigend aan het eind van de afvoerketen, niet goed heeft gewerkt.

Samen met de meestal grote, en niet direct verklaarbare verschillen tussen de gekalibreerde en de standaard waarden voor de overige afbraakcoëfficiënten, is de conclusie dat het kalibratieresultaat nog onvoldoende betrouwbaar is om de tot nu toe gebruikte retentieparameters te vervangen.

Opzet van de kalibratie

De sequentiële opzet van de kalibratie lijkt dus niet goed gewerkt te hebben. De precieze oorzaak van dit falen is in het kader van dit onderzoek niet nader onderzocht. Bij een vervolg op dit kalibratieonderzoek zal de algemene opzet van de kalibratie dan ook een belangrijk punt van aandacht moeten zijn.

Categorisering van het retentiegedrag

De parameterwaarden van de afbraakconstante en de temperatuurcoëfficiënt zijn per categorie (Hoog-Nederland, Laag-Nederland en enkele grote wateren) gekalibreerd. Binnen een enkele categorie kan er nog steeds sprake zijn van een aanzienlijke variatie, zoals snel versus langzaam stromende beken. Dit zal naar verwachting ook invloed hebben op de retentieprocessen. Aanbevolen wordt om de retentiecoëfficiënten meer gedifferentieerd, en zo mogelijk per KRW-type vast te stellen.

Referenties

- Tukey, John W., 1977, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company Reading.
- Walvoort, D.J.J., J. Roelsma en T.P. Leenders, 2009, *Validatie van modelsystemen voor het voorspellen van de oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit in het stroomgebied 'de Drentse Aa'; Fases 1,2 en 3*, Alterra.
- Roovaart, Joost van den, Erwin Meijers, Robert Smit, Peter Cleij, Frank van Gaalen en Stefan Witteveen, 2012, *Landelijke pilot KRW-Verkenner 2.0: Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit*, Deltares, PBL en Alterra, Deltares-rapport 1205716-000.
- Meijers, Erwin en Stefan Witteveen, 2013, *Gebbruikershandleiding KRW-Verkenner / WFDEplorer 2.0.0*, Deltares-rapport 1205958-002.
- Cleij, Peter, Erwin Meijers en Robert Smit, 2014, *Update Landelijk KRW-Verkenner Model: Resultaten van een aantal verbeteringen van het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM)*, Deltares en Alterra, Deltares-rapport 1208780-000.
- Duijnhoven, N. van, Klein, J., Rozemeijer, J. en Loos, S., 2015, *Toestand- en trendanalyse voor nutriënten op KRW-meetlocaties*.