



Roel Knobben, Royal Haskoning

Niels Evers, Royal Haskoning

Jasper Jansen, Royal Haskoning

Willem Ligtvoet, Planbureau voor de Leefomgeving (voorheen MNP)

# Kunstmatig neurale netwerk ingezet voor ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water

**Speciaal voor de ex ante evaluatie KRW heeft Royal Haskoning een nieuw ecologisch kennisysteem ontwikkeld. Dit systeem is gebruikt om de ecologische effecten van de geplande KRW-maatregelen voor de regionale wateren te voorspellen. Varianten van maatregelen zijn doorgerekend en beoordeeld op hun effect voor de kwaliteitselementen algen, waterplanten en fyto-benthos, macrofauna en vis. De varianten bestonden uit de regionale, vooral hydromorfologische maatregelen met daarbovenop verschillende opties voor nutriëntreductie. Dit artikel spitst zich vooral toe op de ontwikkeling en werking van het kennisysteem.**

Recent heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (voorheen MNP) een ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water (KRW) uitgevoerd. Elders in dit blad zijn de achtergronden en resultaten hiervan uiteengezet (zie pagina 4 t/m 7). Daarin is verkend op welke wijze de KRW geïmplementeerd wordt en met welke maatregelen de waterbeheerders de waterkwaliteit willen gaan verbeteren.

Een onmisbare pijler van die studie bestond uit het voorspellen van de ecologische effecten van KRW-maatregelen om de volgende vragen te kunnen beantwoorden: Wat kunnen we verwachten van alle maatregelen die in de gebiedsprocessen zijn benoemd? Hoe verhouden deze zich tot de effecten van generieke maatregelen en halen we de doelen daar inderdaad mee?

Een snelle verkenning leerde dat dit met bestaand instrumentarium, met name de KRW-Verkenner, op de gegeven termijn en de landelijke schaal niet mogelijk zou zijn. Daarom is gekozen voor de ontwikkeling van een nieuw kennisysteem. De keuze is daarbij gevallen op het gebruik van een kunstmatig neurale netwerk, vanwege het specifieke kenmerk dat niet alle dosis-effectrelaties en interrelaties tussen maatregelen kwantitatief bekend hoeven te zijn. Voor de KRW-Verkenner is juist wel geprobeerd zoveel mogelijk kennisregels te kwantificeren. Een neurale netwerk zoekt zelf patronen en relaties op binnen de leerset

die eerder aan het netwerk aangeboden is. Voor dit specifieke doel en het werkkerrein van de ecologie is dit in Nederland de eerste toepassing.

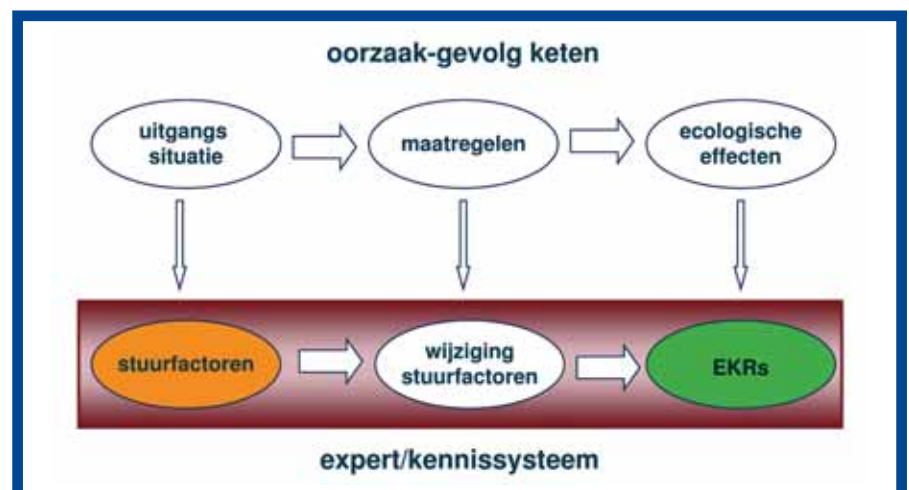
## Werkingsprincipe

In het eerste schema is het doel van het kennisysteem afgebeeld, namelijk het verband leggen tussen een begin- en een eindtoestand van de waterkwaliteit (na ingrepen of maatregelen) i.c. de ecologische effecten van die ingrepen. De drie stappen zijn vertaald in respectievelijk de waarden van een set stuurfactoren, de verandering van deze waarden als gevolg van een

maatregel en de ecologische toestand. Deze laatste is uitgedrukt als ecologische kwaliteitsratio (EKR), een getal tussen 0 en 1 waarbij 0 de slechtst mogelijke en 1 de best mogelijke of referentietoestand is.

De toepassing van een kunstmatig neurale netwerk kent vervolgens twee stappen: training van het netwerk en de daadwerkelijke toepassing. Voor het trainen van het netwerk dient een dataset aangeboden te worden met bekende invoer en bijbehorende uitvoer. Met elke nieuw aangeboden regel uit de dataset leert het netwerk het verband tussen de invoer en uitvoer en stelt

Afb. 1: Schema 1 - Basisprincipe van het kennisysteem.



het reeds 'geleerde' verband weer bij. Dit is geïllustreerd in het tweede schema.

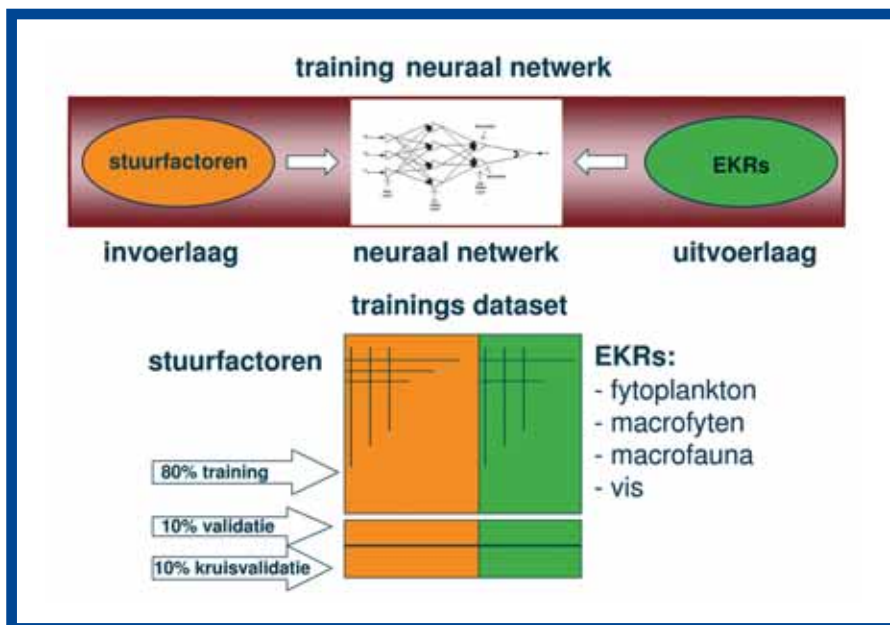
In dit geval bestaat de invoer uit de abiotische milieuomstandigheden ofwel de belangrijkste stuurfactoren die de ecologische toestand van het oppervlaktewater bepalen. De uitvoerkant bestaat uit de ecologische kwaliteitsratio van het oppervlaktewater, of meer precies het biologische kwaliteitselement bij die combinatie van stuurfactoren. De leerset is zo opgebouwd dat voor elke stuurfactor een zo groot mogelijk waardenbereik gedekt wordt of - in het geval van geclassificeerde factoren - elke klasse voorkomt. Bij het samenstellen van de leerset is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande situaties in het veld: kennelijk is de ecologische toestand bij die waarden van stuurfactoren mogelijk. In sommige gevallen waar een deel van de kwaliteitsgradiënt ontbreekt of de ecologische kwaliteitsratio ontbreken zijn deze met expertinschattingen aangevuld. Dit geldt bijvoorbeeld voor waterplanten, waar nog vrijwel geen opnamen volgens de juiste KRW-methodiek beschikbaar waren. Ook zijn van sommige meetpunten de gegevens van meerdere jaren meegenomen als daarin een gradiënt in de nutriëntgehalten aanwezig was of een inrichtingsmaatregel had plaatsgevonden.

De toepassing van het getrainde netwerk staat in het derde schema. Elke maatregel per waterlichaam is vertaald naar een nieuwe waardenset voor de betreffende stuurfactoren. Er is geen alternatief maatregelenpakket doorgerekend. Wel is een groot aantal varianten doorgerekend. Dit betrof voornamelijk varianten in het landelijke mestbeleid en inrichtingsmaatregelen bovenop het maatregelenpakket dat door Rijkswaterstaat en de waterschappen is ontwikkeld. Die maatregelen omvatten vooral hydromorfologische en onderhoudsmaatregelen die de waterbeheerders afgewogen en gekozen hebben in de gebiedsprocessen.

### Toepassing en keuzes

Het kennisysteem heeft zich beperkt tot de (zoete) regionale wateren. Daarin zijn de watertypen geclusterd tot de natuurlijke typen beken en meren en de kunstmatige sloten en kanalen. Binnen deze vier clusters zijn de gegevens voor de betreffende typen in de leerset samengenomen. De ecologische toestand is uitgedrukt als ecologische kwaliteitsratio. Voor natuurlijke wateren is de EKR van de goede ecologische toestand (de KRW-doelstelling) 0,6 op de natuurlijke maatlaten. Voor kunstmatige wateren zijn de defaultmaatlaten gebruikt, waarbij de ecologische kwaliteitsratio van het goede ecologische potentieel eveneens op 0,6 ligt.

Alle regionale oppervlaktewaterlichamen binnen bovenstaande clusters waarvoor maatregelen gedefinieerd waren (ruwweg de helft), zijn van het KRW-portaal betrokken voor de analyse. De waarde van de stuurfactoren is per waterlichaam opgezocht in de Limnodata Neerlandica, via Google Earth, in MEP/GEP-rapportages of bij de waterbeheerder opgevraagd. De regionale maatregelen zijn afkomstig uit de

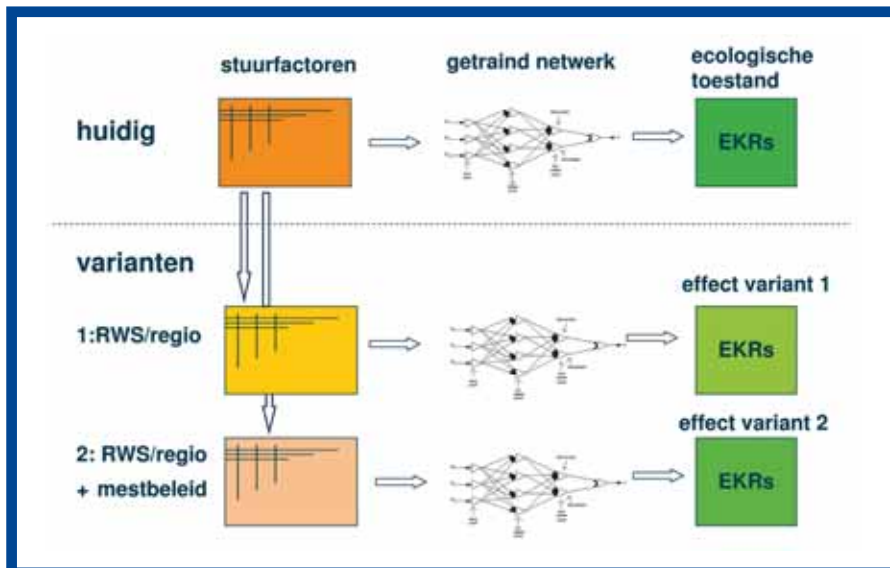


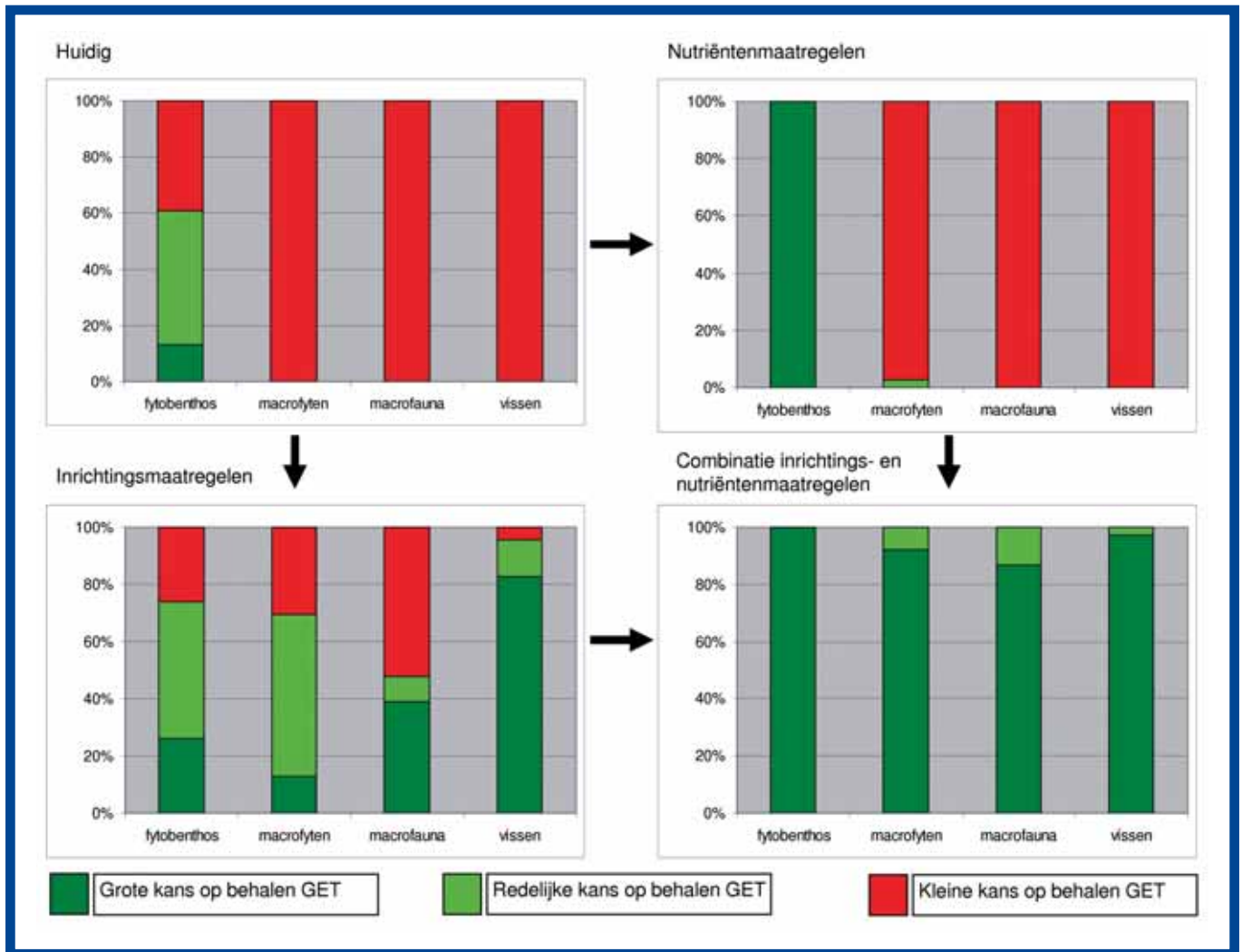
Afb. 2: Schema 2 - De training van het neuraal netwerk gebeurt met een dataset met bekende combinaties van invoer (stuurfactoren) en uitvoer (ecologische kwaliteitsratio). Dit zijn doorgaans werkelijke situaties in het veld.

### Stuurfactoren per watertypecluster.

| cluster       | watertypen   | stuurfactor                                      | eenheid/aantal klassen                                |
|---------------|--|--|---|
| alle clusters | -  | totaal-fosfor<br>totaal-stikstof                 | mg P/l (zomergemiddelde)<br>mg N/l (zomergemiddelde)  |
| beken         | R3, R4, R5, R6,<br>R9, R11, R12,<br>R13, R14, R15,<br>R17, R18 | meandering<br>verstuwung<br>beschaduwung<br>BZV5 | 5<br>3<br>3<br>mg O <sub>2</sub> /l (zomergemiddelde) |
| meren         | M11, M14, M20, M21,<br>M22, M25 en M27                         | oeverinrichtung<br>peildynamiék                  | 3<br>3  |
| sloten        | M1a/b, M2 en M8  | oeverinrichtung<br>peildynamiék                  | 3<br>3  |
| kanalen       | M3, M4, M6a/b,<br>M7a/b, M10                                   | onderhoud  | 2   |

Afb. 3: Schema 3 - Toepassing van het kennisysteem. De uitvoer van verschillende maatregelenvarianten wordt vergeleken met de uitvoer bij de huidige waarden van stuurfactoren.





Afb. 4: Verwacht doelbereik voor beken met of zonder inrichting op GET-niveau en met of zonder nutriëntconcentraties op GET-niveau. (Rond het GET (0,6) is een spreiding van EKR 0,1 (0,55-0,65) genomen waarbinnen er een redelijke kans op het behalen van het GET is. Boven deze waarden is de kans op behalen van het GET groot en er onder is de kans klein.)

landelijke databank, die in het kader van het DGW-project 'Afrondende harmonisatie' was opgebouwd. De nutriëntgehalten in de huidige toestand zijn hoofdzakelijk afkomstig uit de Limnodata Neerlandica en de gehalten na maatregelen in verschillende varianten zijn afkomstig van het modelinstrument Waterplanner van het Planbureau voor de Leefomgeving. De Waterplanner is onder meer gevoed met het landelijke model STONE. Voor elke maatregel is per waterlichaam de nieuwe waarde van de hydromorfologische stuurfactoren berekend of ingeschat. Voor elke maatregelvariant kon vervolgens met het getrainde netwerk de nieuwe waarde van de EKR berekend worden voor alle kwaliteitselementen en waterlichamen.

#### Kwantificering/omvang maatregelen

Voor een goede inschatting van het effect van een maatregel is ook de omvang van belang: hoeveel kilometer natuurvriendelijke oever wordt aangelegd of beter langs welk deel van de totale lengte van het waterlichaam? Een probleem hierbij was dat op dat moment niet elke maatregel even nauwkeurig gekwantificeerd was in de landelijke databank. Daarom is gewerkt met twee niveaus waarmee de bandbreedte duidelijk werd: het effect naar rato van de

opgegeven omvang van de maatregel (waar deze gekwantificeerd beschikbaar was) en het potentiële effect als ware de omvang 100 procent van het waterlichaam.

#### Proces

Het gebruik van een kunstmatig neurale netwerk voor de vraagstelling was innovatief, niet eerder gedaan en dus risicovol. Gezien het belang van de resultaten van de ex ante evaluatie was draagvlak voor de aanpak onmisbaar. Om die reden is in een aantal workshops met ecologische experts, statistici en biometrici gediscussieerd over de methodiek. Ook is met de groep van professor Goethals van de Universiteit van Gent de aanpak, de opbouw van de leerset en de plausibiliteit van de resultaten doorgesproken. Deze groep heeft eerder gepubliceerd over het gebruik van neurale netwerken voor het voorspellen van de aanwezigheid van macrofaunasoorten in beken<sup>3,4</sup>. Ten slotte heeft het Planbureau voor de Leefomgeving parallel met een zogeheten regressieboomanalyse de verschillende leersets doorgerekend<sup>5</sup>. Deze analyses ondersteunden de voorspellende waarde van de netwerken. Al met al is het vertrouwen in de methodiek geleidelijk gegroeid en heeft via dit proces tot acceptatie geleid.

#### Enkele resultaten

Een uitgebreide beschrijving van de achtergronden en resultaten van de berekeningen staat in het achtergronddocument van de ex ante evaluatie<sup>2</sup> en in het hoofdrapport<sup>1</sup>. Ter illustratie is het onderscheid zichtbaar gemaakt tussen de effecten van de inrichting van watersystemen en nutriëntgehalten als bepalende factoren voor de kwaliteit van ecosystemen. Voor beken leiden de geplande inrichtingsmaatregelen in het maatregel-pakket tot een substantiële kwaliteitswinst. Dit uit zich in een toename in absolute zin van ecologische kwaliteitsratio. Naast deze winst is het interessant te kijken naar de mate waarin aan het ecologische doel wordt bereikt. Als uit de beschikbare dataset voor beken verschillende situaties worden geselecteerd, wordt het belang voor het verwachte doelbereik (op de natuurlijke maatlat met GET als doel) zichtbaar van zowel een maximale inrichtingsinspanning als een verdergaande vermindering van de nutriëntbelasting (zie afbeelding 4).

In afbeelding 4 geeft 'huidig' het doelbereik over de soortgroepen van de niet meanderende beken in combinatie met een onvoldoende waterkwaliteit: in enkele beken voldoet alleen het fyto benthos doordat hier de nutriëntconcentraties de

norm benaderen. De grafiek 'nutriëntmaatregelen' geeft het verwachte doelbereik in de niet-meanderende beken met de fosfor en stikstofconcentraties op GET-niveau. Het doelbereik van het fyto-benthos is toegenomen. Verder reageren alleen de macrofyten enigszins. De grafiek 'inrichtingsmaatregelen' geeft het verwachte doelbereik voor beken met een volwaardige meandering, oeverbegroeiing en visbaarheid maar met een onvoldoende waterkwaliteit: het doelbereik neemt fors toe voor alle soortgroepen. De grafiek 'combinatie inrichtings- en nutriëntenmaatregelen' geeft het verwachte doelbereik voor de beken uit situaties met inrichtingsmaatregelen, maar nu met nutriënten op GET-niveau: het doelbereik van deze beken is vrijwel maximaal, ook voor macrofauna en vissen.

### **Conclusies en perspectief**

Het voert te ver om in dit artikel alle resultaten en conclusies van de ex ante voor het voetlicht te brengen. Van belang is dat het kennisstelsel naar tevredenheid heeft gefunctioneerd voor de beoogde toepassing

en dat dit perspectieven biedt voor verdere ontwikkeling en toepassing. Natuurlijk zijn nog verbeteringen en verdere ontwikkelingen mogelijk. Voor regionaal gebruik kan het gewenst zijn op het niveau van watertypen te werken in plaats van clusters. Ook ontbreken bijvoorbeeld de brakke wateren. Daarnaast blijkt dat het kennisstelsel het hysteresis-effect bij afnemende nutriëntenbelasting met de huidige set stuurfactoren in meren nog niet goed kan onderscheiden. De belangrijkste verbetering van de trainingsset zou zich moeten richten op de meest recente KRW-monitoringsgegevens. Ook de resultaten van gerichte monitoring van herstelingsrepen zullen een heel goede aanvulling van het kennisstelsel zijn. Het voordeel van het stelsel is dat uitbreiding met stuurfactoren relatief eenvoudig is ten opzichte van een (deterministisch) rekenmodel. Het vergt slechts een uitbreiding van de leersset en hernieuwd trainen. De komende tijd wordt onderzocht of en zo ja op welke wijze de inzet van neurale netwerken aan de verdere ontwikkeling van de KRW Verkenner bij kan dragen.

### LITERATUUR

- 1) Planbureau voor de Leefomgeving (2008). Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water.
- 2) Knoben R., C. Evers en J. Jansen (2008). Ontwikkeling en toepassing ecologisch expertsysteem voor regionale wateren. Achtergronddocument ex ante Evaluatie KRW. Royal Haskoning 959605.
- 3) Dedecker A., P. Goethals, W. Gabriels en N. de Pauw (2004). Optimization of Artificial Neural Network (ANN) model design for prediction of macroinvertebrates in the Zwalm river basin (Flanders, Belgium). Ecol. Modelling nr. 174, pag. 161-173.
- 4) Goethals P., A. Dedecker, W. Gabriels, S. Lek en N. de Pauw (2007). Application of artificial neural networks predicting, acroinvertebrates in freshwaters. Aquat. Ecol. nr. 41, pag. 491-508.
- 5) Planbureau voor de Leefomgeving (2008). Stuurfactoren voor de ecologische kwaliteit van regionaal oppervlaktewater. Een statistische analyse met regressiebomen. Rapport 500140 002/2008.