

# DEL057 - Linking ESF's

## Bayesian Belief Networks: nieuw veelbelovend gereedschap voor watersysteemanalyses

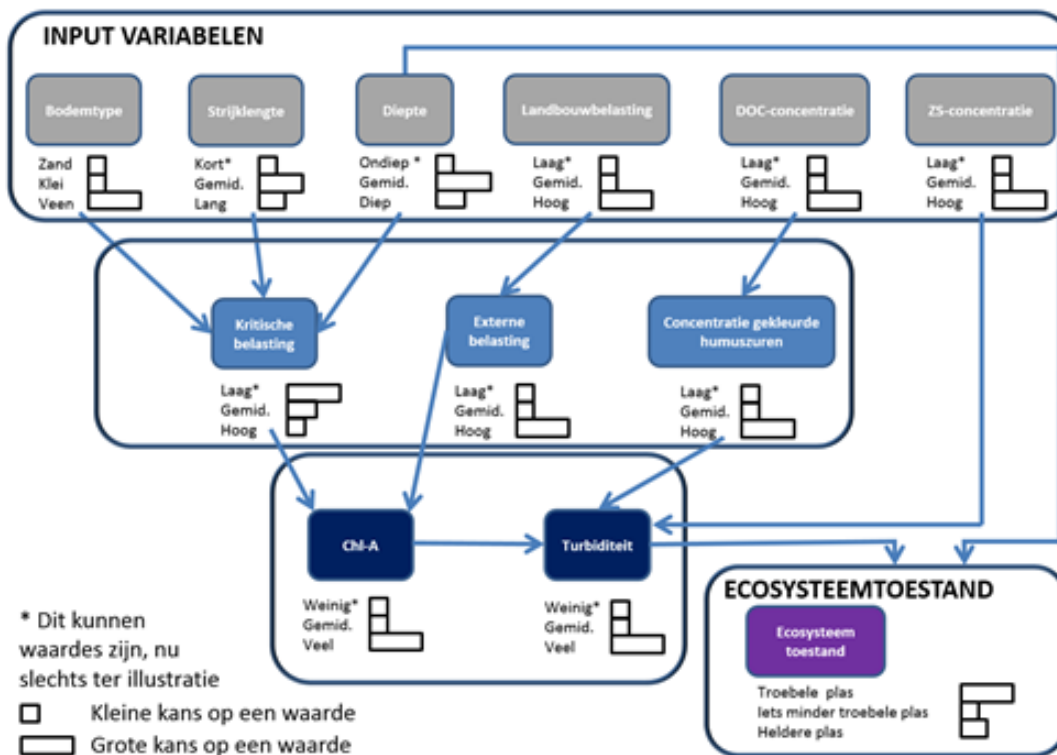
De afgelopen jaren heeft STOWA veel tijd gestoken in de ontwikkeling van Ecologische Sleutelfactoren (ESF). Dit instrumentarium geeft inzicht in de relaties tussen systeemkenmerken en de ecologische toestand van wateren. Voorbeelden van sleutelfactoren in stilstaande wateren zijn "Productiviteit", "Licht", "Bodem" en "Habitatgeschiktheid". Het idee is dat de ESF's zoveel mogelijk onafhankelijk van elkaar een deel van het ecologisch functioneren van een watersysteem belichten. In de praktijk is dit natuurlijk niet zo, en zijn er vele interacties tussen milieufactoren. Voor een goed systeembegrip is het essentieel om deze interacties inzichtelijk te maken, omdat de ecologische toestand uiteindelijk wordt bepaald door het samenspel van alle factoren gezamenlijk. Tot dusver ontbreekt een instrument dat deze samenhang in beeld brengt.

In het project "Linking ESF's" is door een consortium van Deltares, NIOO en Witteveen+Bos een diagnostisch instrumentarium ontwikkeld dat de samenhang tussen de verschillende sleutelfactoren in beeld brengt en kwantificeert. Hierbij is gebruik gemaakt van een specifieke statistische techniek, namelijk "Bayesian Belief Network" (BBN). Dit instrument stelt de gebruiker in staat om in één visueel beeld te zien wat het effect is van een aanpassing van een bepaalde milieufactor (bijvoorbeeld waterdiepte) op verschillende andere milieufactoren en ESF's. Uitgebreidere kennis over deze relaties geeft waterbeheerders meer inzicht in het functioneren van hun watersystemen, en daarmee krijgen waterbeheerders verbeterde handvatten voor de uiteindelijke keuze van maatregelen en doelen.

### Wat is een BBN?

Een BBN bestaat uit een schema van causale relaties tussen milieufactoren (knopen), die door middel van pijlen (processen) met elkaar zijn verbonden. In onderstaande figuur staat een voorbeeld van een BBN.

### Voorbeeld van een deel van een BBN



Een belangrijke eigenschap van BBN's is dat de rekenmethode gebaseerd is op kansverdelingen. Het gebruik van kansverdelingen heeft verschillende voordelen. Door het gebruik van kansverdelingen biedt het gebruikers inzicht in de 'hardheid' van de relaties. Bovendien worden de kansen en onzekerheden in de berekening meegenomen, waardoor de effecten op (tussen)resultaten en de uiteindelijke uitkomsten inzichtelijk zijn. Bovendien is de methode zo flexibel, dat verschillende typen 'kennis' in de rekenregels kunnen worden opgenomen. De rekenregels kunnen namelijk niet alleen op meetdata gebaseerd zijn, maar ook op expert kennis of uitkomsten van (meta)modellen.

### Voordelen van BBN's

Een van de grote voordelen van een BBN is de heldere en eenduidige presentatie van de resultaten. Hiermee geeft de rekenmethodiek inzicht in (on) zekerheden van relaties en de effecten hiervan op zowel alle tussenresultaten als het eindresultaat. Hierdoor is de causale redeneerlijn van het BBN-model voor elke eindgebruiker inzichtelijk en transparant.

Het systeembegrip kan verder vergroot worden door de BBN-uitkomsten te vergelijken met resultaten van veldmetingen. Als de resultaten van de BBN niet conform de verwachtingen zijn, is dit een indicatie dat de rekenformules in het BBN-model niet goed de werkelijkheid nabootsen voor de betreffende case. Dit is dan gelijk een aanmoediging om verder 'te zoeken' en bijvoorbeeld aanvullende metingen uit te voeren voor onderdelen uit de BBN die grote onzekerheden in de uitkomsten teweeg brengen en onvoldoende gemonitord zijn, de relaties in het model kritische te evalueren en/of verdiepend onderzoek uit te voeren. Ook op deze wijze levert de BBN dus een bijdrage aan een beter systeembegrip.

Waterschappen beschikken regelmatig over onvoldoende meetdata voor een gedetailleerde systeemanalyse. BBN's kunnen dan helpen, doordat eindgebruikers zelfstandig op een gemakkelijke wijze gevoeligheidsanalyses kunnen uitvoeren. Bij deze analyses worden de waarden van de invoerparameters volgens een systematisch patroon gevarieerd. Op basis van de uitkomsten van deze analyses kan vervolgens het relatieve belang van invoerparameters en tussenliggende resultaten bepaald worden. Sommige van deze parameters zullen een grote invloed op de (tussen)uitkomsten hebben, terwijl andere er niet of nauwelijks toe doen. Dit levert waterbeheerders zeer veel inzicht op over het systeem functioneren, kan hen helpen bij het bepalen van een efficiënt en effectief monitoringsprogramma en kan helpen bij het inschatten van de (on)zekerheid rondom de effectiviteit van verschillende maatregelen.

Ten slotte biedt BBN de mogelijkheid om reeds ontwikkelde kennisregels op eenvoudige wijze te updaten met nieuwe data, inzichten of expertkennis. Hiermee wordt het systeem 'zelflerend', en is ook regionalisering van kennisregels mogelijk, bijvoorbeeld door aanpassing van een kansverdeling op basis van kennis uit het veld. Nadeel hiervan is dat de eindgebruiker zelf zeer goed moet bijhouden wat hij/zij heeft aangepast. Op dit moment is er namelijk niet een bibliotheek beschikbaar waarin dergelijke wijzigingen overzichtelijk worden bijgehouden.

#### *Nadelen van BBN's*

Naast bovenstaande voordelen zijn er ook een aantal nadelen aan BBN's. Zo kunnen alleen de meest belangrijke causale parameters worden opgenomen. Dit komt deels vanwege beperking van de rekentijd, maar ook vanwege de vereiste van een simpele, visuele weergave van de resultaten. Hierdoor is er een reële kans dat niet alle potentieel belangrijke factoren worden meegenomen.

Een ander mogelijk nadeel is dat feedbackloops niet gemodelleerd kunnen worden in een BBN. Een voorbeeld van een dergelijke feedback is het effect van de helderheid van het water op waterplanten en *vice versa*. Enerzijds stuurt de helderheid de waterplantengroei, anderzijds kunnen waterplanten zelf ook de helderheid vergroten. In onze aanpak van de BBN's hebben we dit nadeel ondervangen door gebruik te maken van metamodellen. Een metamodel is niets anders dan een grote tabel met invoerwaarden en overeenkomstige uitvoerwaarden voor een gegeven mechanistisch model. Doordat we metamodellen hebben gemaakt van mechanistische modellen (waarin dergelijke feedback loops zijn opgenomen) hebben wij dit nadeel zo goed mogelijk ondervangen. In dit project zijn metamodellen opgesteld van de ecosysteemmodellen PCLake en PCDitch.

Tot slot kunnen met BBN's alleen evenwichtssituaties worden berekend, dynamisch rekenen is dus niet mogelijk. Voor processen die sterk variëren in de tijd of ruimte moet worden teruggegrepen op andere modellen, of moet een BBN doorgerekend worden voor verschillende scenario's.

#### *Werkzaamheden in dit project*

In dit project zijn drie afzonderlijke BBN-netwerken opgebouwd in R, namelijk voor:

- (1) diepe meren;
- (2) ondiepe meren;
- (3) sloten.

In deze BBN's lag de nadruk op open water, de oever zelf zijn niet meegenomen, evenals de effecten van oevers op het open water.

De uitkomsten van de BBN-netwerken zijn getoetst aan de hand van case-studies waarvoor de benodigde data door waterbeheerders zijn aangeleverd. Hiernaast is voor het BBN-netwerk van diepe meren een gebruikersvriendelijke schil gebouwd (middels de programmeertaal RShiny), waardoor het instrument gemakkelijk toepasbaar is voor waterbeheerders.

#### **Resultaten**

Het hoofdrapport is beschikbaar via de volgende link: <https://edepot.wur.nl/475194>