

VOORWOORD

Dit verslag is het resultaat van een voorstudie van drie maanden naar de mogelijkheid om kennisgraaftechnieken toe te passen bij oecosysteemonderzoek. Het oecosysteem van het Eems estuarium is als proefobject gebruikt.

Het onderzoek is uitgevoerd door een wiskundige en een biologe. Beiden hebben een inbreng gehad vanuit hun eigen achtergrond. Het verslag moet niet gezien worden als het resultaat van een volledig afgerond onderzoek, maar van een haalbaarheidsonderzoek. Het geeft aan in welke richting het onderzoek naar de toepassing van kennisgraaftechnieken op oecosystemen zich kan ontwikkelen.

Getracht zal worden om alle nieuwe wiskundige termen en technieken op een uitgebreide manier toe te lichten. Hopelijk wordt hiermee de leesbaarheid van het verslag voor niet-wiskundigen op een positieve wijze beïnvloed.

Beide auteurs willen graag prof. Dr. E.K. Duursma bedanken voor het financieel mogelijk maken van dit onderzoek en prof. Dr. C. Hoede voor zijn adviezen. Ook gaat hun dank uit naar ir. H.J. Smit voor zijn demonstratie van het computerprogramma KISS en het doorrekenen van een kennisgraaf met dit programma.

R.G. Edens
J.G. Baretta-Bekker
augustus 1988/ augustus 1989

Verslag: Toepasbaarheid van kennisgrafen als voorstudie bij
ecosysteemmodellering

Auteurs: R.G. Edens (U.T.)
J.G. Baretta-Bekker (NIOZ)

Samenvatting:

Een aantal aspecten van het gebruik van kennisgrafen in samenhang met onderzoek aan oecosystemen zijn nader onderzocht.

Om een kennisgraaf te konstrueren over het Eems estuarium zullen teksten gekodeerd moeten kunnen worden. Als test zijn een aantal teksten betreffende afvalwaterlozingen gekodeerd en omgezet in kennisgrafen. Aan de hand hiervan is o.a. een analyse gemaakt van de typologie van de concepten, die van belang zijn bij het bouwen van een kennisgraaf op het gebied van oecosystemen (hoofdstuk 2).

Als we in staat zijn om vanuit teksten een kennisgraaf te bouwen over het Eems estuarium, kan de vraag gesteld worden of dit kwalitatieve model als basis kan dienen voor de konstruktie van een kwantitatief model (hoofdstuk 3).

Met behulp van het computerprogramma KISS is een nadere analyse gemaakt van de zwavelcyclus in het Eems estuarium. De op deze wijze ontstane doorgerekende graaf wordt in hoofdstuk 3.2 vergeleken met de kwantitatieve modellering van de zwavelcyclus in het Eems estuarium model (Baretta & Ruardij, 1988).

Naast het onderzoek naar het gebruik van kennisgrafen als voorstudie voor het maken van een kwantitatief model is er een korte literatuur studie verricht naar het gebruik van kennisgrafen bij het onderbouwen van beleidsbeslissingen. Gezien de beperkte tijdsduur is de beschrijving hiervan in hoofdstuk 4 tamelijk summier.

Abstract

The use of knowledge graphs in the context of ecosystem research has been investigated, using the results of a multidisciplinary study of the Ems estuary as knowledge base.

To construct a knowledge graph of the Ems estuary, texts dealing with the consequences of waste water discharges into the estuary have been coded and transformed into graphs. On the basis of these graphs, an analysis has been made of the typology of the concepts that are important for the building of a knowledge graph in the field of ecosystems (chapter 2).

If we are able to build a knowledge graph on the Ems Estuary out of text, we can ask ourselves the question whether such a qualitative model can be used as a basis for the construction of a quantitative model (chapter 3).

With the aid of the computer program KISS a further analysis has been made of the sulphur cycle in the Ems Estuary (chapter 3.2).

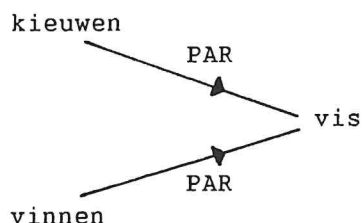
Finally, a concise literature study into the suitability of knowledge graphs as management-decision tools was performed (chapter 4).

1. KENNISGRAFEN

1.1 Inleiding

Het project "Kennisgrafen" werd opgestart in 1983 als een gezamenlijke activiteit van de Faculteit der Sociologie van de Universiteit Groningen en de Faculteit der Toegepaste Wiskunde van de Universiteit Twente. Het doel van het project is om technieken te ontwikkelen voor de konstruktie en analyse van een kennisgraaf die een wetenschappelijke theorie representeert op het gebied van de medische of sociale wetenschappen (Bakker, 1987, p. 3). In dit verslag zal gepoogd worden de genoemde toepassingsgebieden uit te breiden met de biologie.

In het Kennisgrafeprojekt wordt de kennisgraaf gebruikt als representatievorm van een kennisbestand. Een kennisgraaf is een gerichte graaf $G = (V, A)$, waarvan zowel de puntenverzameling V als de pijlverzameling A gelabeld mag zijn. De labels op de punten worden koncepten genoemd. De labels op de pijlen geven aan welke relatie er bestaat tussen twee punten. Een voorbeeld van een kennisgraaf op het gebied van de biologie zou kunnen zijn:



De relatie PAR in bovenstaand voorbeeld heeft de betekenis "is deel van" ("is part of").

Na vaststelling van het kennisdomein waarvoor een kennisbestand zal worden opgebouwd, moeten teksten betreffende het gekozen kennisdomein worden geselecteerd.

We komen dan op het gebied van de kennisacquisitie. Kennisacquisitie is het vergaren van kennis uit experts, rechtstreeks via interviews, danwel indirect uit wetenschappelijke corpora (de By, 1986, p. 12). Kennisacquisitie is een onderwerp uit de kunstmatige intelligentie en wordt veelal bestudeerd in samenhang met de ontwikkeling van expertsystemen (Kidd, 1987; Hart, 1986; van Dijk et al., 1988). In het kennisgrafeprojekt wordt kennisacquisitie verricht op basis van wetenschappelijke teksten. Hierbij zullen analytische methoden voor de bewerking van teksten ontwikkeld moeten worden. Deze voorschriften voor de tekstanalyse beelden de tekst af op een kennisgraaf. Deze kennisgraaf wordt vaak een auteursgraaf genoemd.

In het Kennisgrafenproject wordt veelal getracht op basis van een aantal teksten uit hetzelfde kennisdomein een geïntegreerd kennisbestand op te bouwen. Dit betekent dat een aantal auteursgrafen geïntegreerd moet kunnen worden tot één graaf, de geïntegreerde graaf. Om uit de verschillende auteursgrafen een geïntegreerde graaf te kunnen konstrueren zijn drie kennisgraaftransformaties nodig.

De eerste kennisgraaftransformatie heet konceptidentifikatie. De auteursgrafen worden hierbij gesuperponeerd op één graaf, de basisgraaf. Tijdens de konceptidentifikatie worden o.a. synonieme koncepten opgespoord. Dit zoekproces kan geschieden op basis van de namen van de koncepten. Van de koncepten met de namen "mineralisatie" en "mineralisatieproces" zou bijvoorbeeld vermoed kunnen worden dat ze synoniem zijn. Het zoekproces kan ook plaatsvinden op basis van de structuur in de auteursgraaf rond een concept. Bijvoorbeeld: In auteursgraaf A wordt van het concept "paling" gezegd dat het een organisme is dat tot de vissen behoort en als kenmerk wordt glibberigheid gegeven. Als in auteursgraaf B een concept "aal" voorkomt waarvan eveneens wordt gezegd dat het een vis is en als kenmerk glibberigheid heeft, dan kan men vermoeden dat paling en aal synonieme koncepten zijn.

Ook andere relaties kunnen tijdens de konceptidentifikatie in de basisgraaf aangebracht worden als vastgesteld kan worden dat zij op hun plaats zijn. Hierbij kan consultatie van een expert op het gebied van het beschouwde kennisdomein nuttig zijn.

De tweede kennisgraaftransformatie is de konceptintegratie. Hierbij worden punten die synonieme koncepten representeren gekontraheerd tot één nieuw punt. Verder worden verschillen in detailleringsnivo van delen van de basisgraaf die ontstaan zijn doordat verschillende auteurs een verschijnsel meer dan wel minder gedetailleerd beschrijven, weggenomen. Dit kan bijvoorbeeld door een punt te splitsen in een groter aantal punten die de aspecten weergeven van het concept dat door het oorspronkelijke punt gerepresenteerd werd. Vervolgens verzorgt de linkintegratie de integratie van de pijlen van de basisgraaf. Het is namelijk mogelijk dat tussen een tweetal punten meer dan één relatie is ontstaan. De linkintegratie bewerkstelligt dat deze relaties met zo min mogelijk verlies van informatie worden teruggebracht tot één relatie. Voor een uitgebreide behandeling van linkintegratie zie bijv. Alstein, 1987 en Bakker, 1987.

De na de konceptintegratie en linkintegratie ontstane geïntegreerde graaf representeert de kennis van de bewerkte teksten. De geïntegreerde graaf kan eventueel met nieuwe auteursgrafen weer verwerkt worden tot een basisgraaf. Het kennisverwervingsproces ziet er dus uit als in Fig. 1.

De methodes en procedures voor het structureren van kennis in een kennisgraaf zijn nogal omvangrijk en bewerkelijk. Er is daarom een computer programma ontwikkeld, genaamd KISS = Knowledge Integration and Structuring System.

Voor een globale beschrijving van (1) de systeemspecificatie, (2) het systeemontwerp, (3) de datastructuren, (4) de basisalgoritmes en (5) de systeemimplementatie van KISS zie Bakker, 1987, p. 131-141.

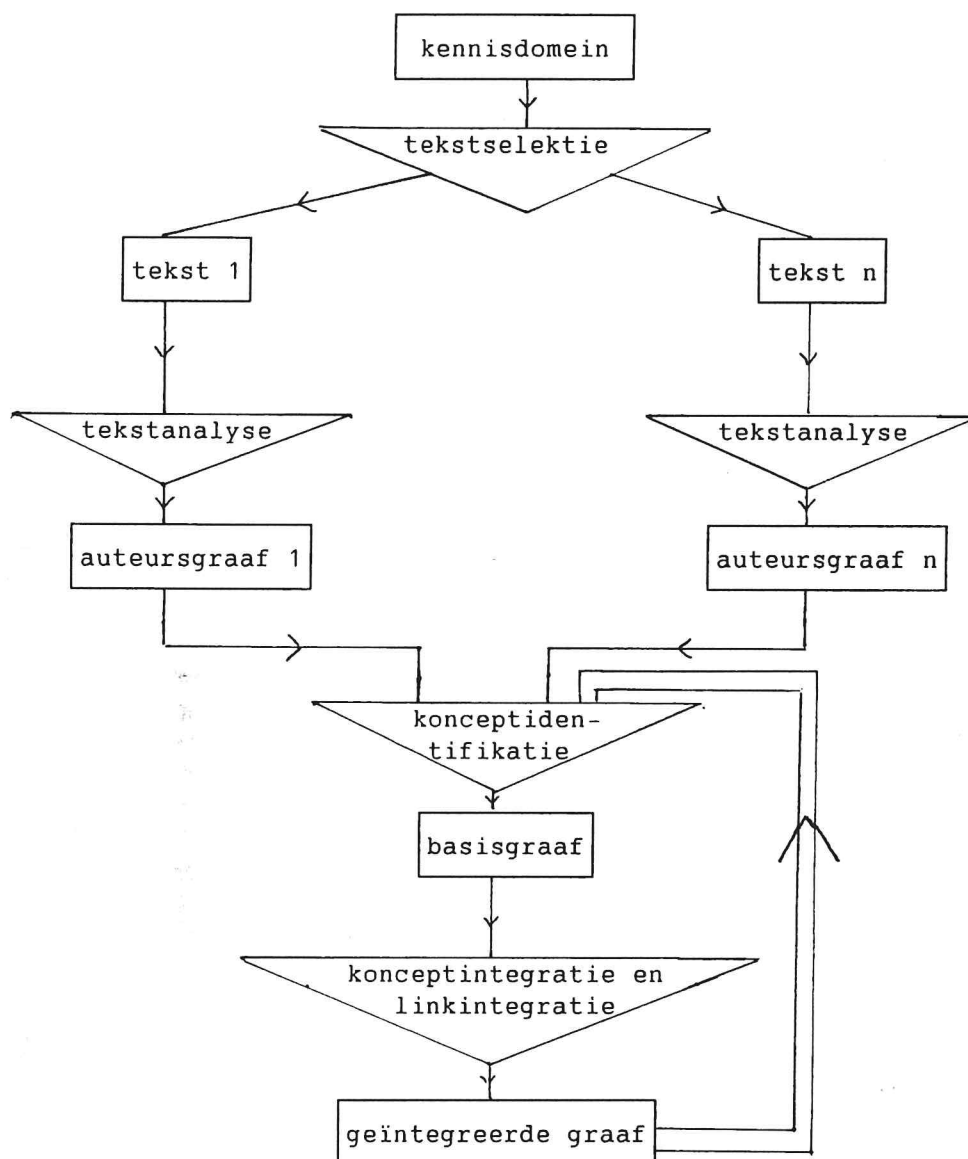


Fig. 1. Kennisverwerving in het kennisgrafenproject.

1.2 Relatietypes

In par. 1.1. werd gezegd dat in een kennisgraaf relaties worden aangegeven tussen concepten. De maker van een kennisgraaf is niet geheel vrij in de keuze van de relatietypes die hij/zij wil gebruiken. De verzameling relaties moet zoveel mogelijk beperkt worden om het linkintegratie-proces niet te gekompliceerd te maken. Dit heeft tot gevolg dat een relatie niet te sterke eisen mag opleggen aan de concepten die hij verbindt.

Daarnaast moet een relatie relevant kunnen zijn bij de structurering van de kennis over het beschouwde wetenschapsgebied.

In het kennisgrafenproject zijn uiteindelijk drie basisrelaties geselecteerd. Deze bleken ook voor de structurering van kennis op het gebied van de biologie over veel representatiekracht te beschikken. De drie basisrelaties zijn (Bakker, 1987, p. 17):

- (1) de PAR relatie. Om eigenschappen te kunnen relateren aan objecten is de relatie "is deel van" of "is eigenschap van" (genoteerd als PAR) geïntroduceerd. De PAR-relatie is asymmetrisch ($A \text{ PAR } B \neq B \text{ PAR } A$) en wordt daarom met een pijl gerepresenteerd in een kennisgraaf.

Voorbeeld: gemakkelijk afbreekbaar o $\xrightarrow{\text{PAR}}$ o organische stof

- (2) de AKO-relatie ("a kind of"). Twee concepten hebben een AKO-relatie wanneer ze gemeenschappelijke kenmerken (kunnen) hebben. De AKO-relatie is symmetrisch ($A \text{ AKO } B = B \text{ AKO } A$) en wordt daarom met een lijn gerepresenteerd in een kennisgraaf.

Voorbeeld: schol o $\xrightarrow{\text{AKO}}$ o tong

- (3) de CAU relatie. De causale relatie $A \text{ CAU } B$ geldt als een optreden van A of een verandering in de waarde van A een optreden van B of een verandering in de waarde van B kan veroorzaken. De CAU-relatie is asymmetrisch en wordt dus met een pijl weergegeven.

Voorbeeld: organische stof o $\xrightarrow{\text{CAU}}$ o zuurstof

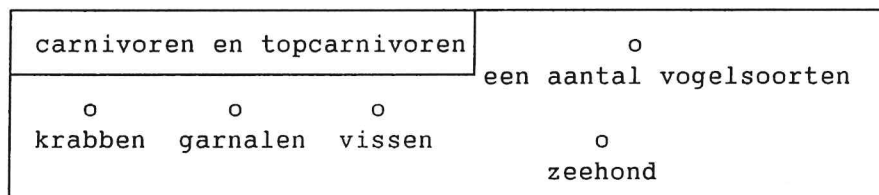
De asymmetrische PAR- en CAU-relatie hebben inverse relaties, respectievelijk de HAP- ("has as part") en de CBY-relatie ("Caused by").

In teksten wordt vaak op verschillende detailleringsnivo's over wetenschappelijke theorieën gesproken. Het is prettig om de kennis opgeslagen in een kennisgraaf ook op verschillende detailleringsnivo's te kunnen beschouwen. Daarom zijn kaders ingevoerd. Een kader of frame representeert een verzameling concepten en relaties tussen deze concepten.

Beschouw het volgende stukje tekst:

Tot de carnivoren en topcarnivoren behoren de krabben, garnalen, vissen, een aantal vogelsoorten en de zeehond.

In een kennisgraaf zou dit als volgt gerepresenteerd kunnen worden:



Er is dus een kader met de naam "carnivoren en topcarnivoren" gecreëerd, met als inhoud de in de tekst genoemde soorten. Misschien dat tussen een aantal punten in het kader nog een AKO-relatie (gemeenschappelijke kenmerken) gelegd zou kunnen worden. Een representatie van een kennisgraaf die kaders bevat, is strikt gezien geen grafentheoretische representatie. Een kennisgraaf $G = (V, A)$ bevat namelijk alleen een verzameling punten V en een verzameling lijnen en pijlen A en geen kaders. We zullen echter stilzwijgend de term kennisgraaf hanteren voor representaties waarin kaders optreden.

Om de kennis die in een kennisgraaf is opgeslagen te kunnen gebruiken, maken we gebruik van een redeneerproces op basis van de gedefinieerde relatietypes. Redeneren in een kennisgraaf is gebaseerd op de seriële of parallele combinatie van twee relaties (de By, 1986; Bakker, 1987; Alstein, 1987). Een seriële combinatie heet het produkt van twee relaties en een parallele combinatie de som van twee relaties. Aan de produkt- en som-operator worden een aantal eisen gesteld zodat een algebraïsche structuur ontstaat, de zogenaamde padalgebra. Met behulp van deze padalgebra kunnen nieuwe relaties tussen concepten afgeleid worden.

Als A een deel kan zijn van B en B een deel kan zijn van C , dan kan A een deel zijn van C . Tussen A en C bestaat dus een PAR relatie, ofwel de vermenigvuldiging $PAR * PAR$ heeft als resultaat PAR .

Opgemerkt moet worden dat afgeleide relaties zwakker zijn dan de relaties waaruit de afleiding plaats heeft gevonden. Er kan echter (nog) niet met onzekerheden gerekend worden in kennisgrafen. Daarom drukt een afgeleide relatie de mogelijke aanwezigheid van een relatie uit.

Naast de al eerder gedefiniëerde basisrelaties worden nog twee relaties gedefinieerd.

A ASS B: A kan iets te maken hebben met B. Dit is een hele zwakke relatie. De ASS-relatie is symmetrisch.

A SYN B: A kan synoniem zijn met B. Ook de SYN-relatie is symmetrisch.

1.3 Kennisexploitatie

In de voorgaande paragrafen is gesproken over kennisacquisitie en kennisrepresentatie. De representatie van kennis in een kennisgraaf is in een toepassingsgericht onderzoek geen doel op zich, de kennisgraaf moet gebruikt kunnen worden. We komen dan op het terrein van de kennisexploitatie.

Eén van de mogelijkheden om kennisgrafen te exploiteren is het gebruik van een kennisgraaf als kennisbestand in een expertsysteem. Naast een kennisbestand moet een expertsysteem een redeneermechanisme hebben (Bakker, 1987). Hiermee wordt het belang onderstreept van het redeneren in een kennisgraaf met behulp van de ontwikkelde padalgebra. De Vries Robbé (1978) construeerde een kennisgraaf van nierziektes. Hij gebruikte deze kennisgraaf om bij een aantal symptomen van een patiënt te zoeken naar een verschijnsel dat in ieder geval aanwezig moet zijn (geweest). Een dergelijk verschijnsel wordt aangeduid met het begrip minimale oorzaak.

2. HET BOUWEN VAN EEN KENNISGRAAF

Een aantal tekstgedeeltes uit het Boede-rapport (Boede-groep, 1983) zijn gebruikt als basis voor het bouwen van kennisgrafen. Als voorbeeld zijn in Fig. 2 en 3 de kennisgrafen afgebeeld die gemaakt zijn op grond van de teksten 11.2.1 en 11.2.4 uit het Boede-rapport (zie Appendix A). Ook van 11.2.2 en 11.2.3 zijn kennisgrafen gemaakt, deze worden hier echter niet gepubliceerd, wegens het omvangrijke karakter ervan.

Alle geanalyseerde teksten gaan over de effecten van de veenkoloniale afvalwaterlozingen op het Eems-Dollard gebied. De teksten zijn niet geschikt om als basis te dienen voor de konstruktie van een kwantitatief model met behulp van een graafmodel. Ze zijn slechts gebruikt als een vingeroefening om te inventariseren welke moeilijkheden er zijn bij de vertaling van een tekst op het gebied van de biologie naar een kennisgraaf.

Er zijn geen exakte voorschriften opgesteld voor de tekstanalyse. Er is een transformatie gemaakt van een tekst naar een graaf met behulp van ad hoc-regels. Allereerst is in gedachten genomen het doel waarvoor de graaf gemaakt wordt: het leggen van een basis van waaruit een kwantitatief model gemaakt kan worden. Een kwantitatief model wordt gevormd door een hoeveelheid wiskundige vergelijkingen die de relaties en de toestandsvariabelen aangeven, waarmee het oecosysteem beschreven kan worden. Aangezien toestandsvariabelen en de processen daartussen een centrale rol spelen in een kwantitatief model zullen die ook de centrale concepten worden in de kwalitatieve kennisgraaf. Daarnaast zullen eigenschappen van toestandsvariabelen en geografische aanduidingen gemodelleerd worden. De volgende concepttypes kunnen dus onderscheiden worden:

- toestandsvariabelen (fytoplankton, temperatuur,...)
- processen (mineralisatie, bioturbatie,...)
- eigenschappen (afbreekbaar,...)
- geografische aanduidingen (Dollard, Oost-Friese Plaat,...)

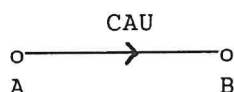
In de geografische aanduidingen in de tekst is veelal een hiërarchie aan te brengen (Zuid-Oost Dollard is een deel van Dollard, Dollard is een deel van het Eems estuarium enz.). Speciale aandacht verdienen de processen die optreden in het kwalitative model. Van een proces is sprake wanneer er interactie is tussen twee of meer toestandsvariabelen. Door het optreden van zowel processen als toestandsvariabelen in een kennisgraaf zijn er verschillende detailleringsnivo's aan te geven. Hier moet rekening mee gehouden worden bij het konstrueren van een kwantitatief model op basis van het kennisgraafmodel. Een proces in de kennisgraaf moet dan vervangen worden door de toestandsvariabelen waarmee het proces beschreven kan worden.

3. VAN EEN KENNISGRAAF NAAR EEN KWANTITATIEF MODEL

3.1 Algemeen

Bij het maken van een kwantitatief model kan de konstruktie van een geïntegreerde graaf gezien worden als een voorstudie. Van het Eems-Dollard gebied is reeds een simulatiemodel beschikbaar (Baretta & Ruardij, 1988) zodat een kwantitatief model, dat gekonstrueerd is op basis van een kennisgraaf, hieraan getoetst kan worden. Als uit zo'n onderzoek zou blijken dat kennisgrafen een krachtig hulpmiddel kunnen zijn bij het maken van een kwantitatief model, dan kan beslist worden om een geïntegreerde graaf te konstrueren van de Waddenzee en/of Noordzee. Een kennisgraaf van de Noordzee zal overigens overlap vertonen met die van de Waddenzee, want veel processen verlopen kwalitatief gezien gelijk in beide zeeën.

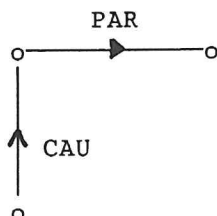
Laten we twee concepten A en B beschouwen. Dit kunnen twee toestandsvariabelen (bijv. biomassa's van twee verschillende organismegroepen) zijn. Uit de literatuur is vastgesteld dat tussen A en B een causaal verband bestaat:



Dit betekent dat een verandering in toestandsvariable A een verandering in toestandsvariable B veroorzaakt. Ofwel in wiskundige termen : $B = f(A)$.

Het expliciet maken van de functie f die het verband aangeeft tussen A en B vereist uiteraard meer informatie dan in de kennisgraaf aanwezig is. Een kennisgraaf toont welke variabelen aan elkaar gerelateerd zijn, niet wát het verband is tussen A en B. Een kennisgraaf is daarom een hulpmiddel bij het opstellen van een kwantitatief model. Voor het expliciet maken van de wiskundige relatie tussen de diverse toestandsvariabelen is extra informatie nodig. Te denken valt hierbij aan veld- en meetgegevens, tijdsaspecten, randvoorwaarden, enz.

Niet alleen de causale relaties die rechtstreeks uit de literatuur afgeleid kunnen worden induceren wiskundige vergelijkingen. In een kennisgraaf zijn namelijk via de padalgebra ook afgeleide causale relaties te onderkennen. Beschouw de onderstaande kennisgraaf:



Stel dat A, B en C toestandsvariabelen zijn en er geldt $A \text{ CAU } B$ en $B \text{ PAR } C$. De "winst" die uit de modellering met een kennisgraaf ontstaat is dat de ontwikkelde padalgebra de informatie geeft dat $A \text{ CAU } C$ afleidbaar is ($A \text{ CAU } B$ en $B \text{ PAR } C \rightarrow A \text{ CAU } C$). $A \text{ CAU } C$ is een relatie die niet uit de literatuur gevonden is, maar wel met behulp van de padalgebra uit twee andere relaties afgeleid kan worden.

Zoals als eerder opgemerkt is, zijn de relaties, die met behulp van de padalgebra gevonden zijn zwakker dan de rechtstreeks uit de literatuur gevonden relaties. Het rekenen met onzekerheidsfactoren op de relaties is (nog) niet mogelijk.

Uit de literatuur moet nu een geïntegreerde graaf van het Eems Dollard gebied/Waddenzee gekonstrueerd worden. Met behulp van KISS kunnen alle geïnduceerde CAU-relaties afgeleid worden. Uit alle causale relaties die nu bekend zijn, kan afgeleid worden tussen welke toestandsvariabelen zich processen afspelen. Kwantificering van deze processen (met behulp van extra informatie) levert een kwantitatief model van het Eems Dollardgebied/Waddenzee.

3.2 De zwavelcyclus als voorbeeld

Om na te gaan of het maken van een kennisgraaf van de zwavelcyclus als voorstudie voor het maken van een kwantitatief model bruikbaar is, is een doorgerekende kennisgraaf vergeleken met het deel van het Eems-Dollard model (Baretta & Ruardij, 1988), waarin de zwavelcyclus beschreven is.

De op grond van fig. 8.11. van het Boede rapport, (Appendix A) gemaakte kennisgraaf is afgebeeld in Fig. 4. De genummerde concepten zijn met hun onderlinge relaties gebruikt als invoer (Appendix B) voor het computerprogramma KISS.

Het resultaat van deze doorberekening is in een aantal stappen tot stand gekomen:

Allereerst zijn een drietal samenhangende componenten gecontraheerd tot drie nieuwe concepten: zuurstof in water en zuurstof in aeroob sediment worden samen het kader zuurstof.

Sulfaat in aeroob en anaeroob sediment worden samen het kader sulfaat. Sulfide en ijzer 2^+ in anaeroob sediment worden samen het kader sulfide/ Fe^{2+} .

Vervolgens zijn maximale constructen bepaald en tot de volgende kaders gecontraheerd:

- (32) ijzersulfide en pyriet
- (33) aerobe beïnvloeders van sulfaat en zuurstof
- (34) zuurstof beïnvloeders.

Deze vereenvoudigde graaf (Fig. 5) is opnieuw gerangschikt volgens een "level assignment", waarbij concepten naar niveau worden ingedeeld. Punten met alleen ingaande pijlen worden op het laagste niveau geplaatst, punten met alleen uitgaande pijlen op het hoogste niveau. Tenslotte zijn voor de volledigheid enkele concepten aan de graaf toegevoegd; deze zijn gestippeld weergegeven in Fig. 6, waarin de definitieve graaf staat afgebeeld.

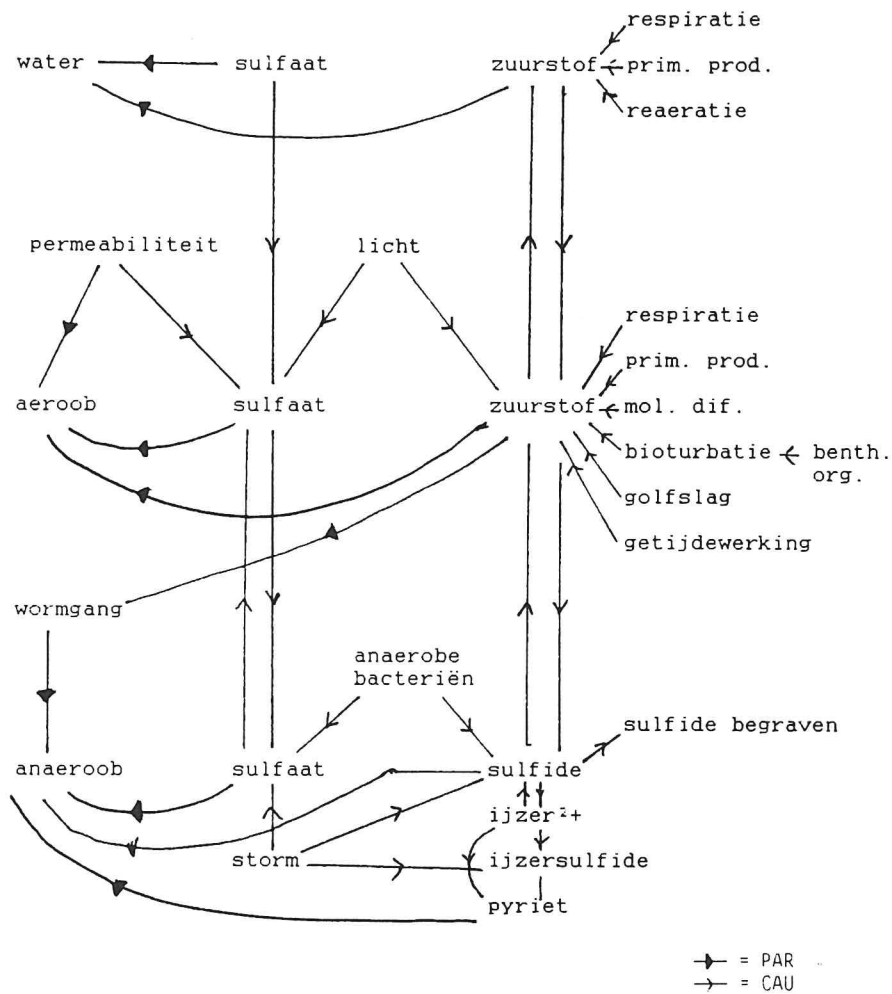


Fig. 4. Kennisgraaf, gemaakt op grond van fig. 8.11 van het Boede rapport (Boede-groep, 1983).

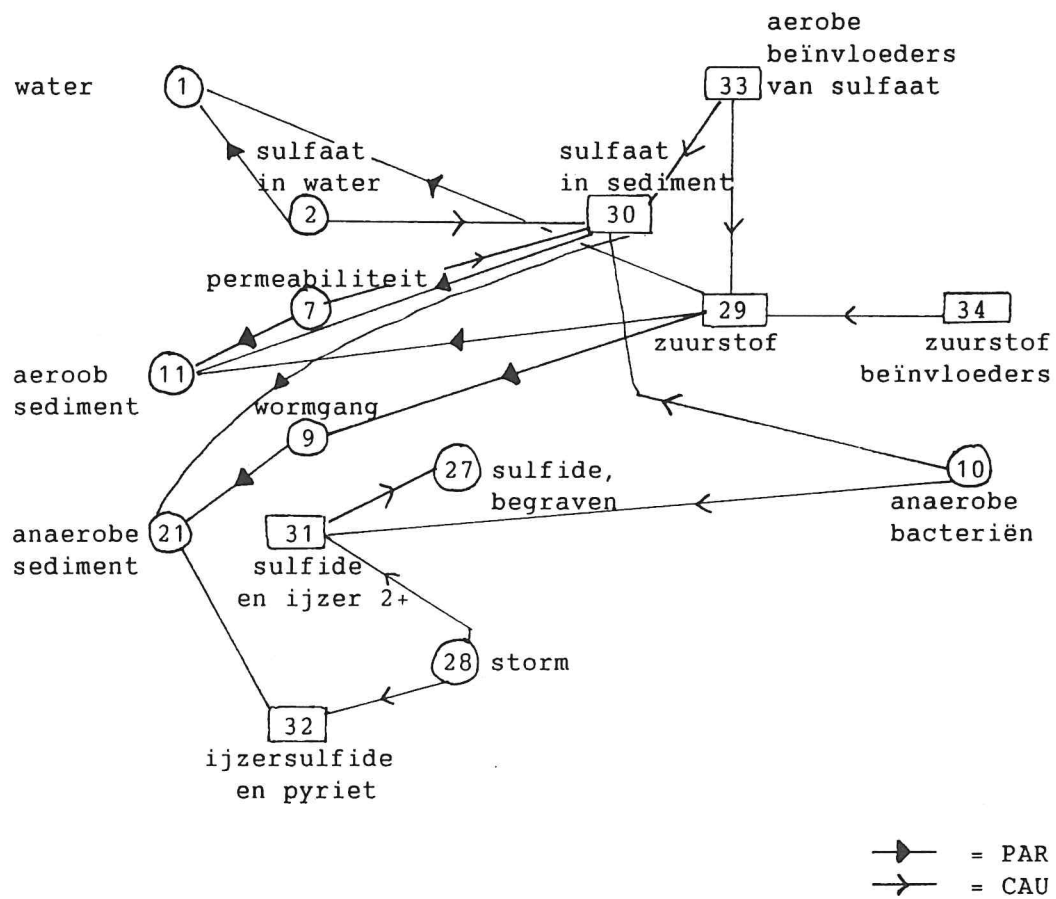


Fig. 5. Gecontraheerde graaf.

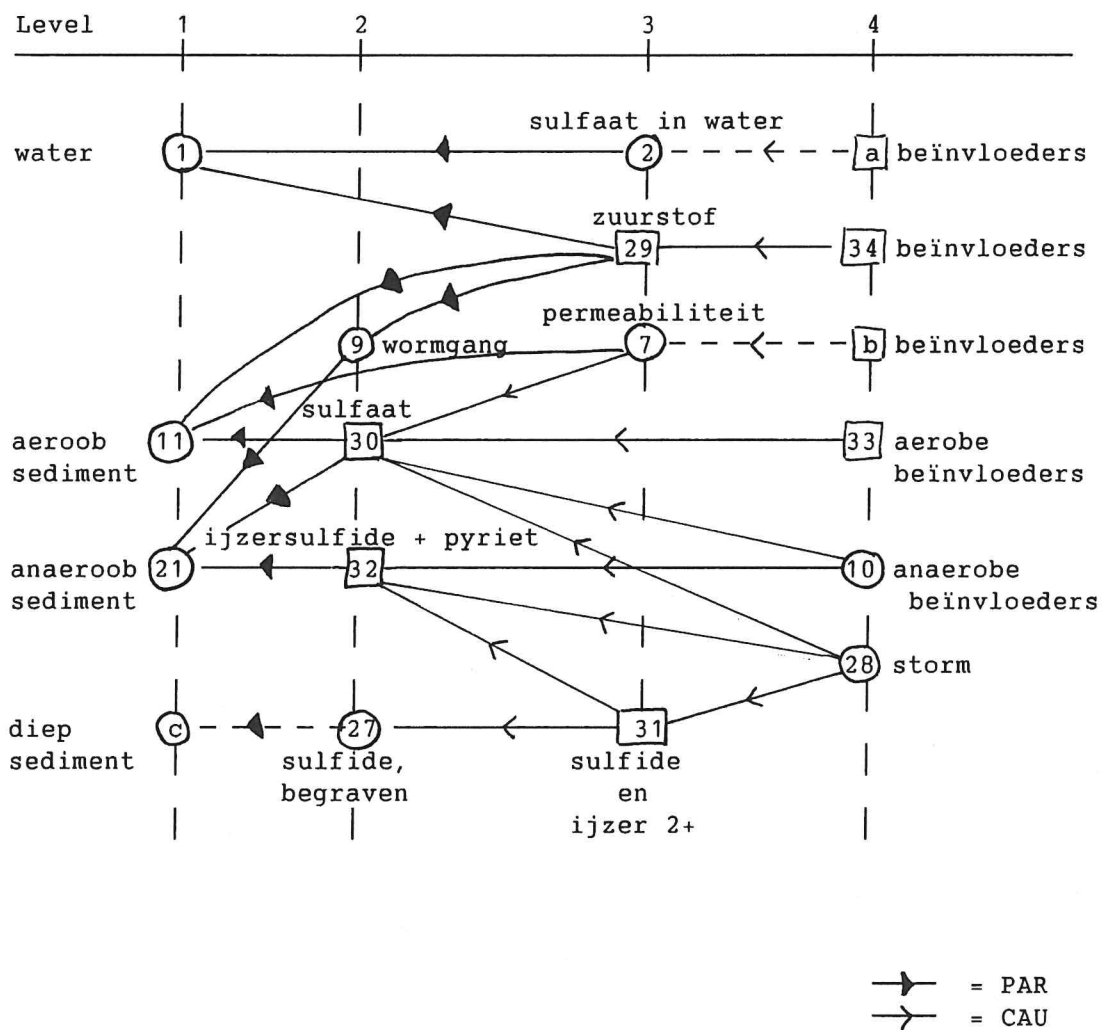


Fig. 6. Doorgerkende kennisgraaf, gerangschikt volgens een "level assignment" met enkele toegevoegde concepten: a) beïnvloeders van sulfaat in water; b) beïnvloeders van permeabiliteit; c) diep sediment

Opvallend is dat de verschillende "lagen", zoals water en sedimenttypen op het laagste niveau staan, terwijl de beïnvloeders het hoogste niveau bezetten. De tussenliggende punten zijn deel van de onderscheiden lagen (PAR-relaties) en worden beïnvloed door de punten van niveau 4 (CAU-relaties).

Kijken we naar het Eems-Dollard model, dan vinden we dat de volgende fysieke "lagen" zijn onderscheiden.

water,
aeroob sediment,
anaeroob sediment en
een diepe laag, buiten het gemodelleerde systeem.

Deze indeling komt overeen met de kennisgraaf.

De toestandsvariabelen die de zwavelcyclus beïnvloeden in het ED model zijn:

OX -de O₂ concentratie in het water
BOX -de O₂ flux in de aerobe laag
BOXS -het O₂ verbruik in de aerobe laag t.g.v. omzetting van sulfide in sulfaat
BSUL -de sulfide concentratie in anearobe laag
BPYR -de pyriet concentratie

Deze toestandsvariabelen komen niet geheel overeen met de kennisgraaf.

Sulfaat ontbreekt in het model omdat de concentratie sulfaat niet beperkend is, dus een flux van sulfaat naar de sulfide heeft geen meetbare invloed op de sulfaat concentratie.

Het sulfaat in de aerobe laag is als zodanig niet van belang, van belang is de zuurstof die verbruikt wordt bij sulfide oxydatie tot sulfaat. De beïnvloeders uit de kennisgraaf zijn naast andere terug te vinden in het model.

Duidelijk is dat bij het construeren van het Eems-Dollard model niet precies hetzelfde concept gekozen is als voor de kennisgraaf. Zou dat wel het geval geweest zijn, dan was de kennisgraaf zeker van nut bij het opzetten van de structuur van het kwantitatieve model. Het is echter niet het opzetten van de structuur dat het moeilijkste is, maar de grootste problemen doen zich voor bij het vaststellen van de verbanden tussen de toestandsvariabelen, vooral als die verbanden ook weer beïnvloedbaar zijn.

Bij een ecosysteemmodel zoals het Eems-Dollard model zal een relatie tussen "beïnvloeders" en toestandsvariabelen zoals b.v.

cau
34 → 29

niet met één formule weergegeven kunnen worden, maar met evenveel formules als er oorspronkelijk relaties in dit kader stonden: de getijdewerking, de golfslag, primaire produktie, respiratie van organismen, etc. Al die relaties moeten gekwantificeerd worden. Relaties die ontstaan door doorberekening van de kennisgraaf kunnen hoogstens nieuwe onderzoeksgebieden aanwijzen, maar nuttig voor de constructie van het kwantitatieve model zijn ze niet, want als een bepaalde relatie uit de literatuur niet bekend is, dan zijn er zeker geen kwantificeerbare grootheden van bekend.

In Baretta & Ruardij (1988: hfdst. 7) wordt een gedetailleerde beschrijving gegeven van de opzet en analyse van het modelgedeelte, dat de zwavelcyclus beschrijft.

Samenvattend zijn wij van oordeel, dat het maken van een kennisgraaf als voorbereiding voor een complex ecosysteemmodel, zoals het Eems-Dollard model, waarin het gaat om het kwantificeren van processen, behalve voor het opzetten van de structuur, niet de meest geschikte voorbereiding is.

4. BELEID EN BEHEERSASPEKTEN

In het drie maanden durende onderzoek is heel kort aandacht besteed aan de mogelijkheid om kennisgrafen te gebruiken als kwalitatief model voor beleid en beheer.

Als ondersteuning voor beleidsbeslissingen kan gebruik gemaakt worden van toekomstonderzoek, (van Doorn & van Vught, 1978a) en (van Doorn & van Vught, 1978b). Toekomstonderzoek is gericht op het verkleinen van onzekerheden ten aanzien van de toekomst. Daartoe worden met behulp van zogenaamde forecastingtechnieken uitspraken geformuleerd over zowel toekomstige mogelijkheden als toekomstige wenselijkheden. Met deze toekomstuitspraken kunnen beleidsbeslissingen worden onderbouwd.

Ook in de milieubeleidsplanning, waarbij het gaat om beschermen en verbeteren van de kwaliteit van het milieu, wordt gebruik gemaakt van toekomstonderzoek. Binnen het kader van het onderzoek in het Eems estuarium kan gedacht worden aan het doen van toekomstonderzoek naar de effecten van externe stressfactoren. De externe stressfactoren die invloed (kunnen) uitoefenen op het oecosysteem van het Eems estuarium zijn o.a. de afvalwaterlozingen via de Westerwoldse Aa (1), de baggeractiviteit ten behoeve van de scheepvaart (2), de toegenomen nutriëntenlozingen als gevolg van de bevolkingsgroei, de invoering van synthetische wasmiddelen en het grootschalige gebruik van kunstmest (3), de belasting met microverontreinigingen (zware metalen en gechloreerde koolwaterstoffen) (4), de verontreiniging met olie (5), lozing van koelwater door de geplande Duitse kerncentrales (6), inpolderingen (7), havenaanleg (8) en ingrepen in het stroombed van de Eems (9) (Boede-groep, 1983).

Hoe kunnen kennisgrafen gebruikt worden om toekomstonderzoek ten behoeve van de beleidsplanning te ondersteunen? Lutjens (1988) heeft in een onderzoek binnen de milieubeleidsplanning aangetoond hoe een causaal model (een kennisgraaf die alleen CAU-relaties bevat) gebruikt kan worden bij het formuleren van beleidsmaatregelen. Hij heeft onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om het beleid zodanig aan te passen dat de NO_x-emissie van personenauto's teruggedrongen kan worden. Met behulp van een boomstructuur worden in een causale kennisgraaf alle factoren aangegeven die een positieve of negatieve invloed kunnen uitoefenen op de NO_x-emissie van personenauto's (Fig. 7). Door toepassing van de zogenaamde scenario-techniek is met dit causale model onderzocht hoe de NO_x-emissie zich in de toekomst kan ontwikkelen. Door een aantal verschillende mogelijke scenario's te beschouwen kan een toekomstgericht milieubeleid ontwikkeld worden (Lutjens, 1988, p.73).

Het voorgaande is een korte beschrijving van wat er in de literatuur gevonden is over het (mogelijke) gebruik van kennisgrafen in samenhang met beleidsplanning. Er is niet onderzocht in hoeverre kennisgrafen gebruikt kunnen worden bij het opstellen van beleids- en/of beheersmaatregelen met betrekking tot het Eems estuarium. Dit zou in de toekomst onderzocht kunnen worden.

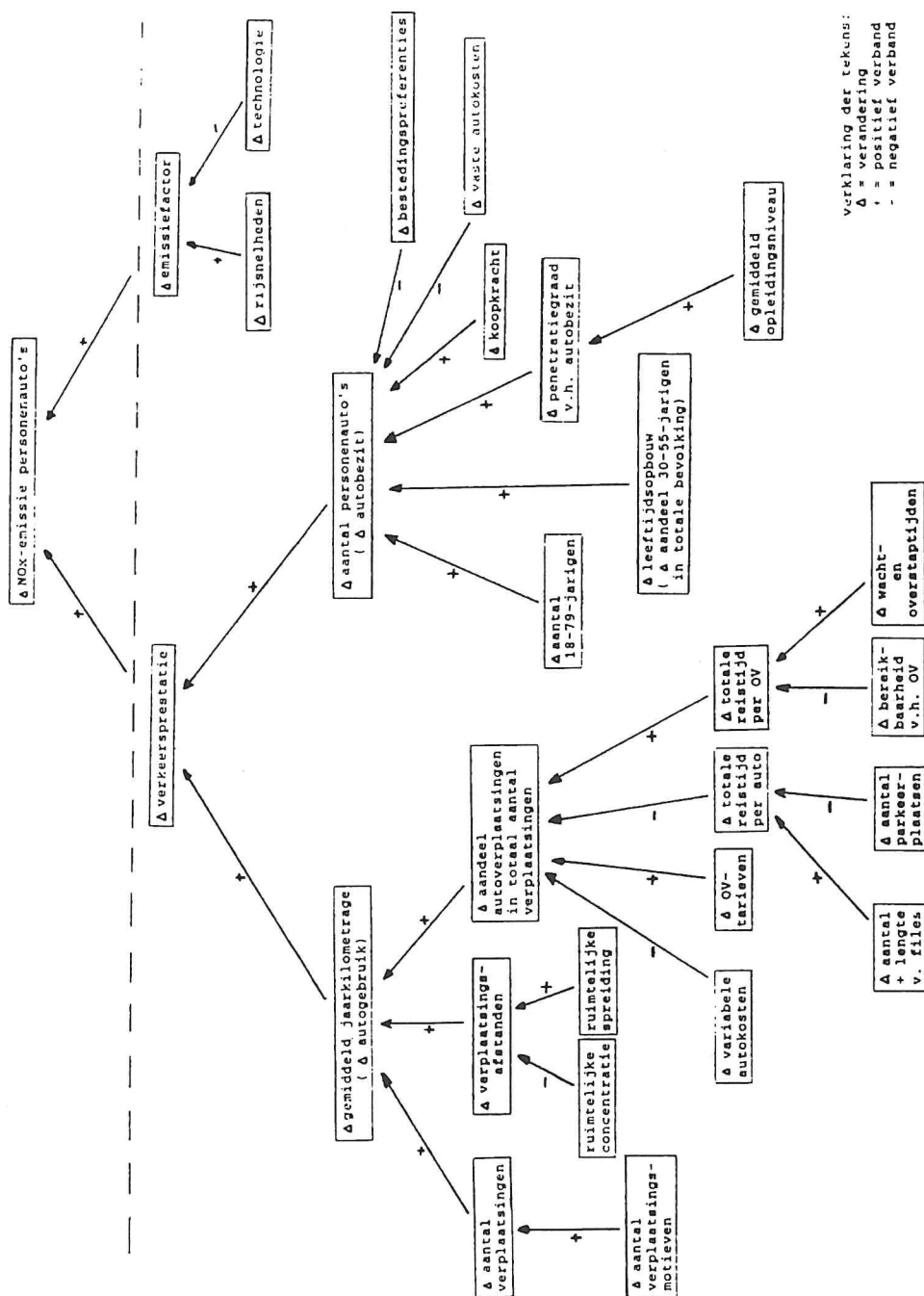


Fig. 7. Causale kennisgraaf van factoren, die een positieve of negatieve invloed uit kunnen oefenen op de NO_x -emissie van personenauto's. (Uit: Lutjens, 1988)

5. LITERATUUR

- Alstein, D., 1987. Linkintegratie in kennisgrafen, Doktoraalverslag, Faculteit der Toegepaste Wiskunde, Universiteit Twente, Enschede,
- Bakker, R.R., 1987. Knowledge graphs: representation and structuring of scientific knowledge, Proefschrift, Universiteit Twente, Enschede.
- Baretta, J.W. & P. Ruardij, 1988. Tidal flat estuaries; Simulation and analysis of the Ems Estuary. Ecological Studies, 71. Springer-Verlag.
- Boede-groep, 1983. Biologisch onderzoek Eems estuarium, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Den Burg, Texel.
- By, R.A. de, 1986. Semantische aspecten van paden in kennisgrafen, Miltenburg, H., Structuren voor kennisrepresentatie en een invoerprogramma, Doktoraalverslag, Faculteit der Toegepaste Wiskunde, Universiteit Twente, Enchede.
- Dijk, J.E.M. van, F.G. Hilgevoord, M.T. Jacques, G.A.M. Otten, A.C. Sittig & J.L. Talmon, 1988. Drie methoden voor kennisverwerving, in: "Kennissystemen", nr. 3.
- Doorn, J. van en F. van Vught, 1978a. Planning, Methoden en technieken voor beleidsondersteuning, Assen/Amsterdam.
- Doorn, J. van en F. van Vught, 1978b. Forecasting, Methoden en technieken voor beleidsondersteuning, Assen/Amsterdam.
- Hart A., 1986. Knowledge acquisition for expert systems, Kogan Page Ltd., London.
- Kidd, A.L., (ed.) 1987. Knowledge acquisition for expert systems, Plenum Press, New York.
- Lutjens, A., 1988. Toekomstonderzoek binnen de milieubeleidsplanning: toepassing van en evaringen met de scenario-techniek, Doktoraalverslag, Faculteit der Bestuurskunde, Universiteit Twente, Enschede.
- Vries Robbé, P.F. de, 1978. Medische besluitvorming: een aanzet tot formele geneeskunde, Proefschrift, Universiteit Groningen, Groningen.

APPENDIX

A GEBUIKTE TEKSTEN UIT BOEDE RAPPORT
(Boede-groep, 1983)

11.2.1. Effecten op zuurstofhuishouding en mineralisatie in water en bodem

De organische stof in het veenkoloniale afvalwater is grotendeels gemakkelijk afbreekbaar (58; 65; 95), en de zuurstofvraag is daardoor zeer hoog (zie hoofdstuk 8). Het water is dan ook anaëroob wanneer het op het estuarium geloosd wordt en blijft dat ook nadat het zich gemengd heeft met zuurstofrijker estuariumwater. In de herfst is daardoor de zuurstofhuishouding in een groot deel van de Dollard ernstig verstoord (figuur 11.2). Na de campagne herstelt de zuurstofconcentratie zich (figuur 11.2). Omdat zuurstof zo'n belangrijke milieuparameter is voor alle in water en bodem levende organismen, wordt het zuurstofverbruik ten gevolge van de mineralisatie in het water als eerste behandeld. Deze afbraak verloopt in het water voornamelijk aëroob. In de bodem vindt zowel aërobe als anaërobe afbraak plaats.

Met een mathematisch model (65) is de zuurstofhuishouding in het water van de Dollard gesimuleerd. Bij dit model is vooralsnog aangenomen, dat er geen sedimentatie optreedt van het geloosde materiaal. Uit de model-berekeningen blijkt dat tenminste 70% van de geloosde organische stof in de Dollard wordt gemineraliseerd en wel voornamelijk in de zuidelijke helft (63; 65). Dit komt omdat de afbraak van de gemakkelijk afbreekbare organische fractie sneller verloopt dan het transport van het afvalwater de Dollard uit. De aërobe mineralisatie in het water kan hoog zijn, omdat bij de heersende onderverzadiging de zuurstofaanvoer via reaëratie in dit gebied ook erg groot is, ten gevolge van de geringe gemiddelde waterdiepte. In figuur 11.3 is voor twee compartimenten in de Dollard, no. 2 en 4 (voor de ligging zie figuur 10.1) de bijdrage weergegeven, die processen als zuurstofconsumptie, reaëratie en dergelijke door het jaar heen leveren aan de zuurstofhuishouding in het water. In het model blijkt in compartiment 2 een hoge aërobe mineralisatie-snelheid door bacteriën op te treden, ondanks de lage zuurstofconcentraties in het water. De reaëratie is dan vrijwel de enige bron van zuurstof. In het centrum van de Dollard, in compartiment 4, zijn de afbraak- en reaëratie-snelheden beduidend lager, omdat de gemakkelijk afbreekbare componenten al

gemineraliseerd zijn en de resterende organische stof aanzienlijk verdund is. Ook door de aërobe mineralisatie in het sediment wordt zuurstof onttrokken aan het tijdens hoogwater boven de platen staande water (sedimentademhaling). Dit blijkt de zuurstofhuishouding in het water van de Dollard met name in de zomer te beïnvloeden. Het sediment staat echter maar een beperkte tijd onder water en de zuurstofonttrekking aan het water weerspiegelt daarom slechts een fractie van de totale aërobe mineralisatie in het sediment.

In het sediment van de zuid-oost Dollard is de aërobe mineralisatie activiteit (sedimentademhaling) het gehele jaar duidelijk aanwezig. Deze is in de herfst en winter zelfs duidelijk hoger dan elders in de Dollard, ondanks de lage temperaturen (59). Dit kan een gevolg zijn van de afvalwaterlozingen. De sedimentademhaling kan echter ook voor een belangrijk deel toegeschreven worden aan de mineralisatie van de algenbiomassa: ter plaatse is de benthische primaire produktie meestal groter dan de sedimentademhaling (59). Daarnaast omvat de aërobe sedimentademhaling ook een nog onbekend deel van sulfide oxydatie (zie hoofdstuk 8). Hierdoor is een direct verband tussen de aërobe mineralisatie in de bodem en de afvalwaterlozingen moeilijk te leggen.

De anaërobe mineralisatie door sulfaatreducerende bacteriën is in de bodem van de Oost Friesche Plaat veel hoger dan in de rest van de Dollard (zie 8.5.2 en tabel 8.1). Een dergelijk hoge sulfaatreductie vereist een hoge organische koolstofaanvoer. Deze kan slechts voor een gering deel afkomstig zijn van de hoge primaire produktie. Er moet daarom worden aangenomen dat het grootste deel van de voor deze sulfaatreductie in de bodem benodigde organische stof afkomstig is uit het geloosde afvalwater. De hoge sulfaatreductie wordt ook bevestigd doordat in de herfst het gebied, waar de zuurstofloze (door FeS zwart gekleurde) laag tot op 2 tot 3 mm het sediment oppervlak nadert, viermaal zo groot wordt (38; 120). Dit wijst op een verhoogde FeS-vorming in dit gebied en dus op een hogere anaërobe mineralisatie door sulfaatreductie. Ook het aantal sulfaatreducerende bacteriën is in de late herfst en in de winter duidelijk hoger dan in de lente en

zomer (60). Als we het meetpunt op de Oost Friesche Plaat representatief achten voor een oppervlak van $7,5 \text{ km}^2$ (38; 120), dan vindt alleen al in dit deel van de Dollard een anaërobe mineralisatie plaats van $9,8 \cdot 10^6 \text{ kg C}$ per jaar. Dit komt overeen met ongeveer 30% van de totale jaarlijkse koolstofaanvoer via de Westerswoldse Aa.

Als gevolg van de hoge sulfaatreductie zijn ook de vrije sulfide, FeS- en pyriet-concentraties in dit deel van de Dollard het hoogst. De "zuurstofschuld" in de bodem, veroorzaakt door de hoge sulfideconcentraties (zie 4.2.1) is hier dus groot. De vrije sulfide-concentratie in het interstitiële water kan oplopen tot $1,5 \text{ } \mu\text{mol H}_2\text{S} \cdot \text{cm}^{-3}$ (120), zodat vergiftiging van aërobe organismen hier mogelijk is (13; 15; 32). Er is geen duidelijke seizoensvariatie in de vrije sulfideconcentratie. Een mogelijk giftige werking op organismen kan daardoor het gehele jaar door plaats vinden.

11.2.4. Samenvatting en conclusies

De effecten van het veenkoloniale afvalwater in de Dollard, zoals die in het voorgaande beschreven zijn, kunnen we vanuit verschillende gezichtspunten samenvatten:

- 1) De verstoring van de zuurstofhuishouding in water en bodem is beperkt tot het zuid-oostelijke deel van de Dollard (een oppervlakte van circa 10 km²). Slechts incidenteel spoelen zuurstofloze water-pakketten uit de hoofdgeul naar buiten. De snelle mineralisatie van de grote hoeveelheid geloosde organische stof in de zuid-oostelijke Dollard sluit aan bij de van nature hoge reaëratie capaciteit en de sterk verhoogde bacteriële activiteit in dit ondiepe getijdegebied.
- 2) Bij alle onderzochte groepen organismen zien we dat, onder invloed van het afvalwater vooral tolerante en snelgroeiende soorten gaan overheersen. Organismen met een lange levenscyclus verdwijnen voor een groot deel (macrofauna) of vertonen vluchtgedrag (zoals vis en garnalen). Deze veranderingen leiden tot een sterke vermindering van het aantal soorten.
- 3) Het voedselweb van de zuid-oostelijke Dollard, waarin de geloosde organische stof grotendeels wordt verwerkt, is relatief eenvoudig van structuur. De toegevoerde organische stof wordt hierin op een erg onvolledige wijze naar grotere dieren doorgegeven, veeleer wordt het materiaal op het niveau van ééncellige organismen en meiofauna afgebroken.

Naast het vaststellen van de directe lokale effecten moet rekening gehouden worden met de neveneffecten van de veenkoloniale afvalwater lozingen. Deze dragen bijvoorbeeld bij tot de totale nutriënten aanvoer in het estuarium. De veenkoloniale afvalwater lozingen kunnen wel degelijk in het buitengebied bijdragen tot een minder gewenste eutrophieëring (11.4). Naast de veenkoloniale afvalwater lozingen treden in het Eems-Dollard estuarium andere externe stressfactoren op. De beoordeling van synergistische effecten (11.5) is buitengewoon gecompliceerd, maar dient desondanks een belangrijke rol te spelen in de beleids-advisering.

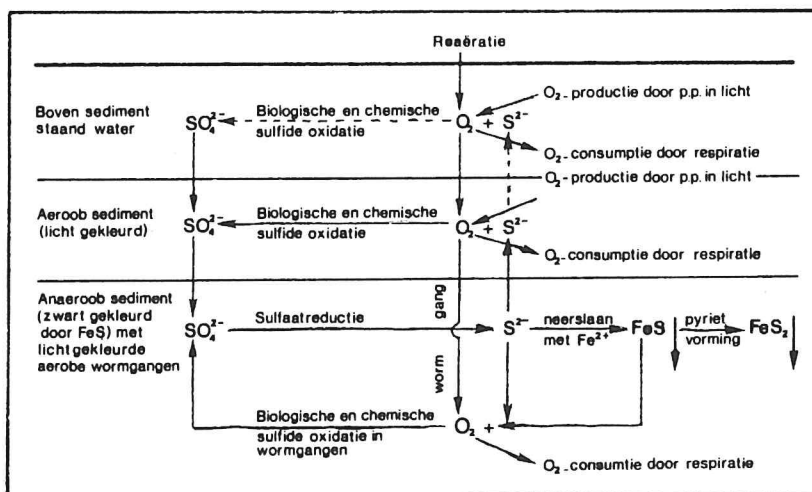


Fig. 8.11. Schematische weergave van de zwavelcyclus in de bodem aan de hand van de processen, waarbij sulfaat en sulfide betrokken zijn. Via het poriewater vindt sulfaat transport plaats naar het anaërobe sediment, waar sulfaat via bacteriële sulfaatreductie verbruikt wordt en wordt omgezet in vrije sulfide. Dit in poriewater opgeloste vrije sulfide kan naar boven diffunderen, geoxydeerd worden, of neerslaan tot ijzersulfide (FeS). Ijzersulfide kan geoxydeerd worden of pyriet vormen. Zuurstof komt in het sediment door reaëratie en door primaire produktie (p.p.). Het wordt via poriewater naar beneden vervoerd en daar verbruikt bij de respiratie door organismen en bij chemische oxydaties.

B INPUT VOOR DOORGEREKENDE KENNISGRAAF

Nummering van de gebruikte concepten

- 1 water
- 2 sulfaat
- 3 zuurstof in water
- 4 respiratie in water
- 5 primaire produktie in water
- 6 reaeratie in water
- 7 permeabiliteit
- 8 lichtintensiteit
- 10 anaerobe bacteriën
- 11 aeroob sediment
- 12 sulfaat in aeroob sediment
- 13 zuurstof in aeroob sediment
- 14 respiratie in aeroob sediment
- 15 primaire produktie in aeroob sediment
- 16 moleculaire diffusie
- 17 macrobenthische organismen
- 18 bioturbatie
- 19 golfslag
- 20 getijde werking
- 21 anaeroob sediment
- 22 in anaeroob sediment
- 23 sulfide in anaeroob sediment
- 24 ijzer 2+
- 25 ijzersulfide
- 26 pyriet
- 27 sulfide, begraven
- 28 storm

Ingevoerde relaties

2 1 par	9 21 par	18 12 cau	24 21 par
2 12 cau	12 11 par	18 13 cau	24 23 cau
3 1 par	12 22 cau	19 13 cau	24 25 cau
3 13 cau	13 3 cau	20 13 cau	24 26 cau
4 3 cau	13 9 par	22 12 cau	25 21 par
5 3 cau	13 11 par	22 21 par	25 26 cau
6 3 cau	14 13 cau	23 21 par	26 21 par
7 11 par	15 13 cau	23 24 cau	28 22 cau
7 12 cau	16 12 cau	23 25 cau	28 24 cau
8 12 cau	16 13 cau	23 27 cau	28 25 cau
8 13 cau	17 18 cau		

INHOUDSOPGAVE

1. Kennisgrafen	4
1.1. Inleiding	4
1.2. Relatietypes	7
1.3. Kennisexploitatie	9
2. Het bouwen van een kennisgraaf	10
3. Van een kennisgraaf naar een kwantitatief model	13
3.1. Algemeen	13
3.2. De zwavelcyclus als voorbeeld	15
4. Beleid en beheersaspecten	21
5. Literatuur	24
Appendix	
A. Gebruikte teksten	25
B. Input voor doorgerekende graaf	31