



Verbeteren datasets en afleiding ecologische rekenregels voor de KRW-verkenner

Op basis van Regressieboom-analyse en Neuraal netwerk

Deltares & Planbureau voor de Leefomgeving

9 februari 2009

Definitief rapport

9T6271

Boschveldweg 21
Postbus 525
5201 AM 's-Hertogenbosch
+31 (0)73 687 41 11 Telefoon
+31 (0)73 612 07 76 Fax
info@den-bosch.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Verbeteren datasets en afleiding ecologische rekenregels voor de KRW-verkenner
Op basis van Regressieboom-analyse en Neuraal netwerk

Verkorte documenttitel Afleiding ecologische rekenregels

Status Definitief rapport

Datum 9 februari 2009

Projectnummer 9T6271 en 9T8130

Opdrachtgever Deltares & Planbureau voor de Leefomgeving

Referentie 9T6271/R00002/901530/BW/DenB

Foto omslag De Swalm is een snel stromende midden/-benedenloop op zand (KRW-type R14) met een meanderend profiel en veel beschaduwing. De Swalm is één van de wateren in Nederland met de status Natuurlijk (foto: C.H.M. Evers).

Auteur(s) drs. ing. C.H.M. Evers, drs. F. Keukelaar & ir. A.H.H.M. Schomaker

Collegiale toets ir. R.A.E. Knoben

Datum/paraaf

Vrijgegeven door drs. M. van Elswijk

Datum/paraaf

SAMENVATTING

De KRW-Verkenner is een instrument dat is ontwikkeld door verscheidene instanties betrokken bij het Nederlandse waterbeheer. De verkenner is erop gericht de gebruiker inzicht te geven in de samenhang tussen nagestreefde ecologische doelen, de maatregelen die hiervoor kunnen of moeten worden getroffen en de effecten van deze maatregelen. Het belangrijkste binnen de verkenner zijn de databases met kennis-/rekenregels. Deze rekenregels geven een inschatting van de effecten van maatregelen op de ecologische kwaliteit via de verandering van stuurfactoren. Omdat ten tijde van de ontwikkeling van de KRW-Verkenner de maatlatten nog niet af waren en de KRW-monitoring pas net opgezet was, bleek het erg lastig om voor alle kwaliteitselementen en watertypen goed werkende rekenregels af te leiden. Deze rekenregels kunnen nu worden verbeterd op basis van de ervaringen, datasets en tools die ontwikkeld zijn voor de Ex ante evaluatie KRW.

De belangrijkste tools zijn een Expertsysteem Ecologische Effecten op basis van een Neuraal netwerk en een Regressieboom-analyse. Allereerst moesten de datasets zoals gebruikt voor de Ex ante evaluatie worden uitgebreid en verbeterd. Om rekenregels uit de datasets af te leiden zijn formules nodig. De regressieboom-analyse levert deze en er zijn goede ervaringen mee opgedaan in de Ex ante evaluatie.

De doelstelling van dit project is daarmee tweeledig:

- Uitbreiden en verbeteren van de datasets die zijn gebruikt voor de Ex ante evaluatie KRW.
- Het afleiden van nieuwe ecologische kennisregels met een Regressieboom-analyse voor de KRW-Verkenner.

Uitbreiding en verbetering ten opzichte van de Ex ante evaluatie KRW

Om ook op waterlichaamniveau goed onderbouwde uitspraken te kunnen doen, is het noodzakelijk om het aantal watertypen uit te breiden en reeds bestaande watertypenclusters op te splitsen. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in acht clusters van watertypen:

- langzaam stromende beken (R4, R5, R6 en R12);
- snel stromende beken (R13, R14, R15, R17 en R18);
- diepe meren (M20);
- ondiepe meren (M14, M23 en M27);
- kanalen (M3, M4, M6a/b, M7a/b en M10);
- sloten (M1a/b, M2 en M8);
- zwak brakke wateren (M30);
- brakke tot zoute wateren (M31).

Het betreft vrijwel uitsluitend regionale wateren. Alleen onder de diepe en ondiepe meren vallen enkele Rijkswateren.

Ten opzichte van de Ex ante evaluatie zijn verder de volgende onderdelen van de datasets verbeterd:

- Het aandeel EKR's op basis van getoetste meetgegevens in de datasets is sterk toegenomen. Deze gegevens zijn voornamelijk afkomstig van de in 2006 gestarte KRW-monitoring.

- Zeer goede (referentie) situaties komen niet of nauwelijks meer voor in Nederland. Om deze aan te vullen in de datasets zijn theoretische defaults opgesteld op basis van de beschrijvingen in de maatlatdocumenten.
- Door de toevoeging van de zwak brakke en brakke tot zoute wateren is nu voor meer waterlichamen een dataset beschikbaar en een voorspelling mogelijk.
- Het aantal monsters per meetpunt is sterk verminderd en de meetjaren liggen verder uit elkaar om pseudo-replicatie te voorkomen.
- De relatief kleine datasets zijn uitgebreid.
- Uitsplitsing van de stromende wateren in langzaam en snel stromend en de meren in diep en ondiep zorgt voor uniformere datasets doordat minder verschillende watertypen binnen één cluster vallen.
- De dekking van locaties over Nederland is toegenomen door het uitbreiden van datasets met nieuwe locaties (en waterbeheerders) en toevoeging van de brakke wateren.

Opbouwen van de datasets en afleiding van de rekenregels

Om de huidige rekenregels in de KRW-Verkenner te verbeteren en uit te breiden, zijn de verbeterde datasets gebruikt nadat deze waren getest met het Neuraal netwerk. Vervolgens zijn hieruit rekenregels afgeleid met behulp van Regressieboom-analyse.

Voor de meeste watertypen blijken, de met een Neuraal netwerk getoetste, datasets goed bruikbaar voor het afleiden van rekenregels met een Regressieboom-analyse. De regressiebomen die zijn gebaseerd op de complete datasets (inclusief geschatte en default EKR's), zijn hier uiteindelijk voor gebruikt. Alleen voor ondiepe meren is het tot op heden niet mogelijk gebleken rekenregels af te leiden. Dit wordt vooral veroorzaakt door de beperkte beschikbaarheid van de informatie over kritische fosforbelastingen per meer. Samen met de huidige fosforbelasting is dit een cruciale stuurfactor in de eutrofiëringsgevoelige ondiepe meren.

Verdere verbetering in de toekomst

In de komende jaren is verbetering van de datasets en de rekenregels nog mogelijk op een aantal punten:

- Aanvullend onderzoek is nodig naar een stuurvariabele voor stromingsregime of afvoer dynamiek in de langzaam en snel stromende beken.
- Uitbreiding van de dataset van ondiepe meren is noodzakelijk om ook voor dit watertypencluster rekenregels af te kunnen leiden. De beschikbaarheid van de kritische fosforbelastingen per meer is de belangrijkste reden waarom dit tot op heden niet mogelijk is gebleken.
- De dataset van de diepe meren is nog relatief klein. Het bleek wel mogelijk om rekenregels voor de diepe meren af te leiden maar het is mogelijk dat nog niet alle situaties die in de praktijk voor kunnen komen nu in de dataset vertegenwoordigd zijn.
- Kanalen in noord Nederland ontbreken nu nog in de dataset en kunnen in de toekomst worden toegevoegd bij het beschikbaar komen van (KRW)gegevens.
- In vrijwel alle watertypenclusters is er een tekort aan toetsbare macrofyten- en vissenmonsters. Van diepe meren bestaat nog een tekort aan macrofaunamonsters. De komende jaren kan dit worden aangevuld met gegevens uit de KRW-monitoring en uit monitoring van herstel- en verbeteringsmaatregelen.

- Sommige regressiebomen leveren op dit moment een beperkt aantal splitsingen op stuurvariabelen met als gevolg een beperkt aantal EKR's (<6) als mogelijke uitkomst. Dit beperkte aantal splitsingen is in die gevallen nodig om het optreden van schijnrelaties te voorkomen. In een vervolg zou bekeken kunnen worden hoe het aantal eindknopen verhoogd kan worden zonder dat er schijnrelaties in de bomen terechtkomen. Dit gericht terugsnijden komt erop neer dat niet de software bepaalt tot hoever de boom vertakt, maar dat handmatig wordt bekeken welke splitsingen in de rekenregels worden opgenomen.
- De in dit rapport toegepaste methoden, en vooral de regressieboom-analyse, heeft een beperking als twee of meer stuurvariabelen onderling hoog gecorreleerd zijn. Door deze multicollineariteit 'weet' het model niet met welke variabele de beste knip gemaakt moet worden. Op basis van biologisch inzicht kunnen relaties geheel of gedeeltelijk aangepast worden in voorkomende situaties. Deze aanpak zou in de toekomst gevolgd kunnen worden.
- Berekende EKR's met de rekenregels (met de KRW-Verkenner) kunnen in een later stadium worden vergeleken met uitkomsten uit het Expertsysteem (neuraal netwerk).
- Gegevens die in de toekomst verzameld worden voor de KRW zijn bruikbaar als aanvulling en als validatie. Een validatie kan worden uitgevoerd door de EKR te berekenen met de rekenregels (aan de hand van de waarden voor de stuurvariabelen), en vervolgens de berekende EKR-waarden te vergelijken met de gemeten EKR's.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
VOORWOORD	1
1 INLEIDING	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 KRW-Verkenner	3
1.3 Doelstelling	4
1.4 Leeswijzer	4
2 TYPENCLUSTERS, STUURVARIABLEN EN METHODIEK AFLEIDING REKENREGELS	6
2.1 Stappenschema	6
2.2 Clustering watertypen	6
2.3 Keuze stuurvariabelen per watertypencluster	9
2.3.1 Algemeen	9
2.3.2 Langzaam en snel stromende beken	11
2.3.3 Diepe meren	15
2.3.4 Ondiepe meren	17
2.3.5 Kanalen	18
2.3.6 Sloten	19
2.3.7 Zwak brakke en brakke tot zoute wateren	20
2.4 Het Neuraal netwerk	21
2.5 Regressieboom-analyse en afleiding ecologische rekenregels	22
2.6 Beperking van methoden	25
3 OPBOUW VAN DE DATASETS	27
3.1 Algemeen	27
3.2 Hydromorfologische stuurvariabelen	27
3.3 Chemische stuurvariabelen	28
3.4 Ecologische Kwaliteitsratio's (EKR's)	29
3.5 Dekking over Nederland	32
4 ANALYSERESULTATEN MET HET NEURAAAL NETWERK	35
4.1 Inleiding	35
4.2 Resultaten	36
4.3 Discussie en conclusies	38
5 ANALYSERESULTATEN MET DE REGRESSIEBOOM-ANALYSE	39
5.1 Inleiding	39
5.2 Resultaten en rekenregels	39
5.3 Discussie en conclusies	44
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	46
6.1 Conclusies	46
6.2 Aanbevelingen	47

REFERENTIES

49

BIJLAGEN

1. Resultaten expertsysteem (Neuraal netwerk)
2. Resultaten Regressieboom-analyses
3. Regressiebomen op basis waarvan de rekenregels worden afgeleid

VOORWOORD

In opdracht van Deltares en Planbureau voor de Leefomgeving heeft Royal Haskoning in samenwerking met het Planbureau voor de Leefomgeving (bijdrage dr. H. Visser) de ecologische kennisregels voor de KRW-Verkenner verder ontwikkeld.

De KRW-Verkenner is ontwikkeld als instrument waarmee de effectiviteit van maatregelen op stroomgebiedniveau bepaald kan worden. Oorspronkelijk was dit instrument vooral bedoeld voor kennisontsluiting over de effectiviteit van KRW-maatregelen, voor het afwegen van mogelijke maatregelen én voor communicatie met belanghebbenden. De KRW-Verkenner wordt door een aantal waterbeheerders toegepast. Met name de water- en stoffenbalans wordt hierbij gebruikt. Voor het ecologieonderdeel zijn daarentegen nog nauwelijks toepassingen voorhanden. Dit wordt ondermeer veroorzaakt door een gebrek aan (goede) ecologische kennisregels.

Dit rapport voorziet in de verdere ontwikkeling van de ecologische kennisregels voor de KRW-Verkenner. De ontwikkeling van deze rekenregels is een voortzetting van de rekenregels die ontwikkeld zijn voor de Ex Ante evaluatie. In deze rapportage zijn de datasets van de Ex Ante evaluatie aangevuld en uitgebreid, waarna de rekenregels bepaald zijn middels neurale Netwerken en Regressieboom-analyse. De rekenregels van de regressieboom-analyse worden op korte termijn in de KRW-Verkenner ingebouwd, en vormen een belangrijke uitbreiding en verbetering van de huidige ecologische kennisregels. Hiermee komt de KRW-Verkenner dichterbij zijn oorspronkelijke doelstelling, namelijk het bepalen van de effectiviteit van maatregelen op stroomgebiedniveau.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De Europese Kaderrichtlijn Water verplicht de EU-lidstaten tot het behalen van een goede toestand van alle nationale oppervlakte- en grondwateren (EU, 2000). Deze goede toestand moet bereikt zijn in 2015, met mogelijkheid tot fasering tot 2027. De Nederlandse waterbeheerders hebben maatregelenpakketten voor hun beheergebied samengesteld om de gestelde doelen te bereiken. Deze vormen een belangrijk onderdeel van de Stroomgebiedbeheerplannen (SGBP).

De gestelde doelen hangen af van het watertype. In Nederland worden 42 watertypen onderscheiden (behorend tot de categorieën meren, rivieren, overgangswateren en kustwateren (Elbersen *et al.*, 2003)). Daarnaast is de 'status' van het water *natuurlijk*, *sterk veranderd* of *kunstmatig* van belang. Voor de natuurlijke wateren is het maximaal haalbare het 'referentieniveau'; daaronder omvat de schaalverdeling ('maatlat') de klassen *zeer goed* (=referentie), *goed*, *matig*, *ontoereikend* en *slecht* (Van der Molen en Pot [red], 2007). Voor de sterk veranderde en kunstmatige wateren kunnen afwijkende (lagere) doelstellingen worden afgeleid op basis van het meest gelijkende natuurlijke type (Pot [red], 2005). Voor kunstmatige wateren (sloten en kanalen) bleek dit vaak erg lastig door het unieke karakter van deze wateren. Daarom zijn hiervoor specifieke maatlaten afgeleid (Evers & Knoben [red], 2008).

De toestand (maatlatclassificatie) van een waterlichaam¹ wordt bepaald op basis van de volgende 'kwaliteitselementen' (via een aggregatie- / integratieproces; Torenbeek & Pelsma, 2006):

- de prioritare stoffen en de dochterrichtlijn 76/464-stoffen;
- de overige relevante stoffen;
- de algemeen fysisch-chemische kwaliteitselementen;
- de hydromorfologische kwaliteitselementen;
- de biologische kwaliteitselementen (fytoplankton², overige waterflora = macrofyten en fyto bentos³, macrofauna, vissen).

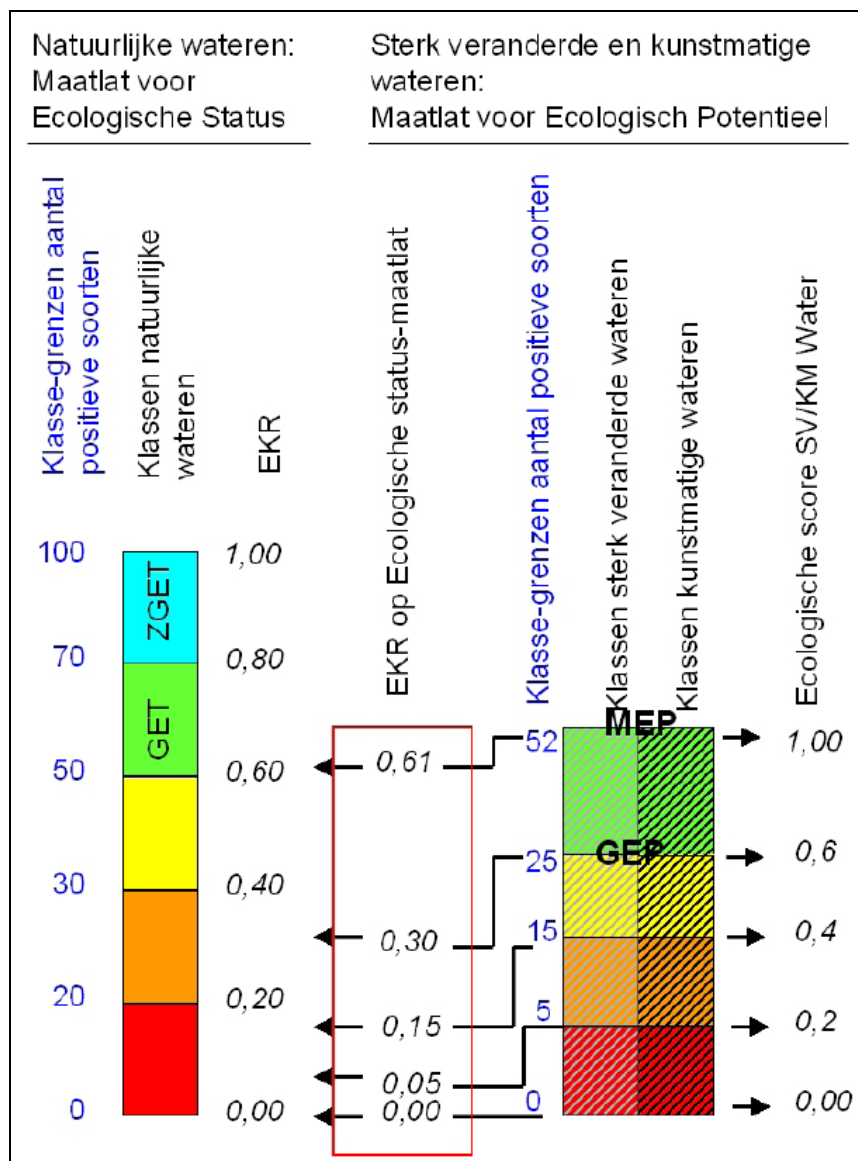
Voor de biologische kwaliteitselementen wordt de ecologische kwaliteitsratio (EKR) bepaald. Figuur 1.1 toont hoe de EKR's van natuurlijke waterlichamen enerzijds en sterk veranderde en kunstmatige waterlichamen anderzijds zich verhouden tot de maatlatclassificatie.

¹ Wateren waar voor de KRW de doelen en toestand beschreven moet worden, worden waterlichamen genoemd.

² Fytoplankton is niet relevant geacht in stromende wateren en in de sloten (EU, 2000; Van der Molen & Pot [red], 2007; Evers & Knoben [red], 2007).

³ In Nederland is tot op heden alleen voor de stromende wateren een fyto bentosmaatlat afgeleid (Van Dam, 2007; Van der Molen & Pot [red], 2007).

Figuur 1.1: De ecologische maatlatclassificatie



De herschaling zoals helemaal rechts in de figuur weergegeven vindt bij sterk veranderde wateren in de praktijk niet meer plaats. De belangrijkste reden hiervoor is dat doelstellingen na herschaling niet meer te vergelijken zijn omdat alle doelen dan op 0.6 liggen. De maatlaten voor kunstmatige wateren sloten en kanalen zijn wel dusdanig opgesteld dat het GEP op 0.6 ligt en het MEP op 1.0 tenzij van dit default-doel is afgeweken. De doelen blijven hiermee wel vergelijkbaar en zijn meestal even hoog.

1.2 KRW-Verkenner

De KRW-Verkenner is een instrument (computer applicatie) dat is ontwikkeld door verscheidene instanties betrokken bij het Nederlandse waterbeheer. De verkenner is ontwikkeld om waterbeheerders te ondersteunen bij het opstellen van stroomgebiedbeheerplannen (www.krwwerken.nl).

De verkenner is erop gericht de gebruiker inzicht te geven in de samenhang tussen nagestreefde ecologische doelen, de maatregelen die hiervoor kunnen of moeten worden getroffen en de effecten van deze maatregelen. Ook de kosten van de maatregelen worden inzichtelijk gemaakt. De verkenner omvat een vereenvoudigde en modelmatige beschrijving van de hydrologie, morfologie en waterkwaliteit van de waterlichamen. Het belangrijkste binnen de verkenner zijn evenwel de databases met kennis-/rekenregels. Deze rekenregels geven een inschatting van de effecten van maatregelen op de ecologische kwaliteit via de verandering van stuurfactoren (www.krwverkenner; PBL, 2008; Knoben *et al.*, 2008).

Omdat ten tijde van de ontwikkeling van de KRW-Verkenner de maatlatten nog niet af waren en de KRW-monitoring pas net opgezet was, bleek het erg lastig om voor alle kwaliteitselementen en watertypen goed werkende rekenregels af te leiden. Naar aanleiding van een bespreking tussen Royal Haskoning en Deltares op 15 juli 2008 is een projectplan opgesteld om de ecologische kennisregels in de KRW-Verkenner aan te vullen en te verbeteren. De basis hiervoor vormen de ervaringen, datasets en tools die ontwikkeld zijn voor de Ex ante evaluatie KRW (PBL, 2008; Knoben *et al.*, 2008 & Visser *et al.*, 2008). De belangrijkste tools zijn een Expertsysteem Ecologische Effecten op basis van een Neuraal netwerk en een Regressieboom-analyse.

De datasets die zijn opgebouwd voor de Ex ante evaluatie KRW voldoen maar gedeeltelijk voor het afleiden van rekenregels. Deze datasets worden daarom uitgebreid en verbeterd waarna ze met het Neuraal netwerk getest kunnen worden. Omdat het Neuraal netwerk geen formules oplevert, is een aanvullende techniek nodig om tot rekenregels te komen. Tijdens de Ex ante evaluatie KRW zijn al goede ervaringen met Regressieboom-analyse opgedaan en deze techniek levert wel formules op. Daarom is gekozen om hiermee rekenregels uit de datasets af te leiden die bruikbaar zijn in de KRW-Verkenner.

De verbeterde datasets vormen ook weer de trainingsets voor het Expertsysteem (op basis van het Neuraal netwerk). Met het Expertsysteem kunnen dan aanvullende analyses op de Ex ante evaluatie worden uitgevoerd in samenwerking met het Planbureau voor de Leefomgeving. Deze rapportage beschrijft de uitbreiding en verbetering van de datasets en de afleiding van rekenregels. De aanvullende analyses op de Ex ante evaluatie (met behulp van het Expertsysteem) worden beschreven in een volgende rapportage (Evers *et al.* in prep).

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit project is tweeledig:

- Uitbreiden en verbeteren van de datasets die zijn gebruikt voor de Ex ante evaluatie KRW en een verdere opsplitsing naar clusters van gelijksoortige watertypen.
- Het afleiden van nieuwe ecologische kennisregels met een Regressieboom-analyse voor de KRW-Verkenner waardoor het analyserend en voorspellend vermogen van dit instrument toeneemt.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methodiek uitgebreid besproken waarbij ook de keuze voor de typenclusters en stuurvariabelen is uitgewerkt. Vervolgens is in hoofdstuk 3 beschreven hoe de datasets zijn opgebouwd.

De resultaten van het testen van deze datasets zijn samengevat in hoofdstuk 4. De uitgebreide resultaten zijn te vinden in bijlage 1. In hoofdstuk 5 staan vervolgens de resultaten van de Regressieboom-analyses samengevat. In bijlage 2 en 3 zijn de uitgebreide resultaten van de Regressieboom-analyses opgenomen. Ten slotte volgen de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6.

2 TYPENCLUSTERS, STUURVARIABLEN EN METHODIEK AFLEIDING REKENREGELS

2.1 Stappenschema

Tabel 2.1 geeft het stappenschema weer dat voor dit project is doorlopen. Stap 1 wordt verder niet besproken maar vormt in feite het startpunt voor dit rapport (zie paragraaf 1.1). Stap 2 is uitgewerkt in paragraaf 2.2 en 2.3 en in hoofdstuk 3. De resultaten van stap 3 en 4 zijn weergegeven in hoofdstuk 4 respectievelijk hoofdstuk 5.

Tabel 2.1: Stappenschema

Stappen	Werkzaamheden	Resultaten
Stap 1: Onderzoek mogelijkheden Regressieboom-analyse (RBA)	Bepaling voorspellende waarde van nieuwe stuurvariabelen, toevoeging van stuurvariabelen aan KRW-Verkenner op basis van resultaten Ex ante.	Beslissing om RBA in te zetten om kennisregels voor de KRW-Verkenner af te leiden. De uitkomst was positief en is verder niet besproken in deze rapportage. Zie ook Visser <i>et al.</i> (2008).
Stap 2: Uitbreiden en verbeteren datasets	Toevoeging en opsplitsing van watertypen (t.o.v. eerdere analyses), toevoeging van stuurvariabelen aan watertypen, verbetering van bestaande datasets.	Nieuwe datasets per typencluster die gebruikt worden voor de afleiding van kennisregels met een RBA en als nieuwe trainingset voor het Expertsysteem op basis van een
Stap 3: Testen nieuwe datasets met Neuraal netwerk	Vaststelling voorspellende waarde van stuurvariabelen en het eventueel ontbreken van stuurvariabelen. Daarnaast vaststelling ontbrekende gegevens (te kleine datasets).	Neuraal netwerk (gecombineerd resultaat stap 2 en 3).
Stap 4: Afleiden rekenregels met een Regressieboom-analyse (RBA)	Uitvoeren RBA op de nieuwe datasets waaruit vervolgens de rekenregels kunnen worden opgesteld.	Regressiebomen waarmee de ecologische rekenregels kunnen worden opgesteld.

2.2 Clustering watertypen

Voor de Ex ante evaluatie KRW zijn vier typenclusters (beken, meren, kanalen en sloten) datasets geanalyseerd met het Expertsysteem op basis van een Neuraal netwerk en met een Regressieboom-analyse (RBA) (PBL, 2008; Knobens *et al.*, 2008 en Visser *et al.*, 2008). De Regressieboom-analyse is toen gedaan als onderbouwing van het gebruik van de datasets in combinatie met een Neuraal netwerk voor de voorspelling van de effecten van maatregelen op de ecologie.

Om een globaal beeld van de effecten van maatregelen op de ecologie in Nederland te onderzoeken, was voor de Ex ante evaluatie de uitsplitsing in de genoemde vier typenclusters voldoende. Voor het ontwikkelen van de ecologische kennisregels voor de KRW-Verkenner is een verdere detaillering en uitsplitsing van deze typen noodzakelijk. Er is gekozen voor de volgende uitsplitsingen:

- beken: uitsplitsing in de langzaam- en snelstromende beken;
- meren: uitsplitsing in de ondiepe en diepe meren.

Bij het uitsplitsen van typenclusters is het noodzakelijk om de nieuwe datasets weer uit te breiden zodat de gehele kwaliteitsgradiënt en de relevante combinaties aan stuurvariabelen weer voorkomen in alle afzonderlijke datasets (zie hoofdstuk 3).

De toevoeging van nieuwe typenclusters is van belang om de dekking over de (regionale) watertypen binnen Nederland te vergroten. Het gaat dan om de brakke regionale wateren:

- zwak brakke wateren (M30);
- brakke wateren (M31).

In tabel 2.2 is voor de acht genoemde watertypenclusters weergegeven welke KRW-typen hier onder vallen. Vervolgens is het aantal toegekende waterlichamen dat hierbij hoort, opgenomen in tabel 2.3 en 2.4. Uit deze tabellen blijkt dat momenteel voor 681 van de 721 Nederlandse waterlichamen rekenregels voorhanden zijn (ruim 94%). Vrijwel alleen de Rijkswateren vallen nog buiten de datasets van dit project. Het grootste cluster hiervan is het cluster van de grote rivieren. Het opstellen van netwerken voor Rijkswateren is lastig door het unieke karakter van deze wateren en het ontbreken van gegevens van goede en zeer goede ecologische omstandigheden.

Tabel 2.2: Clustering watertypen waarvoor rekenregels afgeleid worden

Watertypencluster	Omschrijving	Toegedeelde KRW-typen
Langzaam stromende beken	Alle langzaam stromende wateren behalve bronnen en de grote rivieren.	R4, R5, R6 en R12
Snel stromende beken	Alle snel stromende wateren behalve bronnen en de grote rivieren.	R13, R14, R15, R17 en R18
Diepe meren	Gebufferde stilstaande zoete vlakvormige wateren dieper dan 3 meter	M16 en M20 (M16 is eigenlijk te klein als waterlichaam maar is bij gebrek aan voldoende gegevens uit M20 wel meegenomen)
Ondiepe meren	Gebufferde stilstaande zoete vlakvormige wateren met een maximale diepte van 3 meter	M14, M23, M25 en M27 (M25 is eigenlijk te klein als waterlichaam maar een enkele keer toch toegekend)
Kanalen	Zoete gegraven lijnvormige wateren breder dan 8 meter.	M3, M4, M6a/b, M7a/b en M10
Sloten	Zoete gegraven lijnvormige wateren smaller dan 8 meter. Alleen permanent watervoerende sloten worden meegenomen. Ook zeer zwak brakke sloten (<1000 mg Cl/l) vallen in deze categorie)	M1a/b, M2 en M8
Zwak brakke wateren	Zwak brakke lijn- en vlakvormige wateren met een chloride gehalte van 300-3.000 mg Cl/l (exl M1b)	M30
Brakke tot zoute wateren	Zwak brakke lijn- en vlakvormige wateren met een chloride gehalte van 3.000-10.000 mg Cl/l	M31

Tabel 2.3: Toegekende KRW-typen en aantal waterlichamen in Nederland (stand oktober 2008)
(Aangegeven is tot welk watertypencluster elk KRW-type behoort en of dit in een dataset voorkomt in dit project.)

KRW-type	Aantal waterlichamen	Cluster	In dit project
M1a	45	Sloten	X
M1b	1	Sloten	X
M2	2	Sloten	X
M3	102	Kanalen	X
M6	1	Kanalen	X
M6a	21	Kanalen	X
M6b	15	Kanalen	X
M7a	1	Kanalen	X
M7b	17	Kanalen	X
M8	16	Sloten	X
M10	34	Kanalen	X
M12	1	Vennen	
M14	53	Ondiepe meren	X, nog geen rekenregels (zie 4.3)
M20	29	Diepe meren	X
M21	2	Diepe meren	(X) alleen IJsselmeer en Markermeer. Eventueel mee te nemen met M20
M23	6	Ondiepe meren	X, nog geen rekenregels (zie 4.3)
M25	1	Ondiepe meren	X, nog geen rekenregels (zie 4.3)
M27	23	Ondiepe meren	X, nog geen rekenregels (zie 4.3)
M30	62	Zwak brakke wateren	X
M31	20	Brakke tot zoute wateren	X
M32	2	Zoute meren	
R4	48	Langzaam stromende beken	X
R5	134	Langzaam stromende beken	X
R6	28	Langzaam stromende beken	X
R7	11	Grote rivieren	
R8	10	Grote rivieren	
R12	4	Langzaam stromende beken	X
R13	2	Snel stromende beken	X
R14	3	Snel stromende beken	X
R15	1	Snel stromende beken	X
R16	1	Grote rivieren	
R17	6	Snel stromende beken	X
R18	4	Snel stromende beken	X
O2	5	Overgangswateren	
K1	1	Kustwateren	
K2	5	Kustwateren	
K3	4	Kustwateren	
Totaal	721		

Tabel 2.4: Clusters van watertypen en het aantal waterlichamen waar al dan niet rekenregels voor zijn afgeleid

Cluster	Rekenregels afleiden	Geen rekenregels afleiden	Totaal
Vennen		1	1
Zoute meren*		2	2
Overgangswateren*		5	5
Kustwateren*		10	10
Snel stromende beken	16		16
Brakke wateren	20		20
Grote rivieren*		22	22
Diepe meren	31 (inclusief M21**)		31
Zwak brakke wateren	62		62
Sloten	64		64
Ondiepe meren	83		83
Kanalen	191		191
Langzaam stromende beken	214		214
Totaal	681	40	721

* Waterlichamen van deze clusters zijn vrijwel altijd Rijkswateren

** De rekenregels voor de diepe meren kunnen worden toegepast voor M21 (IJsselmeer en Markermeer). Maar het is lastig in te schatten in hoeverre de rekenregels werken voor deze unieke zeer grote wateren.

2.3 Keuze stuurvariabelen per watertypencluster

2.3.1 Algemeen

Om de effecten van maatregelen op de ecologische kwaliteit te kunnen bepalen, zijn per watertypencluster de belangrijkste stuurvariabelen geselecteerd. De stuurvariabelen zijn uitgesplitst in hydromorfologische en chemische parameters. De stuurvariabelen van de beken, meren, kanalen en sloten waren reeds bepaald voor de Ex ante Evaluatie (Knoben *et al.*, 2008). Hiervoor is kennis gebruikt uit verschillende onderzoeken: KRW-Verkenner (factsheets, 2006: www.krwverkenner.nl), de validatiestudie van de KRW-maatlatten (Evers *et al.*, 2005), de KRW-maatlatten voor sloten en kanalen (Evers & Knoben [red], 2007), de afleiding van nutriëntennormen voor de KRW (Heinis & Evers [red] 2007a/b). Daarnaast is expertkennis gebruikt. De gekozen stuurvariabelen bleken toen in zeer grote mate de uitkomsten (EKR's) te kunnen voorspellen.

Bij nieuw te ontwikkelen typenclusters is een belangrijk aandachtspunt dat de gekozen stuurvariabelen al in de KRW-Verkenner zitten of relatief gemakkelijk toe te voegen zijn. Daarnaast is de relatie met maatregelen van groot belang. Elke maatregel moeten ingrijpen op één of meerdere stuurvariabelen. Voor de reeds ontwikkelde netwerken was dit het geval. Onderstaand zijn de nieuwe stuurvariabelen per watertypencluster besproken.

Kanalen

Bij kanalen is de aan- of afwezigheid van intensieve scheepvaart als stuurvariabele toegevoegd. Omdat deze parameter ook in de typologie is verweven, is toevoeging gemakkelijk en is de invloed op de ecologische kwaliteit groot (Pot [red], 2005; Evers & Knoben [red], 2008).

Ondiepe meren

Voor de Ex ante Evaluatie KRW waren de ondiepe en diepe meren gezamenlijk meegenomen (PBL, 2008 en Knoben *et al.*, 2008). Hierbij is naast peilbeheer en oeverinrichting met nutriëntenconcentraties als stuurvariabelen gewerkt. Met de nutriëntenconcentraties bleek het niet mogelijk het effect van hysteresis goed mee te nemen in de voorspelling. Om hysteresis beter mee te kunnen nemen, zijn de stuurfactoren voor de ondiepe meren in dit project aangevuld met de verhouding fosforbelasting ten opzichte van de hoge en lage kritische belasting (zie paragraaf 3.3.4). Daarnaast is het wel of niet uitvoeren van visstandbeheer als stuurvariabele in de ondiepe meren toegevoegd.

Brakke en Brakke tot zoute wateren

Voor de brakke wateren zijn met expertkennis en ervaringen uit het project Validatie van de KRW-maatlatten (Evers *et al.*, 2005) concept stuurvariabelen geselecteerd. Met behulp van het Neuraal netwerk is getoetst of deze set voldoende is om de ecologische kwaliteit (als EKR's) goed te kunnen voorspellen (zie hoofdstuk 4). Voor beide typenclusters is gekozen voor de volgende stuurfactoren met bijbehorende drukken:

- chloridegehalte (Evers, 2007);
- oeverinrichting;
- onderhoudsbeheer;
- peilbeheer;
- connectiviteit.

Tabel 2.5 geeft een overzicht van de stuurvariabelen die zijn bepaald per watertype. In paragraaf 2.3.2 tot en met 2.3.7 zijn de stuurvariabelen inclusief omschrijving, mogelijke waarden en eenheden opgenomen. Daarnaast is per stuurvariabele de ecologische relevantie kort aangegeven.

Tabel 2.5: Watertypen en de gekozen hydromorfologische en chemische stuurvariabelen (De gekozen stuurvariabelen zijn toegelicht in de paragrafen 2.3.2 t/m 2.3.7)

Watertype	Langzaam stromende beken	Snel stromende beken	Diepe meren	Ondiepe meren	Kanalen en vaarten	Sloten	Zwak brakke wateren	Brakke tot zoute wateren
Stuurvariabele								
Oeverinrichting			X	X	X	X	X	X
Peildynamiek			X	X	X	X	X	X
Onderhoud					X	X	X	X
Connectiviteit							X	X
Meandering	X	X						
Verstuwing	X	X						
Beschaduwning	X	X						
Scheepvaart					X			
Visstandbeheer				X				
BZV	X	X						
Chloride							X	X
Totaal P conc	X	X	X	X	X	X	X	X
Totaal N conc	X	X	X	X	X	X	X	X
Pbelasting/P _{krit1}				X				
Pbelasting/P _{krit2}				X				

2.3.2 Langzaam en snel stromende beken

In beken speelt stroming (variatie) en substraat (variatie) een zeer belangrijke rol in de ecologie. Deze parameters hebben ook een sterke relatie met elkaar. Variatie in stroomsnelheid zorgt er namelijk voor dat verschillende soorten substraat binnen één beekbedding op relatief korte afstand van elkaar te vinden zijn door sedimentatie en erosie. Stromingsvariatie (en daarmee substraatvariatie) wordt voor een belangrijk deel bepaald door de mate van meandering, de stroomsnelheid en de oeverbegroeiing. Stroomsnelheid is sterk afhankelijk van het verhang maar het verhang is zelf uiteraard geen parameter die door een maatregel kan worden beïnvloed. Verstuwing heeft echter ook invloed op de stroming: door middel van stuwen wordt de effecten van het verhang op de stroomsnelheid verminderd. Daarnaast bemoeilijken stuwen de migratie van vissen. Inrichting (meandering) heeft wel invloed op de stroomsnelheid en er zijn verschillende maatregelen die hier effect op hebben (vooral hermeanderingsprojecten). Ook de aanwezige oeverbegroeiing kan door maatregelen worden beïnvloed. De mate van meandering zegt veel over de ecologische mogelijkheden van een beek. Door de werking van binnen- en buitenbochten treedt stromingdiversiteit op met erosie in de buitenbochten en sedimentatie in de binnenbochten als gevolg. De aanwezigheid van hoog opgaande oeverbegroeiing kan dit effect versterken door de toevoer van takken en bladeren. Daarnaast kunnen omgevallen bomen het proces van meandering versterken terwijl boomwortels de oevers lokaal juist weer vasthouden.

Mede door de stroming van het water is de zuurstofhuishouding in beken van nature goed. Door de toevoer van grote hoeveelheden organisch materiaal (bijvoorbeeld uit overstorten) kan een tekort aan zuurstof ontstaan met vooral negatieve gevolgen voor vissen en macrofauna. Gedempte stroming door stuwen versterkt dit effect evenals verhoogde primaire productie bij een hoge concentratie nutriënten (P en N). Deze nutriënten zijn voornamelijk afkomstig vanuit de landbouw en RWZI's.

Verhoogde concentraties nutriënten hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van fyto-benthos en macrofyten. Ook beschaduwning speelt hierbij een rol. Soorten van voedingstoffen arm water die in de goede toestand veel voor komen worden verdrongen door algemene soorten. De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.6.

Onderhoud van beken is sterk gekoppeld aan de natuurlijkheid van de inrichting. In gekanaliseerde beken is veel onderhoud nodig om te voorkomen dat de waterafvoer wordt bemoeilijkt door de plantengroei. De natuurlijke dynamiek in natuurlijkere wateren (zeker in combinatie met beschaduwning) voorkomen een uitbundige plantengroei waardoor geen of nauwelijks onderhoud nodig is. Omdat het onderhoud dus al indirect wordt meegenomen met meandering (en beschaduwning) is er geen aparte stuurvariabele voor opgenomen in de stromende wateren.

In het Kader is een discussiestuk opgenomen over de mogelijkheden om het stromingsregime als specifieke stuurvariabele toe te voegen. Een mogelijke stuurvariabele voor het stromingsregime zou de verhouding piekafvoer/basisafvoer kunnen zijn. De hoogte van deze ratio geeft een idee van de natuurlijke sponswerking die nog aanwezig is in het stroomgebied. De precieze invulling van een dergelijk factor moet nog apart bekeken worden en worden besproken met hydrologen. Het aanvullen van de datasets met dergelijke informatie leidt waarschijnlijk tot problemen door een gebrek aan gegevens. Omdat ook bij de Ex ante Evaluatie al was aangetoond dat zonder deze stuurvariabele goede voorspellingen kunnen worden gedaan is het stromingsregime nog niet meegenomen in de rekenregels. Het belangrijkste nadeel hiervan is dat hydrologische maatregelen zoals het verwijderen van drainage, het doorvoeren van peilgestuurde drainage en het vasthouden van water in de haarvaten nu niet aan een stuurvariabele kunnen worden gekoppeld en daarmee volgens de rekenregels geen effect hebben.

Tabel 2.6: Stuurvariabelen langzaam en snel stromende beken uitgesplitst naar hydromorfologische en chemische parameters

Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Meandering ⁴	5	1=recht+normprofiel, 2=gestrekt+natuurlijker dwarsprofiel, 3=zwak slingerend, 4=slingerend, 5= vrij meanderend
Verstuwing	3	1=sterk gestuwd zonder vistrappen, 2=gestuwd met vistrappen, 3=ongestuwd
Beschaduwing	3	1=onbeschaduwd zonder ruigte op de oevers, 2=gedeeltelijk beschaduwd of ruigte op de oever en 3=grotendeels of geheel beschaduwd (opgaande begroeiing/bos)
Chemische parameters	Eenheid	
BZV*	mg O ₂ /l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor organische belasting
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring

*BZV is Biochemisch Zuurstofverbruik (maat voor de organische belasting van een water)

⁴ De mate van meandering wordt uitgedrukt in sinuositeit. Sinuositeit is de lengte van de beek gedeeld door de lengte van het stroomdal. In het verleden zijn veel Nederlandse beken gekanaliseerd (rechtgetrokken) waardoor de sinuositeit sterk afnam. Tegenwoordig wordt door middel van beekherstel/hermeanderen getracht de sinuositeit te herstellen. Op basis van sinuositeit kunnen 5 klassen in meandering worden onderscheiden. Klasse 5 (sinuositeit >1.5) wordt in Nederland ook bij vrij meanderende beken vaak niet gehaald. Om voldoende differentiatie te krijgen, is bij het vullen van de datasets klasse 5 toegekend aan de vrij meanderende beken ondanks dat deze beken soms een (iets) lagere sinuositeit hadden dan 1.5.

1. Recht (sinuositeit 1)
2. Gestrekt (sinuositeit 1.01-1.05)
3. Zwak slingerend (sinuositeit 1.06-1.25)
4. Slingerend (sinuositeit 1.26-1.5)
5. Meanderend (sinuositeit >1.5)

Kader: stromingsregime als stuurvariabelen in langzaam en snel stromende beken

De factor stroming is in beken van belang voor zowel macrofauna, vis als waterplanten. Momenteel is deze factor in het expertsysteem nog niet expliciet gemaakt in de vorm van een stuurfactor. Stroming zit impliciet in de stuurvariabele meandering, waarbij de aanname is dat naarmate de meanderingsklasse hoger is er betere stromingscondities voor soorten aanwezig zijn. Ook stuwing en oeverbegroeiing hebben effecten op het stromingsregime. In de referentiesituatie infiltreert regenwater in de bodem van het stroomgebied en komt via het grondwater en deels via directe afspoeling in de beek. In droge tijden is de grondwaterstand in het gebied voldoende om voor een vrij constante basisafvoer met voldoende stroming te zorgen in de beek. In natte perioden wordt de afvoer wel verhoogd, maar is de afvoerpiek afgedempt en uitgesmeerd in de tijd. Hydromorfologisch treden slechts beperkte wijzigingen op in erosie- en sedimentatiepatronen in de beek, zeker wanneer voldoende structurelementen (bv bomen, takken, bladeren) aanwezig zijn. Bij deze condities zijn rheofiele beeksoorten goed in staat zich te handhaven. Dit zijn vaak de positiefscorende maatlatsoorten.

Met de toenemende kanalisatie, toenemend verhard oppervlak en verbeterde ontwatering in het stroomgebied treden piekafvoeren veel sneller na de buien op en zijn ze veel heftiger. Dit heeft tot gevolg dat hoge stroomsnelheden optreden en beken in het beekdal gaan insnijden en beekdalen verdrogen. Flora en fauna kunnen zich boven bepaalde drempelsnelheden niet meer handhaven in het habitat. Experimentele studies van Alterra aan macrofauna in veld- en laboratoriumsituaties laten dit zien en dat er soortspecifieke verschillen zijn, onder meer als gevolg van speciale aanpassingen van soorten. Hoge stroomsnelheden bij piekafvoeren (hoge afvoerdynamiek) leiden tot wijzigingen in de levensgemeenschappen. Er zijn aanwijzingen dat deze effecten beginnen op te treden bij piekafvoeren van meer dan 4x de mediane afvoer. De hypothese is dat dit effect groter wordt naarmate de herhalingsstijd van de piekafvoeren korter wordt. (CoP hermeanderen, dec 2008). Herstelmaatregelen kunnen zich richten op de beek zelf, maar ook op herstel van de hydrologie in het afwateringsgebied, zoals verwijderen drainage, dempen sloten, verhogen beekbodem, water vasthouden in haarvaten, afkoppelen van verhard oppervlak (infiltratie van regenwater) etc.

Keuze van een parameter voor stromingsregime als stuurfactor?

Een stuurfactor voor het expertsysteem (en de KRW Verkenner kennisregels) voldoet bij voorkeur aan de volgende eisen:

- 1) bewezen relatie met de EKR voor één of meer biologische kwaliteitselementen;
- 2) beschikbaar uit meetgegevens of eenvoudig te bepalen bijvoorbeeld uit karteerbare kenmerken.

Ad 1) bewezen relatie

Er is nog vrijwel geen onderzoek gedaan naar de relatie tussen hydrologische parameters en de ecologische respons, geaggregeerd als EKR. Verdonschot heeft een studie gedaan in het gebied van WS Brabantse Delta om hydrologische parameters te koppelen aan biologische (o.a. stromingsindex), maar dat werd sterk beperkt doordat de meetpunten voor beide aspecten niet voldoende aan elkaar gekoppeld kon worden. De biologische kwaliteitselementen worden meestal op andere punten gemeten dan de hydrologische metingen. Vermoedelijk is dit een algemeen probleem in alle beheersgebieden.

Ad 2) beschikbare meetgegevens

Het hierboven geschetste probleem beperkt de mogelijkheden sterk. Soms is de stroomsnelheid gemeten ten tijde van de biologische monsternamen. Vaak ook met een eenvoudige en onnauwkeurige methode. Dit is echter een momentopname terwijl de voorafgaande historie van de stroomsnelheid en afvoerpatroon vermoedelijk belangrijker zijn. Een oplossing voor het dataprobleem zou kunnen zijn dat de afvoerdynamiek modelmatig wordt gekoppeld aan de biologische meetgegevens. Voor verschillende gebieden zijn hydraulische modellen beschikbaar waarmee op elke plaats de afvoerdynamiek, herhalingsstijden en andere hydrologische parameters berekend kunnen worden. Deze kunnen dan uitgezet worden tegen de werkelijk bepaalde EKR's op die punten. Dit zou een onderbouwing kunnen opleveren voor het belang van de factor stromingsregime.

2.3.3 Diepe meren

In diepe meren zijn in feite twee relatief gescheiden ecosystemen aanwezig:

- een (soms smalle) oeverzone en;
- het diepe open water.

In diepe meren is de meeste vegetatie te vinden langs de oever tot ongeveer 2,5 meter diepte. Hier is bij voldoende helder water licht nog niet beperkend. Verhoogde concentraties van nutriënten (P en N) kunnen het doorzicht sterk verminderen en daarmee het deel van het meer waar planten kunnen groeien ook sterk reduceren. Macrofauna en vissen zijn sterk afhankelijk van deze vegetatie. Toevoer van nutriënten uit landbouwgebied of de grote rivieren is de voornaamste bron van nutriënten voor de diepe meren. Verhoogde concentraties nutriënten hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van de macrofyten. Soorten van voedingstoffen arm water die in de goede toestand veel voorkomen worden verdrongen door algemene soorten. Naast het doorzicht zijn de oeverinrichting en het peilbeheer van belang voor de ontwikkelingsmogelijkheden van waterplanten. Natuurvriendelijke oevers en een natuurlijk peilverloop (hoger in de winter dan in de zomer) zijn belangrijk voor de ontkieming van helofyten in de oeverzone.

In het diepe water groeien door lichtlimitatie nauwelijks planten. Verhoogde concentraties nutriënten kunnen hier leiden tot (blauw)algenbloeien. De ecologische waterkwaliteit wordt in de diepe delen voornamelijk bepaald door de aanwezige macrofauna en vissen. Onder bepaalde omstandigheden kan dit in deze wateren leiden tot stratificatie (zie Kader). Als gevolg van hoge primaire productie (algen) door hoge nutriëntengehalten kunnen hier zuurstofarme omstandigheden ontstaan door het zuurstofverbruik bij de afbraak van organisch materiaal.

De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.7.

Tabel 2.7: Stuurvariabelen zoete diepe meren uitgesplitst naar hydromorfologische en chemische parameters

Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Oeverinrichting	3	1=beschoeid of steil en onbegroeid, 2=riet/helofyten, 3=moeras+riet/helofyten
Peildynamiek	3	1=tegenatuurlijk, 2=stabiel, 3=natuurlijk
Chemische parameters	Eenheid	
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring

Kader: Stratificatie

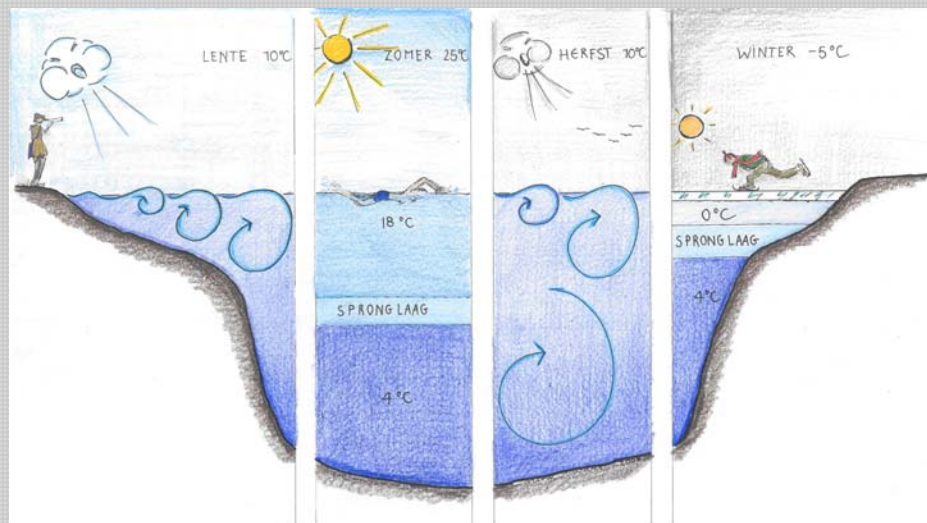
Stratificatie is het gevolg van de dichtheid van water bij verschillende temperaturen. De dichtheid van water is het grootst bij 4 graden Celcius. Bij deze temperatuur is het water dus ook het zwaarst; kouder en warmer water zijn lichter. Water van 4 graden zal dus altijd de onderste waterlaag zijn. Als gevolg hiervan veranderen de karakteristieken van een meer met de seizoenen (zie ook illustratie, gemaakt door Mevr. C. Zwart, Royal Haskoning voor de KRW-brochure van Stroomgebied Schelde).

In het vroege voorjaar vindt **lenticirculatie** plaats doordat de temperatuur van het water oploopt. Bij een temperatuur van 4 graden zijn de dichtheidsverschillen tussen het water op de bodem en het water aan het oppervlak zo klein dat de wind het meer over de hele diepte mengt.

Tegen de zomer neemt de watertemperatuur aan het oppervlak toe tot ongeveer 18 graden. Het verschil in dichtheid wordt nu zo groot dat er als het ware drie lagen ontstaan. Een warme bovenlaag en een koude onderlaag met daartussen een spronglaag. In de spronglaag neemt de temperatuur richting onderlaag geleidelijk af tot 4 graden. Door de aanwezigheid van een spronglaag wordt de koude onderlaag van de warme bovenlaag gescheiden en treedt de **zomerstagnatie** op. Het water in de koude onderlaag is nu een vrijwel onverstoorbare watermassa. Door verminderde uitwisseling met bovenliggende lagen kunnen lage zuurstofgehalten optreden.

In de herfst daalt de watertemperatuur en stijgt de dichtheid van de bovenste waterlaag. Dichtheden van de verschillende waterlagen worden langzaam maar zeker weer gelijk. Als gevolg hiervan verdwijnt de spronglaag en wordt de barrière opgeheven. De wind kan nu het meer over de hele diepte weer mengen. Dit wordt **herfstcirculatie** genoemd. Voedingsstoffen die in de zomer onbereikbaar waren, zijn nu weer door de gehele waterkolom verspreid en beschikbaar voor algen. Daardoor treedt in de herfst ook vaak algenbloei op.

In de winter zal de watertemperatuur weer gaan dalen. Wanneer het gaat vriezen is omgekeerde stratificatie mogelijk. Het koude water van 0 graden bevindt zich nu bovenop de warmere laag van 4 graden. De aanwezigheid van ijs op het water zorgt er voor dat de wind geen grip kan krijgen op de waterkolom. Dit wordt **winterstagnatie** genoemd en blijft totdat de ijslaag weer verdwijnt.



2.3.4 Ondiepe meren

In de ondiepe meren is bij voldoende doorzicht in vrijwel het gehele water ontwikkeling van waterplanten mogelijk. Verhoogde concentraties van nutriënten (P en N) kunnen het doorzicht sterk verminderen en daarmee het deel van het meer waar planten kunnen groeien ook sterk reduceren. Toevoer van nutriënten uit landbouwgebied of de grote rivieren zijn de voornaamste bronnen van nutriënten in deze wateren. In meren met een veenondergrond kan de aanvoer van gebiedsvreemd water daarnaast leiden tot interne eutrofiëring (STOWA, 2008). Verhoogde concentraties nutriënten hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van de macrofyten. Soorten van voedingstoffen arm water die in de goede toestand veel voorkomen worden verdrongen door algemene soorten. Naast het doorzicht zijn de oeverinrichting en het peilbeheer van belang voor de ontwikkelingsmogelijkheden van waterplanten in de oeverzone. Natuurvriendelijke oevers en een natuurlijk peilverloop (hoger in de winter dan in de zomer) zijn belangrijk voor de ontkieming van helofyten.

Of een ondiep meer bij een bepaalde belasting van nutriënten (vooral fosfor) in de heldere of de troebele situatie verkeert, is afhankelijk van vele parameters: diepte, strijklengte, bodemtype, aandeel moeraszone, verblijftijd, visserij intensiteit. Deze parameters samen bepalen de kritische belasting van een meer (STOWA, 2008). Als gevolg van hysteresis zijn er twee kritische belastingen behorende bij twee stabiele toestanden:

- P_{krit1} : (kritische belasting met fosfor) omslagpunt wanneer uit een troebele situatie terug naar de heldere situatie moet worden gegaan.
- P_{krit2} : omslagpunt wanneer een heldere water troebel wordt.

De waarde van P_{krit1} is (veel) lager dan die van P_{krit2} . Door aanvullende maatregelen (meestal visstandbeheer) kan de fosforbelasting waarbij de heldere toestand weer terugkomt, dicht bij P_{krit2} komen te liggen.

De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.8.

Tabel 2.8: Stuurvariabelen zoete ondiepe meren uitgesplitst naar hydromorfologische en chemische parameters

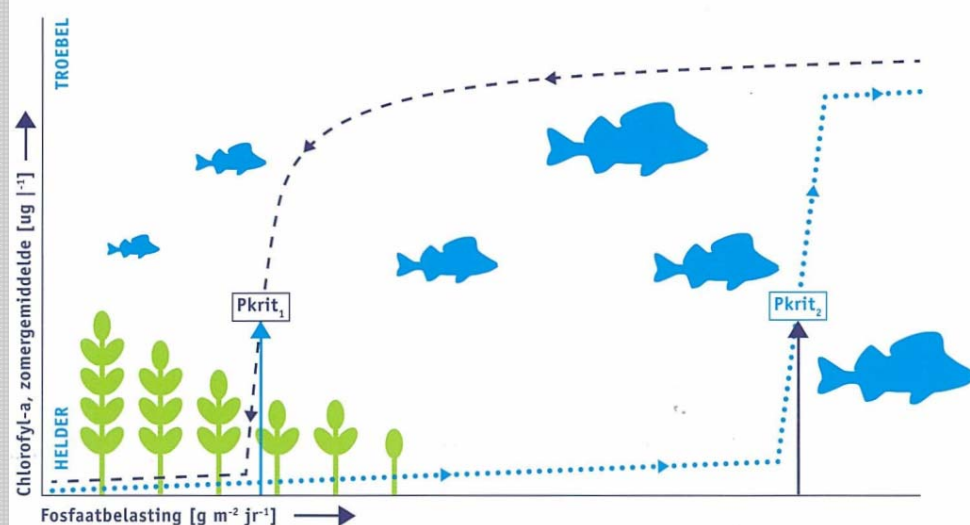
Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Oeverinrichting	3	1=beschoeid of steil en onbegroeid, 2=riet/helofyten, 3=moeras+riet/helofyten
Peildynamiek	3	1=tegennatuurlijk, 2=stabiel, 3=natuurlijk
Visstandbeheer	2	1=nee, 2=ja
Chemische parameters	Eenheid	
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
$P_{belasting}/P_{krit1}$	-	Jaarlijkse toevoer van fosfaat (in gP/m ² /jaar) ten opzichte van de laagste kritische belasting van het betreffende meer
$P_{belasting}/P_{krit2}$	-	Jaarlijkse toevoer van fosfaat (in gP/m ² /jaar) ten opzichte van de hoogste kritische belasting van het betreffende meer

Kader: Hysterese, twee stabiele toestanden bij gelijke belasting

Bij het onderzoek naar de relatie waterkwaliteit en biologische kwaliteit wordt in ondiepe meren gebruik gemaakt van het concept van alternatieve stabiele toestanden. Een belangrijk onderdeel van dit concept is hysterese. Hysterese is het verschijnsel dat het verband tussen oorzaak en gevolg niet alleen afhangt van de grootte van de oorzaak, maar ook van de richting waarin de oorzaak verandert. In het geval van de ondiepe meren is sprake van hysterese wanneer na een lange opbouw van veranderende omstandigheden sprake is van een snelle omslag (P_{krit2} in onderstaande figuur), waarna de omstandigheden weer tot ver beneden het eerdere omslagpunt moeten terugkeren voordat de tegenovergestelde omslag plaatsvindt (P_{krit1} in onderstaande figuur). Bron: STOWA (2008)

ALTERNATIEVE STABIELE TOESTANDEN (HELDER EN TROEBEL)

Alternatieve stabiele toestanden (helder en troebel) in relatie tot de nutriëntenbelasting.



2.3.5 Kanalen

In kanalen is bij voldoende doorzicht in vrijwel het gehele water ontwikkeling van waterplanten mogelijk. Dit is echter niet het geval in kanalen waar (intensief) gevaren wordt. In het bevaren deel van het kanaal is dan vrijwel geen plantengroei mogelijk, voornamelijk door turbulentie. Enkel in de beschutte oeverdelen kan dan ontwikkeling van vegetatie plaatsvinden. Omdat veel kanalen zijn gegraven voor de scheepvaart zijn specifieke maatregelen voor dergelijke kanalen afgeleid (KRW-typen M6b en M7b; Evers & Knoben [red], 2008). Intensieve scheepvaart bemoeilijkt de ontwikkeling van algen. Door turbulentie kunnen de chlorofylconcentraties bij scheepvaart zeer laag blijven ondanks hoge nutriëntengehalten.

In kanalen zonder intensieve scheepvaart kunnen verhoogde concentraties van nutriënten (P en N) wel leiden tot verhoogde concentraties algen. Door de algen kan het doorzicht sterk verminderen en daarmee zal het deel van het kanaal waar planten kunnen groeien ook sterk reduceren. Toevoer van nutriënten van RWZI's, uit de landbouw of de grote rivieren is de voornaamste nutriëntenbron voor de kanalen.

In kanalen met een veenondergrond kan de aanvoer van gebiedsvreemd water daarnaast leiden tot interne eutrofiëring (STOWA, 2008). Verhoogde concentraties nutriënten hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van de macrofyten. Soorten van voedingstoffen arm water die in de goede toestand veel voorkomen worden verdrongen door algemene soorten.

Naast het doorzicht is de oeverinrichting en het peilbeheer van belang voor de ontwikkelingsmogelijkheden van waterplanten in de oeverzone. Natuurvriendelijke oevers en een natuurlijk peilverloop (hoger in de winter dan in de zomer) zijn belangrijk voor de ontkieming van helofyten. Een goede kwaliteit voor vissen en macrofauna is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van waterplanten. Intensief (maai- en bagger-) beheer kan ook sterk negatieve invloed hebben op de ontwikkeling van macrofyten.

De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.9.

Tabel 2.9: Stuurvariabelen kanalen uitgesplitst naar hydromorfologische en chemische parameters

Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Oeverinrichting	3	1=beschoeid, 2=steil, 3=flauw/moerassig (NVO*)
Peildynamiek	3	1=tegennatuurlijk, 2=stabiel, 3=natuurlijk
Onderhoud ⁵	2	1=intensief, 2=extensief
Scheepvaart	2	1=intensief bevaren, 2 niet of nauwelijks bevaren
Chemische parameters	Eenheid	
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring

*NVO staat voor Natuurvriendelijke oevers

2.3.6 Sloten

In sloten is bij voldoende doorzicht in vrijwel het gehele water ontwikkeling van waterplanten mogelijk. Verhoogde concentraties van nutriënten (P en N) kunnen het doorzicht sterk verminderen en daarmee het deel van de sloot waar planten kunnen groeien ook sterk reduceren. Toevoer van nutriënten uit de landbouw is de voornaamste nutriëntenbron voor de sloten. Lokaal kunnen overstorten een belangrijk rol spelen. In sloten met een veenondergrond kan de aanvoer van gebiedsvreemd water daarnaast leiden tot interne eutrofiëring (STOWA, 2008). Verhoogde concentraties nutriënten hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van de macrofyten. Soorten van voedingstoffen arm water die in de goede toestand veel voorkomen worden verdrongen door algemene soorten. Een goede kwaliteit voor vissen en macrofauna is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van waterplanten.

Naast het doorzicht is de oeverinrichting en het peilbeheer van belang voor de ontwikkelingsmogelijkheden van waterplanten. Natuurvriendelijke oevers en een natuurlijk peilverloop (hoger in de winter dan in de zomer) zijn belangrijk voor de ontkieming van helofyten.

⁵ De mate van intensiteit van het onderhoud was meestal alleen kwalitatief beschikbaar. Wanneer werd aangegeven dat voor de KRW het onderhoud extensief zou gaan worden uitgevoerd als maatregel, is aangenomen dat het in de huidige situatie intensief is.

Intensief (maai- en bagger-) beheer kan ook sterk negatieve invloed hebben op de ontwikkeling van macrofyten. De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.10.

Tabel 2.10: Stuurvariabelen sloten uitgesplitst naar hydromorfologische en chemische parameters

Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Oeverinrichting	3	1=beschoeid, 2=steil, 3=flauw/moerassig (NVO*)
Peildynamiek	3	1=tegennatuurlijk, 2=stabiel, 3=natuurlijk
Onderhoud	2	1=intensief, 2=extensief
Chemische parameters	Eenheid	
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring

*NVO staat voor Natuurvriendelijke oevers

2.3.7 Zwak brakke en brakke tot zoute wateren

Zwak brakke en brakke tot zoute wateren komen vooral voor in het zeeleigebied langs de kust. De vorm en grootte van deze wateren variëren sterk. Voorbeelden zijn kreekrestanten, plassen, sloten en kanalen. Sommige wateren zijn natuurlijk ontstaan, andere zijn door de mens aangelegd. De bodem bestaat meestal uit klei of zand. Omdat de invloed van het zout dominant is over andere factoren is het chloridegehalte een belangrijke stuurfactor (Van de Molen & Pot [red], 2007). Van nature neemt het zoutgehalte van deze wateren in de zomer toe door verdamping van het water, waarbij het zout achterblijft. In de winter neemt het zoutgehalte af door een neerslagoverschot (verdunding). Wanneer wateren door dijken en stuwen geïsoleerd zijn, vergroot dit de fluctuaties in het chloridegehalte door beperkte verversing. Deze verlaagde connectiviteit is ook nadelig voor de bereikbaarheid van deze wateren voor vissen en in mindere mate macrofauna.

Natuurvriendelijke oevers en een natuurlijk peilverloop (hoger in de winter dan in de zomer) zijn belangrijk voor de ontkieming van helofyten. Verhoogde concentraties nutriënten kunnen tot een verminderd doorzicht leiden en hebben ook gevolgen voor de soortensamenstelling van de macrofyten. Een goede kwaliteit voor vissen en macrofauna is mede afhankelijk van de aanwezigheid van waterplanten. Intensief (maai- en bagger-) beheer kan ook sterk negatieve invloed hebben op de ontwikkeling van macrofyten.

De stuurvariabelen met de bijbehorende klassen zijn weergegeven in tabel 2.11.

Tabel 2.11: Stuurvariabelen zwak brakke en brakke tot zoute wateren uitgesplitst in hydromorfologische en chemische parameters

Hydromorfologische parameters	Klassen	Waarden en omschrijving
Oeverinrichting	3	1=beschoeid, 2=steil, 3=flauw/moerassig (NVO*)
Peildynamiek	3	1=tegennatuurlijk, 2=stabiel, 3=natuurlijk
Onderhoud	2	1=intensief, 2=extensief
Connectiviteit	3	1=geïsoleerd, 2=periodiek geïsoleerd, 3=open verbinding
Chemische parameters	Eenheid	
Chloride gehalte	mg Cl/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor verzoeting
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring

*NVO staat voor Natuurvriendelijke oevers

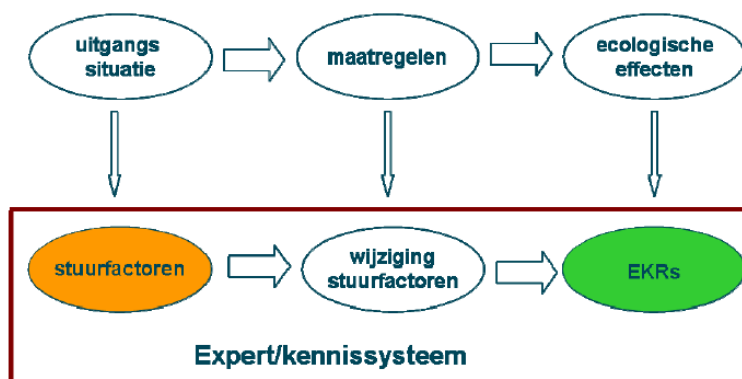
2.4 Het Neuraal netwerk

Het Neuraal netwerk is beschreven in het rapport “*Ontwikkeling en toepassing ecologisch expertsysteem voor regionale wateren; achtergrondrapport Ex ante Evaluatie KRW*” (Knoben *et al.*, 2008). Samenvattend gaat het om het volgende:

Een Neuraal netwerk is een zelflerend systeem dat vanuit aangeboden combinaties van gegevens patronen en ‘kennisregels’ kan opslaan (geheugen) en reproduceren. De leerset is cruciaal voor de werking van het netwerk. Nieuw aangeboden invoergegevens worden opgezocht in het geheugen en leiden tot een nieuwe uitvoer.

Voor het voorspellen van ecologische effecten van maatregelen is de volgende methodiek gevolgd: de situatie vóór het nemen van maatregelen wordt uitgedrukt in een aantal relevante stuurfactoren. De maatregel leidt tot een verandering in de stuurfactoren en de uitvoer is ten slotte het ecologische effect, uitgedrukt als Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) op de KRW-maatlatten (zie figuur 2.1).

Figuur 2.1: relatie stuurfactoren, maatregelen en ecologische effecten (EKR's)



De basis van het Expertsysteem en de rekenregels is een uitgebalanceerde dataset waarin zoveel mogelijk situaties zijn opgenomen. Het belangrijkste is dat de complete ecologische kwaliteitsgradiënt van slecht tot zeer goed is vertegenwoordigd, omdat je met neurale netwerken alleen kan interpoleren en niet extrapoleren.

Daarnaast is er naar gestreefd om zo veel mogelijke combinaties aan waarden voor stuurvariabelen op te nemen. Het Expertsysteem (Neuraal netwerk) wordt getraind met willekeurig 80% van de dataset. Het getrainde netwerk wordt vervolgens getest op reproduceerbaarheid van de gehele dataset en ten slotte gevalideerd met een kleinere subset (de overige 20% van de dataset die niet gebruikt is bij de training). Indien de juiste stuurvariabelen zijn gekozen en de waarden daarvan correct zijn ingevuld, zou de voorspelde huidige toestand sterk moeten correleren met de daadwerkelijk getoetste (waargenomen) huidige toestand. Het resultaat is een getraind netwerk en een uitgebalanceerde dataset. Het netwerk kan in de toekomst worden gebruikt voor verdere analyses zoals bijvoorbeeld ook voor de Ex ante zijn uitgevoerd. Omdat met het Neuraal netwerk geen formules uitgevoerd kunnen worden, is het niet mogelijk om hiermee rekenregels af te leiden. Met regressieboom-analyse is dit wel mogelijk. De met het Neuraal netwerk gecontroleerde datasets zijn gebruikt om met deze techniek de ecologische rekenregels uit af te leiden voor de KRW-Verkenner (zie paragraaf 2.5).

2.5 Regressieboom-analyse en afleiding ecologische rekenregels

Regressieboom-analyse

Regressiebomen of *regression trees* vallen onder de methodiek die in het Engels afgekort wordt als 'CART', ofwel Classification And Regression Trees. De methode wordt ook wel aangeduid met de term *decision tree learning* (zie bijvoorbeeld: http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree_learning).

De methode is een inzichtelijke techniek waarmee de relaties tussen een variabele y_i en verklarende variabelen $x_{1,i}$, $x_{2,i}$, $x_{3,i}$, ..., $x_{m,i}$ geschat kan worden. Hierbij mogen de relaties tussen een y_i - en een x_i -variabele niet-lineair zijn. Overigens wordt met de term 'classification tree' de situatie bedoeld waarbij de y -variabele een nominaal karakter heeft, dus bijvoorbeeld '0' of '1'. Bij regressiebomen is de y -variabele een continue grootheid.

In dit rapport wordt voor 'y' steeds een EKR-maatlat gekozen en voor de x-en een aantal stuurvariabelen, zoals peilbeheer, oeverinrichting, totaal fosfor of totaal stikstof. Omdat EKR-waarden continu zijn, leidt dit tot regressiebomen.

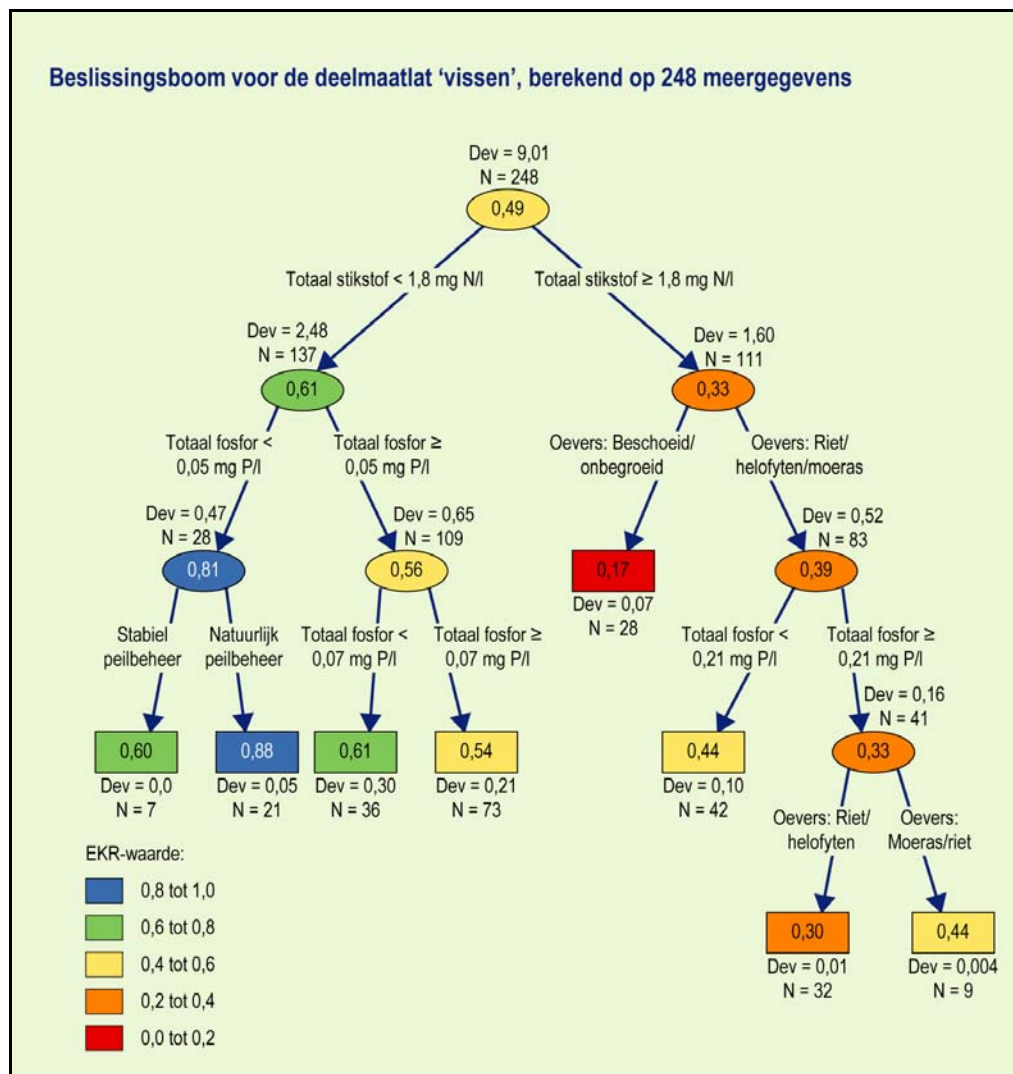
Hoe werkt het schatten van een regressieboom? Bij een regressieboom wordt gekeken of de variabiliteit van de y -variabele sterk verminderd kan worden door te 'knippen' op de waarde van één van de x -variabelen. De set van y -waarden kan bijvoorbeeld verdeeld worden over twee deelsets: deelset I bevat alle y -waarden waarvoor $x_3 > 4.0$, en deelset II alle y -waarden waarvoor $x_3 \leq 4.0$. Zo'n knip heeft alleen voordeel als de variabiliteit van y in beide deelsets *veel minder* is dan de variabiliteit zonder de knip. Het regressieboom-algoritme zoekt dan naar die x -variabele welke de grootste vooruitgang boekt in het reduceren van de variabiliteit in y . Als die variabele dan x_3 blijkt te zijn, zoekt het algoritme naar de optimale knip, bijvoorbeeld $x_3 = 4.0$, om de y -waarden over twee deelsets te verdelen.

Na zo'n eerste knip wordt gezocht naar een tweede knip, een derde knip, etc. Het algoritme stopt wanneer er minder dan een van te voren opgegeven aantal y -waarden overblijft na een knip. Het splitsproces kan weergegeven worden door een boomstructuur, zoals hierna getoond. De gemiddelde waarde van een groep y -data wordt hierbij aangegeven door een ellips (een knoop) of een rechthoek (een eindknoop).

Knopen zijn verbonden door een splitswaarde op een van de x-en. Als de boom te groot wordt, dan kan hij 'teruggesnoeid' worden (*pruning*).

De methode wordt hierna geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld. In figuur 2.2 is een regressieboom gegeven waarbij de te verklaren variabele de EKR-waarden van de deelmaatlat 'vissen' is (in meren), waarbij vier stuurvariabelen voorhanden zijn. Dit zijn oeverinrichting, peilbeheer, totaal fosfor en totaal stikstof.

Figuur 2.2: Voorbeeld regressieboom voor deelmaatlat 'vissen' (bron: Visser *et al.*, 2008)



De boom is geschat voor 248 meergegevens. Het gemiddelde van EKR-waarden na een knip op een van de stuurvariabelen staat in een ellips of rechthoek. Dit worden de knopen van de boom genoemd. Bij elke knoop staat de zogenaamde deviantie (= som van gekwadrateerde verschillen met het gemiddelde) en het aantal wateren dat in die knoop terecht komt.

De boom in figuur 2.2 moet van boven naar beneden gelezen worden: de belangrijkste vooruitgang wordt geboekt in de eerste knip, hier op de variabele 'Totaal stikstof', bij een knipwaarde van 1.8 mg N/l.

De gemiddelde EKR-waarde van alle 248 EKR-waarden is 0.49 en staat in de bovenste ellips (knoop). Door nu te knippen op 'Totaal stikstof' worden de EKR-waarden verdeeld over twee groepen: de linker knoop heeft een gemiddelde waarde van 0.61 en de rechter knoop van 0.33. Dit betekent dat als de totaal stikstofconcentratie van meren gebracht kan worden naar waarden onder de 1.8 mg N/l, dat dan, gemiddeld gezien, de ecologische kwaliteit sterk vooruit gaat: van gemiddeld 0.49 (matige ecologische toestand) naar 0.61 (een goede ecologische toestand).

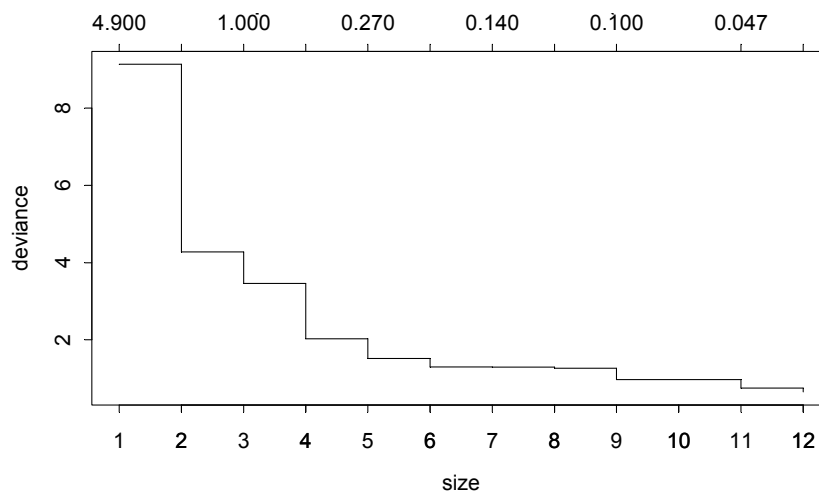
Elk van beide knopen kan nu weer gesplitst worden, op dezelfde manier als de eerste splitsing, etc. De boom laat zien dat de *hoogste* gemiddelde EKR-waarde (0.88) gevonden wordt voor meren waarvoor 'Totaal stikstof' kleiner is dan 1.8 mg N/l, 'Totaal fosfor' lager is dan 0.05 mg P/l en een peilbeheer in klasse 3. Omgekeerd geldt voor de meren met de *laagste* EKR-waarden (0.17) een 'Totaal stikstof' groter dan 1.8 mg N/l en tegelijkertijd een oeverinrichting in klasse 1 (= beschoeid / onbegroeid).

Hoe kan de vooruitgang na elke knip bepaald worden? De vooruitgang kan berekend worden uit de getallen onder de knopen: de zogenaamde *devianties*. Dit is de som van de gekwadeerde verschillen tussen de EKR-waarde van een meer en het gemiddelde in de knoop waartoe hij behoort (het getal in de ellips of rechthoek). De bovenste knoop heeft deviantie 9.01 en dat is de som van alle 248 kwadratische afwijkingen van 0.49. **NB:** als een deviantie gedeeld wordt door het aantal meren, dan wordt de variantie van alle meren gevonden die tot een knoop behoren.

Na de eerste splitsing is de deviantie teruggelopen naar $2.48 + 1.60 = 4.08$. Dat is ten opzichte van de bovenste knoop een reductie van $100\% * (9.01 - 4.08) / 9.01 = 55\%$. Wordt één laag in de boom 'gezakt', dan is de totale deviantie gedaald naar $0.47 + 0.65 + 0.07 + 0.52 = 1.71$. Dit is een reductie ten opzichte van de bovenste knoop van $100\% * (9.01 - 1.71) / 9.01 = 81\%$. Als alle 8 eindknoten (de rechthoeken) samengenomen worden, bedraagt de reductie 92%.

In het schattingsproces van de boom uit figuur 2.2 is teruggesnoeid naar een boom met 8 knopen. Om dit getal van 8 knopen te vinden, wordt een terugsnoui-grafiek gebruikt die gegeven is in figuur 2.3. Op de y-as staat de totale deviantie van een boom en op de x-as het aantal bijbehorende knopen van de geschatte boom. Omdat de deviantie niet veel meer afneemt bij een boom met meer dan 8 knopen, is voor dit getal gekozen. De boom kan wel groter gekozen worden (bijvoorbeeld 12 of meer knopen), maar de winst, in termen van lagere devianties, wordt dan zeer gering.

Figuur 2.3: Het snoei-algoritme geeft een figuur met devianties op de y-as en boomgrootte op de x-as (*size*) (Hieruit kan afgelezen worden tot welk aantal eindknopen de boom moet worden teruggesnoeid.)



Een uitvoerige beschrijving van de regressieboom-techniek is gegeven in Visser *et al.* (2008). Zie verder ook Venables and Ripley (2002, Chapter 9).

Van Regressiebomen naar ecologische rekenregels

De regressiebomen die op bovenstaande wijze worden afgeleid, kunnen met formules vrij gemakkelijk worden omgezet in rekenregels. De regressiebomen die zijn gebaseerd op de complete datasets (code 1-4; zie bijlage 1 en 2) worden hiervoor gebruikt. Het resultaat hiervan is dat naar gelang de waarden van de stuurvariabelen de boom wordt doorlopen en uiteindelijk leidt tot een eindknoop met een bepaalde gemiddelde EKR. Afhankelijk van het aantal eindknopen in de boom kan een bepaald aantal discrete EKR-waarden behaald worden. Een volledige gradiënt tussen 0-1 is echter vaak niet mogelijk doordat de uitkomsten niet continue zijn en soms door gebrek aan eindknopen in een bepaalde kwaliteitsklasse.

2.6 Beperking van methoden

Neurale netwerken, regressieboom-analyse, maar ook statistische technieken zoals multiple regressie, zijn gebaseerd op patroonherkenning. Dat wil zeggen dat de variaties in EKR's vergeleken worden met variaties in een aangeboden achtergrondvariabele. Als een EKR-waarde vaak hoog is bij een lage waarde voor totaal fosfor en vice versa, dan wordt aangenomen dat totaal fosfor een voorspellende kracht bezit voor die EKR. Vervolgens gaat elke methode op zijn eigen wijze invullen hoe die voorspelling er dan precies uitziet.

Maar wat als er een aantal verklarende variabelen zijn, bijvoorbeeld totaal fosfor en totaal stikstof, die onderling veel op elkaar lijken (onderlinge correlatie hoger dan bijvoorbeeld $R=0.8$)? In dat geval leveren genoemde methoden wel goede voorspellingen maar het is moeilijk aan te geven of die voorspelling gebaseerd is op een verband tussen een EKR enerzijds en totaal fosfor anderzijds, of een verband tussen een EKR enerzijds en totaal stikstof anderzijds, of op een verband tussen een EKR enerzijds en een combinatie van totaal fosfor en totaal stikstof anderzijds. Dit verschijnsel heet in de statistiek multicollineariteit.

In principe is het probleem van multicollineariteit niet oplosbaar binnen de statistiek. Indien mogelijk kunnen wel keuzes gemaakt worden op basis van biologisch inzicht.

Een eerste stap in een analyse is natuurlijk om te kijken of verklarende variabelen (hier: stuurvariabelen) überhaupt onderling hoog gecorreleerd zijn, en dus of multicollineariteit de interpretatie van resultaten kan beïnvloeden. In dit rapport is dat visueel onderzocht door het maken van scatterplot-matrices. Zie paragraaf 3.1.1 in Visser et al. (2008) voor methodische uitleg.

Als meerdere stuurvariabelen hoog tot zeer hoog gecorreleerd zijn, dan zou op basis van biologisch inzicht één of meer variabelen weggelaten kunnen worden uit de analyse. Een andere aanpak, die hier niet zo van toepassing is, is het transformeren van een set van hooggecorreleerde verklarende variabelen naar zogenaamde hoofdcomponenten. Deze hoofdcomponenten hebben de eigenschap onderling niet gecorreleerd te zijn. Een nadeel van hoofdcomponenten is dat de biologische interpretatie van een dergelijke component onduidelijk is geworden door de wiskundige transformatie.

In het geval van regressieboom-analyse bestaat er de mogelijkheid om bij een specifieke knip in de boom, die bijvoorbeeld geldt op basis van een drempelwaarde in totaal fosfor, terwijl we dat graag zouden doen (op biologische gronden) op basis van totaal stikstof, een nieuwe regressieboom te schatten vanaf de knoop in kwestie. We bieden dan voor de geselecteerde wateren in die knoop niet totaal fosfor aan, maar alleen totaal stikstof (en eventueel andere variabelen die niet hoog gecorreleerd zijn met totaal fosfor en totaal stikstof). Deze aanpak is in dit rapport niet gevolgd, maar is voor vervolgonderzoek wel een relevante mogelijkheid.

De conclusie is dat een hoog verband tussen verschillende stuurvariabelen, een goede interpretatie van de resultaten kan bemoeilijken (multicollineariteit). Op basis van biologisch inzicht kunnen overcomplete variabelen geheel of ook gedeeltelijk uit de analyse weggelaten worden. Dit geldt vooral voor regressieboom-analyse en in mindere mate voor neurale netwerken.

3 OPBOUW VAN DE DATASETS

3.1 Algemeen

Voor de afleiding van de kennisregels met de Regressieboom-analyse is per watertypencluster een uitgebalanceerde dataset noodzakelijk. De belangrijkste bronnen van gegevens voor de EKR's in deze studie zijn de landelijke databases www.KRWdoelen.nl voor alle kwaliteitselementen (CSN), Limnodata Neerlandica voor aquatische flora en fauna (STOWA) en Piscaria voor vis (Sportvisserij Nederland). De datasets bevatten de waarden van de hydromorfologische en chemische stuurvariabelen en de EKR's op één meetpunt of in één waterlichaam. De KRW-waterlichamen bestaan uit lijn- en vlakvormige wateren, terwijl de Limnodata en Piscaria-gegevens puntlocaties betreffen. Sloten, kanalen en beken zijn bijna altijd lijnvormig, meren bijna altijd vlakvormig, terwijl de brakke wateren beide kunnen zijn.

Het Neuraal netwerk is in eerste instantie gebruikt om de datasets te controleren op ontbrekende bereiken aan EKR's en vreemde uitschieters. Daarnaast is het Neuraal netwerk gebruikt om te controleren of de geselecteerde stuurvariabelen de EKR's voldoende kunnen voorspellen. Deze datasets zijn ook bruikbaar als trainingset voor het Expertstelsel op basis van hetzelfde Neuraal netwerk.

3.2 Hydromorfologische stuurvariabelen

Voor het bepalen van de waarden van de hydromorfologische stuurvariabelen *oeverinrichting*, *meandering*, *beschaduwing* en *onderhoud* is bij de lijnvormige lichamen een gemiddelde waarde over de hele lengte bepaald. Als een beek voor de helft van de lengte rechtgetrokken is (waarde 1), terwijl de andere helft zwak slingerend is (waarde 3), dan krijgt de stuurvariabele *meandering* van die beek de waarde 2. Als een sloot eenzijdig een natuurvriendelijke oever over één derde van de lengte heeft (waarde 3), terwijl de tegenoverliggende oever steil is maar onbeschoeid (waarde 2) en de rest beschoeid is (waarde 1), dan wordt de waarde voor de stuurvariabele *oeverinrichting* $1,5 (1/6 \times 3 + 1/6 \times 2 + 2/3 \times 1)$. Bij meren (vlakvormig) is voor de oeverinrichting op dezelfde wijze de waarde bepaald (perimeter). Voor de Limnodata en Piscaria-meetpunten is lokaal, dat wil zeggen enkele honderden meters stroomop- en stroomafwaarts, een gemiddelde waarde bepaald. Dit is gedaan omdat de bijhorende EKR alleen representatief is voor deze lokale omstandigheden en niet voor een heel waterlichaam.

De stuurvariabelen *peildynamiek*, *connectiviteit*, *verstuwning* en *scheepvaart* hebben vrijwel altijd invloed op een waterlichaam als geheel; dat wil zeggen, er is één waarde die geldt voor het hele waterlichaam (of zone rond een Limnodata en Piscaria-punt).

De stuurvariabelen *oeverinrichting*, *meandering*, *beschaduwing* en *onderhoud* zijn voornamelijk bepaald met satelliet- en luchtfoto's (Google Earth), KRW-factsheets van de waterlichamen en documenten van de waterbeheerders. De *peildynamiek* is gevonden in peilbesluiten, leggers, keuren en waterbeheerplannen. De *connectiviteit* (brakke en zoute wateren: mate waarin een waterlichaam in verbinding staat met andere waterlichamen) en *verstuwning* (beken: aanwezigheid van blokkerende dammen, stuwen en gemalen) is vooral met satelliet- en luchtfoto's bepaald, ondersteund door informatie over gemalen en stuwen in documenten van waterbeheerders en belangenverenigingen.

Over het algemeen zijn de waarden voor de stuurvariabelen op deze manier vrij goed te bepalen. Waar de onzekerheid groot was, is het betreffende waterlichaam of meetpunt niet meegenomen in de uiteindelijke dataset.

De intensiteit van *scheepvaart* (kanalen) ten slotte hangt samen met het KRW-type: kanalen van het type M6b en M7b hebben veel scheepvaart, de andere typen minder of geen (Evers & Knobens, 2008).

3.3 Chemische stuurvariabelen

De waarden voor de chemische stuurvariabelen; totaal stikstof, totaal fosfor, BZV en chloride zijn afkomstig van twee bronnen:

- www.KRWdoelen.nl;
- Limnodata neerlandica (zie Kader).

Voor de waterlichamen in de dataset is in veel gevallen de huidige toestand van nutriënten bekend en opgenomen op de website www.KRWdoelen.nl. De gaten die hier nog in zaten zijn gevuld met gegevens uit de Limnodata.

BZV is een parameter die voor de KRW niet gemeten hoeft te worden en daarom ook niet is opgenomen op www.KRWdoelen.nl. Alle waarden voor BZV zijn daarom afkomstig uit de Limnodata. Overigens is BZV in de huidige situatie zelden nog hoog in tegenstelling tot monsters uit het verleden (vooral de jaren '80). De waarden van de overige chemische stuurvariabelen, behorende bij de Limnodata-meetpunten en Piscaria-meetpunten, zijn ook afkomstig uit de Limnodata.

De huidige belasting met fosfor en de kritische fosforbelastingen in de ondiepe meren zijn geleverd door Witteveen+Bos.

Kader: Limnodata Neerlandica (www.limnodata.nl)

De Limnodata Neerlandica is een grote database met aquatisch-ecologische gegevens. Deze database is in beheer bij de STOWA (uitbesteed aan Royal Haskoning) die met deze gegevens onderzoeken voor het waterbeheer faciliteert. Voorbeelden zijn verspreidingsonderzoek, trendanalyses en de ontwikkeling van ecologische beoordelingsmethoden. Daarnaast staan de gegevens ook ter beschikking aan het biodiversiteitsportaal (NLBIF). De ecologische gegevens zijn afkomstig van de waterbeheerders in Nederland, waterschappen, hoogheemraadschappen en Rijkswaterstaat. Deze verzamelen in hun monitoringsprogramma's biologische monsters in een groot aantal wateren om de toestand en ontwikkelingen van de kwaliteit in de gaten te houden. Daarnaast bevat de Limnodata ook gegevens uit incidentele onderzoeken en van andere instanties. Jaarlijks organiseert de STOWA een inwinningsronde om de meest recente gegevens toe te voegen aan de database.

De basiseenheid in de Limnodata bestaat uit biologische monsters of opnamen. In totaal waren zijn ruim 124.000 biologische en 500.000 chemische monsters, afkomstig van meer dan 24.000 meetpunten opgenomen. Deze meetpunten liggen verspreid over een groot aantal watertypen zoals sloten, meren, beken en kanalen. Van ruim driekwart van de meetpunten is het KRW-type bekend. Vrijwel altijd is het globalere CUWVO-type bekend.

3.4 Ecologische Kwaliteitsratio's (EKR's)

De EKR's in de datasets zijn afkomstig van vier bronnen:

1. Bepaling EKR van monsters uit de Limnodata of Piscaria met behulp van de KRW-toetsingsmodule van Dawaco ecologie (zie ook www.dawaco.com).
2. www.KRWdoelen.nl waarop de waterschappen de huidige toestand van de waterlichamen hebben opgenomen.
3. Expert inschattingen van Royal Haskoning en/of de waterbeheerders voor gaten in de bovenstaande datasets.
4. Defaults voor vrijwel geheel ontbrekende referentiesituaties in Nederland. Dit zijn locaties waar alle kwaliteitselementen 0.8 tot 1.0 scoren. De waarden van de stuurvariabelen zijn hierbij afkomstig uit de referentie- en MEP-beschrijvingen uit de maatlatten (Van der Molen & Pot [red], 2007; Evers & Knoben [red], 2007).

In de datasets is de herkomst van de EKR's met de code 1 tot met 4 behorende bij de bovenstaande bronnen aangegeven (zie ook bijlage 1, 2 en 3). Het is vooral afhankelijk van het biologische kwaliteitselement waar de meeste gegevens vandaan komen. In bijlage 2 is dit per watertypencluster weergegeven. Globaal kan gesteld worden dat toetsbare gegevens uit de Limnodata vooral beschikbaar zijn van macrofauna, fyto benthos (onderdeel van Overige waterflora bij de stromende wateren) en fytoplankton. Soms waren ook toetsbare gegevens over macrofyten beschikbaar maar verreweg de meeste vegetatieopnamen in de Limnodata zijn niet KRW-proof (te kleine historische opnamen waardoor de EKR's te laag uitvallen in vergelijking met de werkelijkheid). Dergelijk monsters konden daardoor niet rechtstreeks gebruikt worden voor het bepalen van de EKR's maar hooguit een indicatie geven van de ecologische toestand op basis van de gevonden soortensamenstelling. Middels expert inschatting (code 3) zijn hier vervolgens EKR's aan gekoppeld. In slechts enkele gevallen waren toetsbare vissenmonsters uit Piscaria beschikbaar.

Van alle kwaliteitselementen zijn gegevens beschikbaar via www.KRWdoelen.nl. Deze zijn over het algemeen gebaseerd op meetgegevens. Waar het bekend was dat dit niet het geval was, zijn de EKR's niet meegenomen in de trainingsets. Deze bron levert uiteraard alleen gegevens op voor de waterlichamen en deze zijn niet altijd compleet ingevuld. Gaten die na het gebruik van deze website, Limnodata en Piscaria nog aanwezig waren, zijn aangevuld met expertinschattingen. Deze expertinschattingen zijn gedaan op basis van gebiedskennis, kennis van de (deel)maatlatten, de EKR's kwaliteitselementen waar wel meetgegevens van zijn, niet-toetsbare monsters, inschattingen van waterbeheerders, aanvullende parameters (doorzicht, zuurstof), bekende rekenregels voor nutriënten met chlorofyl (Heinis & Evers [red], 2007) en de waarden voor de stuurvariabelen.

Onderstaand zijn 3 voorbeelden uitgewerkt van op expertinschatting gebaseerde toegevoegde EKR's:

- macrofyten in diepe meren ('code 3');
- vissen in kanalen ('code 3');
- defaults alle kwaliteitselementen voor de referentietoestand in langzaam stromende wateren ('code 4').

Voorbeeld toevoeging EKR's macrofyten

Het Erpewaai in Heumen (Waterschap Rivierenland) is een diep meer met een relatief natuurlijke oeverinrichting en natuurlijke peilfluctuaties. De nutriëntconcentraties zijn relatief hoog voor dit type diep water⁶ (0.07 mg P/l en 1.9 mg N/l; gemeten in 1995). Deze verhoogde concentraties nutriënten komen ook tot uiting in de score op de fytoplanktonmaatlat. Deze valt in de klasse ontoereikend met een gemeten EKR van 0.32. De macrofaunascore valt ook in ontoereikend met een gemeten EKR van 0.37. De score voor macrofyten is onbekend en moet worden ingeschat. De EKR voor macrofyten in diepe meren wordt bepaald door een middeling van twee deelmaatlaten:

- abundantie ('groeivormen'); bestaande uit een score voor de aanwezigheid van submerse vegetatie en oevervegetatie;
- soortensamenstelling; afhankelijk van de aanwezigheid van specifieke soorten water- en oeverplanten.

Gezien de natuurlijke oeverinrichting en het natuurlijke peilverloop is de inschatting dat oevervegetatie hoog zal scoren (EKR = 0.9). Submerse vegetatie zal gezien de lagere score voor fytoplankton en daardoor beperkt doorzicht een stuk lager scoren. Omdat macrofauna in meren sterk reageert op de aanwezigheid van waterplanten is de EKR voor macrofauna van 0.37 een goede indicatie van de EKR voor de submerse vegetatie. Ondanks de natuurlijke inrichting en peilverloop zal het beperkte doorzicht en de verhoogde nutriëntconcentraties de EKR voor de soortensamenstelling sterk drukken. Dit komt vooral doordat specifieke submerse waterplanten ontbreken waaronder de hoog scorende kranwiersoorten. Daarom is de verwachting dat de EKR voor soortensamenstelling net niet de klasse matig zal halen (EKR = 0.39). De eind-EKR voor macrofyten levert dan: $((0.9+0.37)/2 + 0.39)/2 = 0.51$ op.

Voorbeeld toevoeging EKR's vissen

Het Oranjekanaal (Hoogheemraadschap van Delfland) is een groot ondiep kanaal zonder intensieve scheepvaart (KRW-type M6A). Het kanaal is grotendeels beschoeid met een vast peil en wordt intensief onderhouden. De nutriëntwaarden liggen in de klassen matig/ontoereikend voor type (in 2002 0.37 mg P/l en 3.5 mg N/l). De gemeten EKR's voor fytoplankton (0.4), macrofyten (0.42) en macrofauna (0.4) liggen allemaal laag in de klasse matig. De score voor vissen is onbekend en moet worden ingeschat. De EKR voor vissen in dergelijke kanalen wordt bepaald door een middeling van drie deelmaatlaten:

- aandeel brasem + karper;
- aandeel plantenminnende vis;
- aantal soorten plantenminnende en migrerende vissen.

Gezien het beperkte doorzicht (dit blijkt uit de lage score voor fytoplankton) en de afwezigheid van geschikt habitat in de oevers zal de score voor vissen laag zijn. Vooral het aandeel plantenminnende vis is beperkt (ingeschat EKR = 0.2) en het aandeel brasem en karper zal te hoog zijn (ingeschat EKR = 0.3). Daarnaast zal er maar een beperkt aantal soorten plantenminnende en migrerende vissen voor komen (ingeschat op 4 soorten wat overeenkomt met EKR = 0.4). De eind-EKR voor vissen levert dan $(0.4+0.3+0.2)/3 = 0.3$ op.

⁶ De natuurlijke nutriëntennorm (GET) voor diepe meren (M20) is 0.03 mg P/l en 0.9 mg N/l.

Voorbeeld toevoeging defaults voor de Referentietoestand

De referentietoestand voor alle kwaliteitselementen samen (EKR 0.8-1.0) is niet of nauwelijks nog aanwezig in Nederland. Hoewel de referentietoestand ook na het nemen van alle KRW-maatregelen (2027) niet algemeen terug zal keren, zullen er mogelijk specifieke waterlichamen zijn die deze toch benaderen. Om ook voor deze waterlichamen een goede inschatting te kunnen maken, zijn de referentietoestanden als default toegevoegd aan de datasets. Zou dit niet gedaan worden dan kunnen de rekenregels niet voorspellen in deze hogere EKR-range (>0.8). Omdat de referentietoestand niet op daadwerkelijke locaties gevonden is, is gebruik gemaakt van default locaties. De waarden voor de EKR's, hydromorfologische en chemische stuurvariabelen zijn gebaseerd op de beschrijvingen in de KRW-maatlatten (Van der Molen & Pot [red], 2007). Hetzelfde geldt voor het MEP in de sloten en kanalen. Hier zijn de waarden van de EKR's en stuurvariabelen gebaseerd op de beschrijvingen in Evers & Knoben [red] (2007).

Als voorbeeld voor het toevoegen van de referentietoestand aan de dataset is in de langzaam stromende wateren het volgende gedaan:

De hydromorfologie van langzaam stromende beken in de referentietoestand is beschreven als een 'meanderend en kronkelend lengteprofiel'. Dus voor de stuurvariabelen meandering is een '5' ingevulde. Daarnaast zijn de beken volgens de referentiebeschrijving beschaduwde en bevinden ze zich in loofbos. Voor beschaduwing is daarom een '3' ingevuld. In de referentiesituatie waren uiteraard nog geen stuwen aanwezig. Dit levert dus ook een '3' voor verstuwings. De referentiewaarden voor de hydromorfologische stuurvariabelen kunnen leiden tot EKR's van 0.8 tot maximaal 1.0 (de grenzen van de klasse Zeer goed). In de dataset zijn telkens voor alle kwaliteitselementen 3 EKR-waarden ingevulde in de referentietoestand: 0.8, 0.9 en 1.0. Het is afhankelijk van de waarden voor de chemische stuurvariabelen (nutriënten en BZV) of de beschreven combinatie van waarden voor de hydromorfologische stuurvariabelen leidt tot EKR = 0.8, 0.9 of 1.0.

In de maatlatdocumenten zijn de nutriëntengehalten behorende bij de referentietoestand opgenomen. Dit betreft echter alleen de waarden voor EKR = 0.8. Voor de langzaam stromende wateren is dit 0.06 mg P/l en 3 mg N/l. Voor EKR = 0.9 en EKR = 1.0 zijn voor de vulling van de datasets lagere nutriëntenwaarden aangenomen:

- voor EKR = 0.9 is dit 0.04 mg P/l en 2 mg N/l;
- voor EKR = 1.0 is dit 0.02 mg P/l en 1 mg N/l (vaak gebruikte detectielimieten).

De belasting met BZV is niet beschreven in de maatlatdocumenten. Gezien de afwezigheid van lozingen in de referentietoestanden is de bijbehorende BZV-waarde als laag ingeschat (<2 mg O₂/l):

- BZV = 1.7 (gemiddelde van de beken in de dataset zonder lozingen) is gebruikt voor EKR = 0.8;
- BZV = 1.0 (de helft van de meest gebruikte detectielimiet⁷) is gebruikt voor EKR = 0.9;

⁷ Wanneer binnen een zomerhalfjaarmonster waarden beneden de detectielimiet aanwezig zijn dan wordt bij de KRW-toetsing voor het berekenen van het zomerhalfjaargemiddelde de helft van deze waarden meegenomen. Per laboratorium kan de detectielimiet verschillen. Voor BZV is dit meestal 1 of 2 mg O₂/l. Wanneer in de verschillende monsters op één meetpunt alle waarden beneden de detectielimiet liggen, kan het gemiddelde dus nooit lager dan 0.5 of 1 mg O₂/l liggen.

- BZV = 0.5 (de helft van de laagste detectielimiet) voor EKR = 1.0.

3.5 Dekking over Nederland

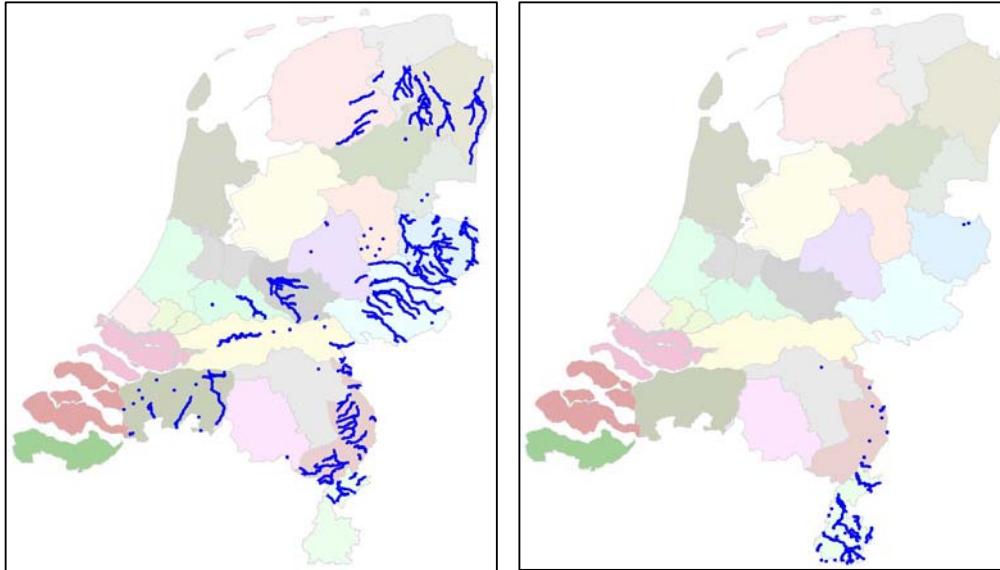
De rekenregels kunnen uiteindelijk worden toegepast op alle waterlichamen van Nederland. Mits het bijbehorende KRW-type is opgenomen in één van de watertypenclusters. Bij het opstellen van de datasets is getracht om de dekking van de verschillende watertypenclusters zoveel compleet mogelijk over Nederland te spreiden. Hierbij is de natuurlijke ligging van de verschillende watertypenclusters een belangrijk uitgangspunt:

- langzaam stromende wateren: op de zandgronden van zuid, oost en midden Nederland, exclusief Zuid-Limburg;
- snel stromende wateren: voor de KRW vrijwel alleen in Limburg toegekend. Kleinere snel stromende beken zijn ook in Twente te vinden;
- diepe en ondiepe meren: vooral west en noord Nederland en het rivierengebied;
- kanalen: vrijwel heel Nederland;
- sloten: voor de KRW voornamelijk toegekend in het rivierengebied. Slotenstelsels liggen in vrijwel geheel Nederland maar er is zoveel mogelijk aansluiting gezocht met deze KRW-sloten;
- zwak brakke wateren: west en noord Nederland;
- brakke tot zoute wateren: voornamelijk Zeeland en Noord-Holland.

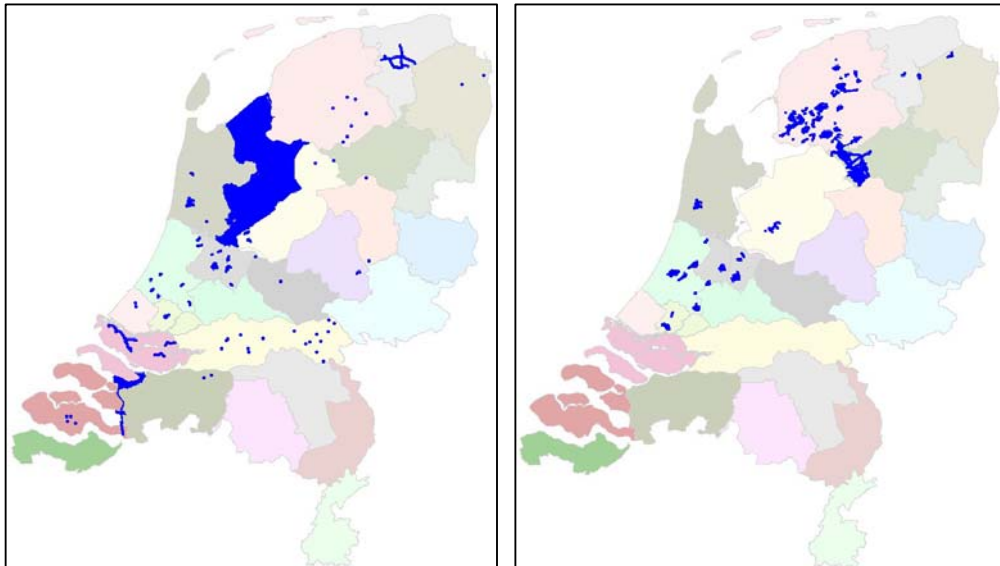
In figuur 3.1 t/m 3.4 is de spreiding van de datasets over Nederland weergegeven. Uit deze figuren blijkt de dekking van de meeste datasets vrij goed overeen te komen met de ligging van de verschillende watertypenclusters. Doordat de meren als vlakken zijn weergegeven lijkt de dataset voor de ondiepe meren vrij uitgebreid. Het betreft echter maar zo'n 40 records wat te weinig is om goede rekenregels af te leiden (zie paragraaf 4.3). Voor kanalen en sloten komt de spreiding niet geheel overeen met de natuurlijke ligging van de watertypen:

- Voor de kanalen is het noorden van Nederland nog ondervertegenwoordigd. Dit komt voornamelijk door een gebrek aan EKR's en waarden voor stuurvariabelen in deze gebieden. Bij het beschikbaar komen van meer KRW-data in de toekomst kan de dataset hierop worden aangevuld.
- De meeste records van de dataset voor sloten liggen in het rivierengebied en Zuid-Holland. Dit zijn ook de gebieden waar sloten als waterlichaam voor de KRW zijn aangemeld. In de rest van Nederland is er doorgaans niet voor gekozen om sloten mee te nemen voor de KRW. Meestal omdat deze niet groot genoeg zijn. De waterschappen die sloten wel als waterlichaam hebben toegekend, hebben hiervoor meestal aangesloten slotenstelsels genomen. De huidige dataset is vooral gericht op de waterlichamen omdat deze worden meegenomen in de KRW-Verkenner.

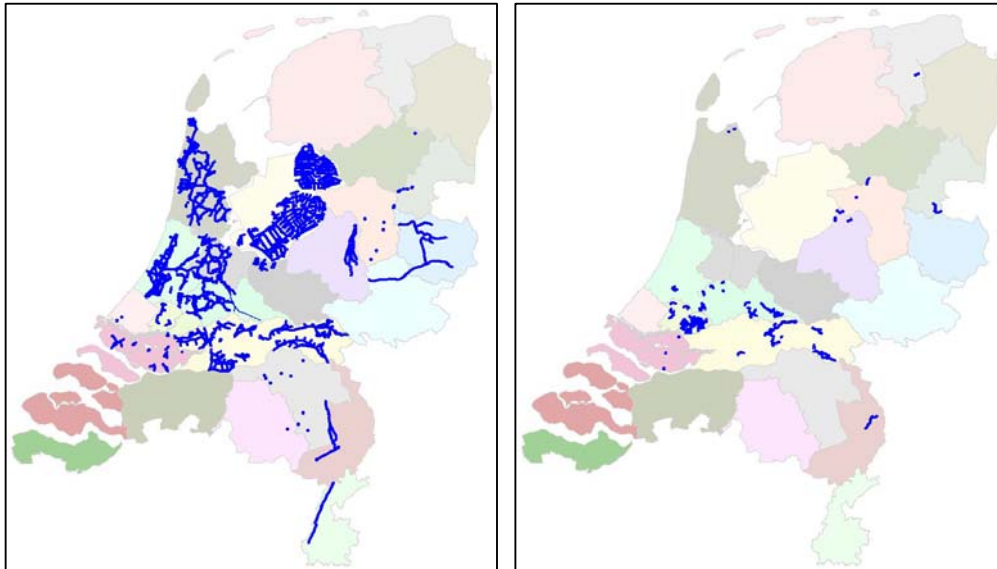
Figuur 3.1: Spreiding datasets Langzaam stromende wateren (links) en Snel stromende wateren (rechts) over Nederland



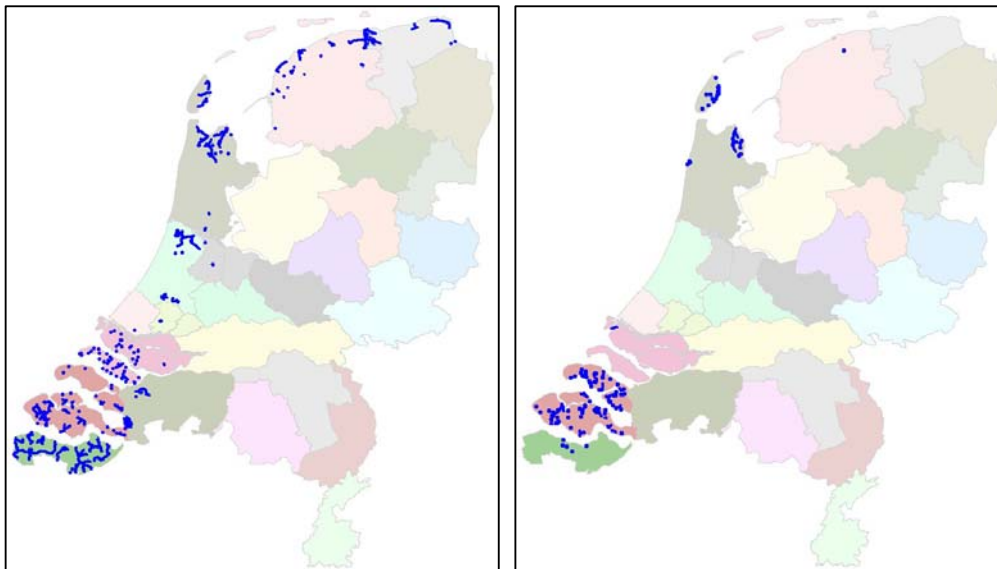
Figuur 3.2: Spreiding datasets Diepe meren (links) en Ondiepe meren (rechts) over Nederland



Figuur 3.3: Spreiding datasets Kanalen (links) en Sloten (rechts) over Nederland



Figuur 3.4: Spreiding datasets Zwak brakke wateren (links) en Brakke tot zoute wateren (rechts) over Nederland



4 ANALYSERESULTATEN MET HET NEURAAAL NETWERK

4.1 Inleiding

De datasets zoals beschreven in hoofdstuk 3 zijn getest met de neurale netwerken die ook zijn gebruikt voor het Expertsysteem. Het Expertsysteem is eerder gebruikt voor het voorspellen van de ecologische effecten van de maatregelen voor de Ex ante evaluatie KRW. Het belangrijkste doel in deze stap is het onderzoeken in hoeverre de datasets voldoende uitgebalanceerd zijn voor gebruik in de Regressieboom-analyse (hoofdstuk 5). Specifiek is met het Neuraal netwerk gekeken naar de volgende kenmerken van de dataset:

1. Zijn de geselecteerde stuurvariabelen voldoende om de hoogte van de EKR's met voldoende zekerheid te kunnen voorspellen?
2. Is voor alle biologische kwaliteitselementen de gehele EKR-gradiënt tussen 0 en 1 voldoende aanwezig?
3. Zijn er vreemde uitschieters aanwezig in de dataset die verklaard kunnen worden door locatiespecifieke afwijkingen op dat meetpunt of in dat waterlichaam waardoor ze niet wenselijk zijn in de dataset?

Ad 1: Deze stap is vooral van belang voor de brakke en brakke tot zoute wateren omdat hiervoor nog geen getest netwerk beschikbaar was. Dit geldt in feite ook voor de ondiepe meren maar voor dit typencluster is nog niet voldoende data beschikbaar om een analyse uit te kunnen voeren met het Neuraal netwerk (bijlage 1 en 2). Bij kanalen is besloten om ten opzichte van de Ex ante evaluatie scheepvaart als stuurvariabele toe te voegen. Dit bleek ook tot betere resultaten te leiden met het Neuraal netwerk.

Ad 2: In de meeste datasets bleken extreem lage (<0.15) en extreem hoge (>0.80) EKR's vrijwel te ontbreken. In Limnodata is nog specifiek gezocht naar deze locaties. Vooral in oudere data zijn nog relatief veel slecht scorende locaties gevonden (met name in de jaren '80). Deze zijn waar nodig nog toegevoegd aan de datasets. Meetpunten die voor alle kwaliteitselementen voldoen aan referentie waarden (EKR van 0.8 en hoger) zijn niet of nauwelijks te vinden. De afwezigheid van referentielocaties is ook tijdens het intercalibratieproces al aangetoond (Knoben *et al.*, 2007). Hiervoor zijn de defaults toegevoegd zoals beschreven in paragraaf 3.4.

Ad 3: In enkele datasets zijn vreemde uitschieters bekeken en waar nodig verwijderd. Het belangrijkste voorbeeld hiervan is het brakke Noordzeekanaal wat door de specifieke situatie daar (Intensieve scheepvaart, verblijftijd, zouttong) een andere biologische kwaliteit heeft dan op basis van de hier meegenomen stuurvariabelen zou worden voorspeld. Daarnaast zijn in enkele datasets niet verklaarbaar hoog scorende waterlichamen verwijderd omdat sterk de indruk bestaat dat bij de bemonstering of bij de verwerking van de gegevens iets fout is gegaan. Het aandeel van deze monsters in de totale dataset die is aangeboden aan het Neuraal netwerk is zeer klein (ongeveer 1%).

In bijlage 1 zijn de eindresultaten van de tests met het Neuraal netwerk uitgebreid weergegeven. In paragraaf 4.2 zijn deze samengevat en vervolgens bediscussieerd waarna is aangegeven hoe bruikbaar de datasets zijn voor het afleiden van rekenregels (volgens het Neuraal netwerk).

4.2 Resultaten

In tabel 4.1 tot en met 4.7 zijn per watertypencluster de eindresultaten van het Neuraal netwerk weergegeven (bij gebruik van alle bronnen 1 t/m 4, zie bijlage 1). Per kwaliteitselement zijn de drie parameters weergegeven die de kwaliteit van de dataset weerspiegelen voor zowel de gehele dataset (training+validatieset: 80%/20%) als de validatieset (20%) (zie ook bijlage 1):

- R^2 : waarde tussen 0 en 1 wat een maat is voor het voorspellend vermogen van de dataset waarbij de voorspelde EKR wordt uitgezet tegen de daadwerkelijk gemeten EKR. Des te hoger de waarde des te beter de dataset is. Vanaf ongeveer $R^2=0.6$ is de dataset goed bruikbaar geacht.
- RMSE (Rooted Mean Square Error): waarde tussen 0 en 1, wat een maat is voor de afwijking ten opzichte van de 1 op 1 lijn wanneer de voorspelde EKR wordt uitgezet tegen de daadwerkelijk gemeten EKR. Met andere woorden hoe groter deze waarde is hoe groter het gemiddeld verschil tussen de voorspelde en gemeten EKR. Deze waarden moet zo dicht mogelijk bij 0 liggen.
- % afwijking EKR < 0.1: een maat voor het aandeel voorspelde EKR's dat binnen een afstand van een halve kwaliteitsklasse ligt van de gemeten EKR's. Hoe dichter bij 100% hoe geschikter de dataset is voor het afleiden van rekenregels.

Uit de tabellen blijkt dat zowel voor de gehele dataset (zowel meetwaarden als expert inschattingen) als voor de validatieset de meeste R^2 tussen ongeveer 0.6 en 0.9 liggen en de RMSE ten hoogste 0.15 is (vaak lager dan 0.10). Het percentage voorspelde EKR's dat maximaal een halve klasse afwijkt van de gemeten EKR's ligt grofweg tussen 60 en 90% met soms wat lagere percentage in de brakke wateren.

Tabel 4.1: Resultaten testen dataset langzaam stromende beken met het Neuraal netwerk (n=239)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R^2	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R^2	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Overige waterflora	0.58	0.097	72	0.65	0.098	74
Macrofauna	0.75	0.071	87	0.84	0.061	89
Vissen	0.75	0.078	84	0.75	0.078	81

Tabel 4.2: Resultaten testen dataset snel stromende beken met het Neuraal netwerk (n=184)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R^2	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R^2	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Overige waterflora	0.87	0.068	88	0.89	0.069	89
Macrofauna	0.73	0.100	66	0.83	0.083	78
Vissen	0.78	0.110	64	0.78	0.110	78

Tabel 4.3: Resultaten testen dataset diepe meren met het Neuraal netwerk (n=106)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Fytoplankton	0.81	0.100	75	0.79	0.110	76
Macrofyten	0.78	0.097	77	0.81	0.080	81
Macrofauna	0.63	0.080	82	0.73	0.053	95
Vissen	0.79	0.084	81	0.79	0.084	81

Tabel 4.4: Resultaten testen dataset kanalen met het Neuraal netwerk (n=205)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Fytoplankton	0.60	0.12	64	0.64	0.11	66
Macrofyten	0.49	0.13	56	0.41	0.12	59
Macrofauna	0.49	0.13	59	0.49	0.12	49
Vissen	0.54	0.13	64	0.54	0.13	59

Tabel 4.5: Resultaten testen dataset sloten met het Neuraal netwerk (n=197)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Macrofyten	0.71	0.100	66	0.85	0.100	62
Macrofauna	0.67	0.120	65	0.79	0.100	69
Vissen	0.77	0.086	85	0.77	0.086	87

Tabel 4.6: Resultaten testen dataset zwak brakke wateren met het Neuraal netwerk (n=202)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Fytoplankton	0.49	0.150	51	0.58	0.140	55
Macrofyten	0.61	0.120	54	0.66	0.130	45
Macrofauna	0.64	0.110	72	0.61	0.130	70
Vissen	0.65	0.096	73	0.65	0.096	85

Tabel 4.7: Resultaten testen dataset brakke tot zoute wateren met het Neuraal netwerk (n=158)

Kwaliteitselementen	Gehele dataset			Validatieset		
	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1	R ²	RMSE	% afwijking EKR < 0.1
Fytoplankton	0.45	0.160	47	0.48	0.170	48
Macrofyten	0.65	0.110	72	0.67	0.095	71
Macrofauna	0.59	0.150	62	0.42	0.170	58
Vissen	0.68	0.097	73	0.68	0.097	84

4.3 Discussie en conclusies

De resultaten van het Neuraal netwerk geven aan dat de datasets redelijk tot goed bruikbaar zijn voor het afleiden van rekenregels. De beste resultaten worden bereikt in de langzaam en snel stromende beken en de diepe meren. Vooral van de beken zijn ook de meeste goede gegevens beschikbaar. Een nieuw te ontwikkelen stuurvariabele voor het stromingsregime zou de datasets voor de beken nog verder kunnen verbeteren. De koppeling met maatregelen zoals het vasthouden van water in de haarvaten en de verwijdering van drainage kan hiermee ook verbeteren (PBL, 2008). Dit is wel een lastig te kwantificeren en te meten parameter.

De datasets van de brakke en brakke tot zoute wateren presteren het minst in het Neuraal netwerk. Dit komt waarschijnlijk vooral door de grote diversiteit aan wateren binnen deze typen (plassen/meren, sloten, kreken, inlagen, kanalen). Daarnaast is het chloridegehalte de enige geselecteerde stuurvariabele die zowel met een lage als een hoge waarde verlaging van de EKR's veroorzaakt (verzoeting respectievelijk verzilting).

Voor de ondiepe meren is het tot op heden nog niet mogelijk gebleken een dataset van voldoende grootte te ontwikkelen. Vooral de kritische fosforbelastingen zijn lastig te bepalen en slechts van een klein aantal meren beschikbaar.

5 ANALYSERESULTATEN MET DE REGRESSIEBOOM-ANALYSE

5.1 Inleiding

De datasets zoals beschreven in hoofdstuk 3 en getest met het Neuraal netwerk (hoofdstuk 4) zijn met Regressieboom-analyse onderzocht. De resulterende regressiebomen worden uiteindelijk gebruikt voor de afleiding van rekenregels. In bijlage 2 en 3 zijn de eindresultaten van de Regressieboom-analyse uitgebreid weergegeven. In paragraaf 5.2 zijn de routes naar de maximaal haalbare EKR's samengevat en vervolgens bediscussieerd. Ten slotte is aangegeven hoe bruikbaar de datasets zijn voor het afleiden van rekenregels (volgens de Regressieboom-benadering).

5.2 Resultaten en rekenregels

Waar mogelijk zijn de datasets op twee manieren onderzocht met de Regressieboom-analyse:

- analyse op de gehele dataset;
- analyse op de EKR's die zijn verkregen door toetsing van meetgegevens (afkomstig van www.KRWdoelen, Limnodata of Piscaria) (deelset).

Wanneer een overgroot deel van de gegevens uit deze toetsing van meetgegevens bestaat en de verklaarde variantie voldoende hoog is, hebben de rekenregels de meeste waarde (zie tabel 5.1). Dit is met name het geval bij macrofauna en fytoplankton. Zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 3 zijn geschikte gegevens van macrofyten en vooral vissen schaarser. De dataset van de ondiepe meren is helemaal nog niet geschikt voor het afleiden van rekenregels (zie ook bijlage 1 en 2 en hoofdstuk 4).

Rekenregels

De rekenregels worden opgesteld met behulp van de regressiebomen die zijn gebaseerd op de volledige datasets (bijlage 2 en apart weergegeven in bijlage 3). Dat zijn dus de datasets inclusief ingeschatte EKR's en defaultwaarden. Deze datasets zijn het meest uitgebalanceerd op een aantal belangrijke punten:

- Aanwezigheid volledige gradiënt EKR van 0 tot 1 met ook voldoende waarnemingen in alle klassen.
- Aanwezigheid volledige gradiënt over de verschillende stuurfactoren met ook voldoende waarnemingen in alle klassen. In het geval van de chemische stuurfactoren zijn ook waarnemingen in de extreem hoge en lage range behorende bij een bepaalde stuurfactor (totaal stikstof, totaal fosfor, chloride en BZV).
- Aanwezigheid alle enigszins mogelijke combinaties aan stuurvariabelen.

Wanneer de regressiebomen gebruikt worden op basis van alleen toetsingen van echte metingen dan voldoen deze niet aan bovenstaande criteria. Dit geldt ook voor de datasets met een zeer groot aandeel echte metingen. Vooral omdat hier de zeer goede toestand nog ontbrak en als default is toegevoegd. In de huidige situatie komt deze toestand niet of nauwelijks voor in Nederland, maar na uitvoering van maatregelen mogelijk wel weer en dan is het noodzakelijk dat de KRW-Verkenner ook in dit gebied kan voorspellen.

De volledige bomen zijn opgenomen in bijlage 2 en 3. In tabel 5.2 tot en met 5.8 zijn uit deze bomen de routes naar de maximale te halen EKR's per kwaliteitselement weergegeven. De EKR's zijn telkens tussen [] weergegeven. De gemiddelde EKR per kwaliteitselement ligt voor vrijwel alle watertypenclusters in of vlakbij de klasse matig. Dit geeft aan dat de EKR's in de datasets niet te veel op het lage of hoge deel van de maatlat liggen. Het is daarnaast belangrijk dat de maximale EKR's rond EKR=0.8 uitkomen en zeker boven EKR=0.6. Mocht dit niet het geval zijn dan zouden de doelstellingen voor natuurlijke wateren (EKR=0.6) zelfs niet haalbaar zijn wanneer alle stuurvariabelen overeenkomen met de waarden in de referentietoestand. Dit geldt ook voor de sloten en kanalen waarvoor de maatlaten zo ontworpen zijn dat de doelstelling (GEP=0.6 EKR) met haalbare inrichtingsmaatregelen en een voldoende waterkwaliteit bereikt kan worden. Uit de tabellen blijkt dat in alle watertypenclusters voor elk kwaliteitselement een score hoger dan 0.6 en vaak hoger dan 0.8 gehaald kan worden. Dit is belangrijk omdat waterbeheerders de rekenregels dus kunnen gebruiken om te bepalen of de doelstellingen worden gehaald.

Tabel 5.1: Bruikbaarheid datasets voor het afleiden van rekenregels voor de KRW-Verkenner

Type water	EKR	N (alle codes*)	Verklaarde variantie	N (codes 1 en 2*)	Verklaarde variantie	Kwaliteitsindicatie data
Langzaam stromende beken	overige waterflora	239	58%	184	43%	■
	macrofauna	239	60%	236	-	■
	vissen	239	74%	102	20%	■
Snel stromende beken	overige waterflora	184	86%	18	-	■
	macrofauna	184	73%	181	-	■
	vissen	184	72%	13	-	■
Diepe meren	fytoplankton	106	83%	46	65%	■
	macrofyten	106	79%	31	-	■
	macrofauna	106	45%	91	38%	■
	vissen	106	75%	20	-	■
Ondiepe meren	fytoplankton	41	-	-	-	■
	macrofyten	41	-	-	-	■
	macrofauna	41	-	-	-	■
	vissen	41	-	-	-	■
Kanalen	fytoplankton	205	63%	103	59%	■
	macrofyten	205	57%	126	30%	■
	macrofauna	205	51%	202	-	■
	vissen	205	48%	65	33%	■
Sloten	macrofyten	197	70%	103	43%	■
	macrofauna	197	64%	176	59%	■
	vissen	197	69%	39	-	■
Zwak brakke wateren	fytoplankton	202	43%	197	-	■
	macrofyten	202	69%	79	35%	■
	macrofauna	202	67%	197	-	■
	vissen	202	70%	16	-	■

Type water	EKR	N (alle codes*)	Verklaarde variantie	N (codes 1 en 2*)	Verklaarde variantie	Kwaliteitsindicatie data
Brak tot zoute wateren	fytoplankton	158	43%	155	-	
	macrofyten	158	72%	30	-	
	macrofauna	158	56%	155	-	
	vissen	158	66%	4		

* Zie bijlage 2 'Algemeen'

Legenda

- Groen: regenregels opgesteld met vrijwel alleen EKR's op basis van echte metingen.
- Geel: regenregels opgesteld met een aanzienlijk deel getoetste echte metingen aangevuld met ingeschatte EKR's.
- Oranje: rekenregels opgesteld met voornamelijk ingeschatte EKR's.
- Rood: onvoldoende gegevens op dit moment beschikbaar voor afleiding rekenregels.

Tabel 5.2: Resultaten Regressieboom-analyse Langzaam stromende beken (n=239, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing	Derde splitsing
Overige waterflora [0.47]	Totaal P < 0.21 [0.51]	Meandering < 4.5 [0.50]	Totaal N < 4.35 [0.83]
	Totaal P > 0.21 [0.35]	Meandering > 4.5 [0.72]	Totaal N > 4.35 [0.56]
Macrofauna [0.39]	Meandering < 3.75 [0.35]	Totaal P < 0.07 [0.87]	
	Meandering > 3.75 [0.61]	Totaal P > 0.07 [0.57]	
Vissen [0.36]	Meandering < 2.35 [0.31]	Meandering < 4.5 [0.48]	Totaal P < 0.12 [0.82]
	Meandering > 2.35 [0.54]	Meandering > 4.5 [0.72]	Totaal P > 0.12 [0.51]

Tabel 5.3: Resultaten Regressieboom-analyse Snel stromende beken (n=184, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing	Derde splitsing	Vierde splitsing	Vijfde splitsing
Overige waterflora [0.42]	Meandering < 1.75 [0.18]	Totaal P < 0.35 [0.57]	Meandering < 2.75 [0.49]	Totaal N < 3.78 [0.71]	Totaal P < 0.13 [0.79]
	Meandering > 1.75 [0.49]	Totaal P > 0.35 [0.39]	Meandering > 2.75 [0.61]	Totaal N > 3.78 [0.57]	Totaal P > 0.13 [0.63]
Macrofauna [0.5]	BZV < 3.38 [0.57]	Meandering < 3.75 [0.53]	Beschaduwung < 2.7 [0.62]		
	BZV > 3.38 [0.33]	Meandering > 3.75 [0.72]	Beschaduwung > 2.7 [0.80]		
Vissen [0.41]	BZV < 3.38 [0.49]	Meandering < 3.75 [0.43]	Meandering < 4.75 [0.60]		
	BZ > 3.38 [0.22]	Meandering > 3.75 [0.70]	Meandering > 4.75 [0.78]		

Tabel 5.4: Resultaten Regressieboom-analyse Diepe meren (n=106, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing	Derde splitsing
Fytoplankton [0.54]	Totaal P < 0.11 [0.66] Totaal P > 0.11 [0.35]	Totaal P < 0.03 [0.80] Totaal P > 0.03 [0.58]	Totaal P < 0.02 [0.96] Totaal P > 0.02 [0.76]
Macrofyten [0.43]	Totaal N < 1.51 [0.56] Totaal N > 1.51 [0.30]	Oeverinrichting < 2.25 [0.51] Oeverinrichting > 2.25 [0.69]	Totaal P < 0.05 [0.81] Totaal P > 0.05 [0.63]
Macrofauna [0.46]	Oeverinrichting < 2.75 [0.44] Oeverinrichting > 2.75 [0.63]	Totaal P < 0.09 [0.75] Totaal P > 0.09 [0.49]	
Vissen [0.47]	Totaal N < 2.46 [0.54] Totaal N > 2.46 [0.27]	Totaal P < 0.03 [0.66] Totaal P > 0.03 [0.51]	Oeverinrichting < 2.25 [0.60] Oeverinrichting > 2.25 [0.81]

Tabel 5.5: Resultaten Regressieboom-analyse Kanalen (n=205, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing
Fytoplankton [0.50]	Totaal P < 0.16 [0.65] Totaal P > 0.16 [0.44]	Totaal P < 0.08 [0.86] Totaal P > 0.08 [0.59]
Macrofyten [0.40]	Totaal N < 1.80 [0.72] Totaal N > 1.80 [0.38]	Oeverinrichting < 2.35 [0.63] Oeverinrichting > 2.35 [0.90]
Macrofauna [0.43]	Totaal N < 1.25 [0.88] Totaal N > 1.25 [0.42]	
Vissen [0.48]	Totaal N < 2.90 [0.61] Totaal N > 2.90 [0.41]	Totaal N < 1.25 [0.92] Totaal N > 1.25 [0.60]

Tabel 5.6: Resultaten Regressieboom-analyse Sloten (n=197, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing
Macrofyten [0.32]	Peildynamiek < 2.9 [0.30] Peildynamiek > 2.9 [0.83]	
Macrofauna [0.41]	Totaal N < 2.99 [0.52] Totaal N > 2.99 [0.27]	Onderhoud < 1.9 [0.49] Onderhoud > 1.9 [0.78]
Vissen [0.52]	Totaal P < 0.48 [0.59] Totaal P > 0.48 [0.38]	Oeverinrichting < 2.15 [0.56] Oeverinrichting > 2.15 [0.80]

Tabel 5.7: Resultaten Regressieboom-analyse Zwak brakke wateren (n=202, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing
Fytoplankton [0.43]	Totaal P < 0.10 [0.93] Totaal P > 0.10 [0.39]	
Macrofyten [0.29]	Totaal P < 0.10 [0.78] Totaal P > 0.10 [0.26]	Onderhoud < 1.65 [0.64] Onderhoud > 1.65 [0.90]
Macrofauna [0.43]	Chloride < 1141 [0.33] Chloride > 1141 [0.62]	Peildynamiek < 2.75 [0.59] Peildynamiek > 2.75 [0.90]
Vissen [0.36]	Totaal P < 0.08 [0.70] Totaal P > 0.08 [0.34]	Chloride < 1187 [0.49] Chloride > 1187 [0.90]

Tabel 5.8: Resultaten Regressieboom-analyse Brakke tot zoute wateren (n=158, alle codes)

EKR maatlat	Eerste splitsing	Tweede splitsing
Fytoplankton [0.48]	Totaal N < 2.81 [0.68] Totaal N > 2.81 [0.43]	Totaal P < 0.29 [0.88] Totaal P > 0.29 [0.61]
Macrofyten [0.40]	Totaal N < 1.85 [0.86] Totaal N > 1.85 [0.37]	
Macrofauna [0.62]	Chloride < 6241 [0.49] Chloride > 6241 [0.76]	Onderhoud < 1.1 [0.63] Onderhoud > 1.1 [0.81]
Vissen [0.45]	Totaal P < 0.09 [0.90] Totaal P > 0.09 [0.43]	

5.3 Discussie en conclusies

Geadviseerd wordt om de gehele datasets te gebruiken voor de rekenregels. Hierdoor is voor het grootste deel van de watertypenclusters en kwaliteitselementen een rekenregel beschikbaar. Alleen voor ondiepe meren is tot op heden te weinig data voor de afleiding van rekenregels. Het weglaten van ingeschatte EKR's bij typenclusters waar veel toetsingen van echte metingen beschikbaar zijn, leiden tot verschillende ongewenste effecten. Deze verklaren ook de verschillen in resultaten tussen de regressiebomen op basis van alle codes en op basis van alleen codes 1 en 2. Het gaat om de volgende effecten:

- Volledige gradiënten in EKR's zijn niet meer aanwezig waardoor nieuwe (en betere) situaties na maatregelen slechter voorspelbaar worden.
- Niet alle gebruikelijke combinaties aan stuurvariabelen zijn beschikbaar met EKR's van echte metingen. Ook dit is nadelig voor de voorspelkracht van de KRW-Verkenner.
- Verminderde dekking aan rekenregels over de typenclusters waardoor de KRW-Verkenner minder bruikbaar is voor het inschatten van de effecten van maatregelen.

Over het algemeen hebben de datasets een relatief hoge verklaarde variantie en zijn daarmee goed bruikbaar voor het afleiden van rekenregels wanneer zowel de echte metingen als de inschattingen worden meegenomen. Per watertypencluster verschilt het wel sterk hoe groot het aandeel getoetste monsters in de dataset is (zie histogrammen in bijlage 2). Vooral voor macrofyten en vissen is het gebrek aan getoetste monsters groot. Daarmee is niet gesteld dat de bijbehorende rekenregels onbruikbaar zijn maar het is wel een aandachtspunt bij het gebruik van de regels.

De datasets van de ondiepe meren zijn nog te klein om te gebruiken voor een Regressieboom-analyse. Diepe meren zijn relatief schaars in Nederland en worden ook maar beperkt onderzocht door de waterschappen. Deze dataset is daardoor na de ondiepe meren het kleinst maar blijkt wel bruikbaar te zijn.

Sommige regressiebomen hebben slechts een beperkt aantal eindknopen (<6). Hierdoor kunnen in die gevallen slechts een klein aantal discrete EKR's worden voorspeld (niet continue van 0 tot 1). Het risico is dan vrij groot dat in de KRW-Verkenner ondanks het nemen van relevante maatregelen, geen enkele EKR-winst zichtbaar wordt. Wanneer een bepaalde drempel wordt overschreden, kan dan de EKR ineens relatief sterk toenemen. Dit is niet wenselijk bij gebruik van de KRW-Verkenner en leidt mogelijk tot kritiek van de gebruikers.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

Voor de meeste watertypen zijn de met een Neuraal netwerk getoetste datasets goed bruikbaar voor het afleiden van rekenregels met een Regressieboom-analyse. De regressiebomen die zijn gebaseerd op de complete datasets (code 1 tot en met 4: zie bijlage 2 'algemeen'), zijn hier uiteindelijk voor gebruikt. Alleen voor ondiepe meren is het tot op heden niet mogelijk rekenregels af te leiden. Dit wordt vooral veroorzaakt door de beperkte beschikbaarheid van de kritische fosforbelastingen per meer. Wanneer als eis gesteld wordt dat de rekenregels afgeleid moeten zijn op basis van EKR die zijn bepaald door toetsing van meetgegevens, dan blijkt dat mogelijk voor 12 van de 25 benodigde rekenregels. Voor acht rekenregels is dit twijfelachtig en in vijf gevallen is het tot op heden geheel niet mogelijk gebleken (vooral bij vissen, tabel 5.1).

Getoetste gegevens van macrofauna en fytoplankton beslaan in de meeste gevallen vrijwel de gehele datasets. Ten opzichte van de Ex ante analyse is het aandeel EKR's op basis van getoetste meetgegevens voor macrofyten en vissen in de datasets ook sterk toegenomen. Deze gegevens zijn voornamelijk afkomstig van de in 2006 gestarte KRW-monitoring maar het aandeel in de datasets blijft vaak nog te klein. De komende jaren komen steeds meer (KRW-)gegevens beschikbaar waardoor de datasets verder kunnen worden aangevuld en verbeterd.

Ten opzichte van de Ex ante evaluatie zijn ook de volgende onderdelen van de datasets verbeterd:

- Het aantal defaults (theoretische situaties op basis van de maatlatbeschrijvingen) voor ontbrekende situaties (zeer slechte en zeer goede) is teruggebracht tot alleen de referentiesituaties (0.8-1.0). Dergelijk onverstoorde situaties komen in Nederland nauwelijks voor en zullen ook na het nemen van de KRW-maatregelen vermoedelijk schaars blijven.
- Door de toevoeging van de zwak brakke en brakke tot zoute wateren is nu voor meer waterlichamen een dataset beschikbaar. Ruim 94% van alle voor de KRW toegekende waterlichamen in Nederland kunnen nu worden gekoppeld aan een dataset. Vrijwel alleen de Rijkswateren kunnen nu nog niet meegenomen worden.
- Het aantal monsters per meetpunt is sterk verminderd en de meetjaren liggen verder uit elkaar. Dit vermindert de kans op pseudo-replicatie aanzienlijk.
- De relatief kleine datasets zijn uitgebreid (dit geldt vooral voor de sloten).
- Uitsplitsing van de beken in langzaam en snel stromend en de meren in diep en opdiep zorgt voor uniformere datasets doordat minder verschillende watertypen binnen één cluster vallen.
- De dekking (spreiding) van locaties over Nederland is toegenomen door het uitbreiden van datasets met nieuwe locaties (en waterbeheerders) en toevoeging van de brakke wateren. De spreiding van de dataset voor meren is nog beperkt (in zijn geheel nog te klein). Ook kanalen in het noorden van Nederland ontbreken nog. De overige datasets sluiten goed aan bij de spreiding van de bijbehorende waterlichamen over Nederland.

6.2 Aanbevelingen

Onderstaand zijn de aanbevelingen per onderwerp puntsgewijs weergegeven.

Stuurvariabelen

- Voor het implementeren van een stuurvariabele voor stromingsregime of afvoerdynamiek in de langzaam en snel stromende beken is het nodig nader onderzoek te doen waarbij hydrologische datasets met ecologische worden gecombineerd om de relaties op te sporen en een verklarende stuurvariabele te identificeren.

Uitbreiding datasets

- Uitbreiding van de dataset van ondiepe meren is noodzakelijk om ook voor dit watertypencluster rekenregels af te kunnen leiden. De beschikbaarheid van de kritische fosforbelastingen per meer is de belangrijkste reden waarom dit tot op heden niet mogelijk is gebleken.
- De dataset van de diepe meren is nog relatief klein. Het bleek wel mogelijk om rekenregels voor de diepe meren af te leiden maar het is mogelijk dat nog niet alle situaties die in de praktijk voor kunnen komen nu in de dataset vertegenwoordigd zijn.
- Kanalen uit het noorden van Nederland (vooral Friesland en Groningen) kunnen bij het beschikbaar komen van (KRW)gegevens van EKR's en stuurvariabelen in de toekomst worden toegevoegd.

Herkomst EKR's

- In vrijwel alle watertypenclusters is er een tekort aan toetsbare macrofytenopnamen en visbemonsteringen. Van diepe meren is er een tekort aan macrofaunamonsters. De komende jaren kan dit worden aangevuld met gegevens uit de KRW-monitoring.
- Op langere termijn kunnen ook gegevens uit de monitoring van herstel- en verbeteringsmaatregelen worden toegevoegd (bijvoorbeeld uit het project Watermozaïek van de STOWA).

Uitbreiding rekenregels naar meer mogelijke EKR's

- Sommige Regressiebomen leveren op dit moment een beperkt aantal splitsingen op stuurvariabelen met als gevolg een beperkt aantal EKR's (<6) als mogelijke uitkomst. Dit is een gevolg van het optreden van schijnrelaties waardoor soms ver 'teruggesnoeid' is (zie paragraaf 2.5). In een vervolg zou bekeken kunnen worden hoe het aantal eindknopen verhoogd kan worden zonder dat er schijnrelaties in de bomen terechtkomen (gericht terugsnijden).

Multicollineariteit

- De in dit rapport toegepaste methoden, en vooral de regressieboom-analyse, heeft beperking als twee of meer stuurvariabelen onderling hoog gecorreleerd zijn (multicollineariteit). Het model 'weet' dan niet met welke variabele de beste knip gemaakt moet worden. De verklarende kracht gaat bij meerdere keuzes evenveel vooruit. Op basis van biologisch inzicht kunnen relaties geheel of gedeeltelijk aangepast worden in voorkomende situaties. Deze aanpak is in dit rapport nog niet gevolgd maar is voor toekomstig onderzoek aan te bevelen.

Validatie met Expertsysteem (neuraal netwerk)

- Berekende EKR's met de rekenregels (met de KRW-Verkenner) kunnen in een later stadium worden vergeleken met uitkomsten uit het Expertsysteem (neuraal netwerk).

Validatie met KRW-gegevens

Gegevens die in de toekomst verzameld worden voor de KRW zijn bruikbaar als aanvulling en als validatie. Dit kunnen gegevens zijn van de huidige toestand van waterlichamen die nu niet zijn gebruikt in de trainingsets of van de toestand van alle waterlichamen ná het uitvoeren van maatregelen:

- Vooral voor macrofyten en vissen is aanvullingen van de gegevens de eerste prioriteit.
- Een validatie kan worden uitgevoerd door met de rekenregels EKR's te bepalen aan de hand van de waarden voor de stuurvariabelen en deze vervolgens te vergelijken met de gemeten EKR's.

REFERENTIES

CoP hermeanderen, dec 2008. *Presentaties M. van den Hoorn, K. Didderen, D. Dekkers & P. Verdonschot op het symposium bij Alterra over hermeandering*. Wageningen, 2 december 2008.

Dedecker, A.P., P.L.M. Goethals, W.Gabriels, N. de Pauw. 2004. *Optimization of artificial neural network (ANN) model design for prediction of macroinvertebrates in the Zwalm river basin (Flanders, Belgium)*. Ecol. Modell. 174 (2004) pp161-173.

EU, 2000. *Kaderrichtlijn Water, Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad. 23 oktober 2000; tot vastlegging van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid*.

Evers, C.H.M., H. de Mars, A.J.M. van den Broek, R. Buskens, M. Klinge & N. Jaarsma, 2005. *Validatie en verdere operationalisering van de concept KRW-maatlatten voor de natuurlijke rivier- en meertypen*. In opdracht van RIZA. Royal Haskoning: 9R3003.

Evers, C.H.M. & R.A.E. Knoben [red], 2007. *Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de Kaderrichtlijn Water*. In opdracht van de deelstroomgebieden Rijn-West, Rijn-Midden, Rijn- Noord, Rijn-Oost, Eems en Maas, STOWA en CSN. Auteurs: C.H.M Evers, A.J.M. van den Broek, R. Buskens en A. van Leerdam. Royal Haskoning: 9S3656, STOWA 2007 32b en RWS-WD 2007 019. ISBN 978.90.5773.383.3. STOWA, Utrecht.

Evers, C.H.M., 2007. *Getalswaarden voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen*. Royal Haskoning in opdracht van RIZA. Rapport 9R6513B0D0/R00001/901530/DenB. RIZA 2007 002 en STOWA 2007 01.

Evers, C.H.M. *et al.* in prep. *Vergelijking oude en nieuwe netwerk en nieuwe analyse effecten KRW-maatregelen*. Planbureau voor de Leefomgeving.

Goethals, P.L.M., A.P. Dedecker, W.Gabriels, S.Lek, N. de Pauw. 2007. *Applications of artificial neural networks in predicting macroinvertebrates in freshwaters*. Aquat. Ecol. (2007). 41: 491-508.

Heinis, F. & C.H.M. Evers [red], 2007a. *Getalswaarden nutriënten voor de GET voor natuurlijke wateren*. Heinis Waterbeheer, Royal Haskoning, Alterra, LNV en RIKZ in opdracht van RIZA. RIZA 2007 001 en STOWA 2007 02.

Heinis, F. & C.H.M. Evers [red], 2007b. *Toelichting op ecologische doelen voor nutriënten in oppervlaktewateren*. Heinis Waterbeheer, Royal Haskoning, Alterra, LNV en RIKZ in opdracht van RIZA. RIZA 2007 029 en STOWA 2007 18.

Knoben, R.A.E., C.H.M., Evers, J. Jansen, 2008. *Ontwikkeling en toepassing ecologisch expertsysteem voor regionale wateren. Achtergrondrapport Ex-ante evaluatie KRW*. Rapport Royal Haskoning, referentie: 9S9605/R00002/901530/AH/DenB.

Knoben, R.A.E., M. van den Berg, T. Ruigrok & C.H.M. Evers, 2007. *Nederlandse macrofaunamaatlat voor rivieren internationaal vergeleken*. H20 23/2007.

Limnodata neerlandica. *Aquatisch-ecologische databank voor Nederland*. In beheer bij de STOWA, uitvoering Royal Haskoning. www.limnodata.nl.

PBL, 2008. *Kwaliteit voor Later. Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water*. PBL publicatienummer 500140001/2008. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.

Park, Y-S, P.F.M. Verdonshot, T-S.Chon, S. Lek. 2003. *Patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network*. *Wat.Res.* 37 (2003) 1749-1758.

Pot, R. [red], 2005. *Default MEP/GEP's voor sterk veranderde en kunstmatige wateren*. Concept versie 8 (30 november 2005).

STOWA, 2008. *Van helder naar troebel ... en weer terug. Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de Kaderrichtlijn Water*. STOWA 2008-04. STOWA, Utrecht.

Torenbek R. & T.A.H.M. Pelsma, 2007. *Protocol toetsen en beoordelen Voor de operationele monitoring en toestand- en trendmonitoring*. Werkgroep MIR. Eindconcept. ISBN: 9789036914338. www.kaderrichtlijnwater.nl.

Van Dam, H., 2007. *Een herziene KRW-maatlat voor het fyto benthos van stromende wateren*. Rapport 618.2. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur.

Van der Molen, D.T. & R. Pot, [red], 2007. *Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water*. STOWA 2007-32 en RWS-WD 2007 018. ISBN 978.90.5773.383.3. STOWA, Utrecht.

Venables, W.N. & B.D. Ripley, 2002. *Modern applied statistics with S*. Springer Verlag.

Visser, H., P.J.T.M. van Puijenbroek & P.H.M. Janssen, 2008. *Stuurfactoren voor de ecologische kwaliteit van regionaal oppervlaktewater*. PBL-rapport 500140002, Bilthoven.

www.dawaco.com. *Dawaco, informatiesysteem voor meetnetten, is ontwikkeld om de informatiebehoefte van onderzoekers en beleidsmedewerkers te ondersteunen. Ook meetnetbeheerders gebruiken Dawaco voor het beheer van de meetnetten en de verwerking van de metingen*. Ontwikkeld door Royal Haskoning.

www.krwverkenner.nl: *Website van de KRW-Verkenner met daarop onder andere de factsheets met de eerste versie van de ecologische rekenregels en kennisregels*. Deltares, 2008.

Bijlage 1

Resultaten expertsysteem (Neuraal netwerk)

ALGEMEEN

In deze bijlage zijn de testresultaten van de datasets met het Neuraal netwerk weergegeven. De volgende typenclusters zijn achtereenvolgens behandeld. De analyses zijn uitgevoerd door Ton Schomaker van Royal Haskoning:

1. Langzaam stromende beken (R4, R5, R6 en R12)
2. Snel stromende beken (R13, R14, R15, R17 en R18)
3. Diepe meren (M16 en M20)
4. Kanalen (M3, M6a/b, M7a/b en M10)
5. Sloten (M01a/b, M02 en M08)
6. Zwak brakke wateren (M30)
7. Brak tot zoute wateren (M31)

Per typencluster zijn de volgende resultaten weergegeven:

- kwaliteitselementen (EKR): De voor dit typencluster relevante biologische kwaliteitselementen;
- stuurfactoren: De voor dit typencluster relevante stuurfactoren;
- aantal waarnemingen in dataset: Het totaal aantal records in de betreffende dataset;
- toegepast software pakket: Dit is altijd Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b);
- aantal data gebruikt voor training: Dit is altijd een willekeurige 80% van het totaal aantal records in de dataset;
- aantal data gebruikt voor validatie: is altijd een willekeurige 20% van het totaal aantal records in de dataset;
- aantal trainingen: Dit is het aantal trainingen waaruit uiteindelijk de beste genomen is. Hier is altijd 250 voor genomen.

Per typencluster en kwaliteitselement zijn de volgende resultaten weergegeven:

- de voorspelde EKR ten opzichte van de waargenomen EKR voor de gehele dataset;
- het percentage voorspelde EKR's dat minder dan 0.1 EKR (halve kwaliteitsklasse) afwijkt van de waargenomen EKR's voor de gehele dataset;
- de voorspelde EKR ten opzichte van de waargenomen EKR voor de validatieset;
- het percentage voorspelde EKR's dat minder dan 0.1 EKR (halve kwaliteitsklasse) afwijkt van de waargenomen EKR's voor de validatieset.

VERKLARING STATISTIEK

Statistische parameters

De statistische parameters die in de grafieken zijn vermeld waarin de waargenomen EKR staat uitgezet tegen de voorspelde EKR (i.e. output van neurale netwerk) hebben de volgende betekenis:

- R^2 : correlatiecoëfficiënt van de regressielijn van waargenomen EKR's versus voorspelde EKR's. Deze coëfficiënt geeft aan hoe goed het neurale netwerk de lineaire relatie tussen de voorspelde en waargenomen EKR kan bepalen. De regressielijn zal doorgaans afwijken van de rode lijn die in de grafieken de één op één relatie tussen de voorspelde en waargenomen EKR aangeeft.
- RMSE : gemiddelde absolute afwijking (Rooted Mean Square Error) tussen voorspelde en waargenomen EKR. RMSE is een maat voor de betrouwbaarheid van de voorspelling van een EKR met het betreffende neurale netwerk.
- ME : rekenkundig gemiddelde afwijking (Mean Error) waarbij alle (positieve en negatieve) verschillen tussen voorspelde en waargenomen EKR's na sommatie worden gemiddeld. Deze parameter is een minder indicatieve maat voor de betrouwbaarheid, omdat hiermee positieve en negatieve afwijkingen worden uitgemiddeld. Een kleine ME betekent niet dat er geen (grote) verschillen kunnen zijn. De ME geeft in feite aan of er een systematische fout (bias) aanwezig is in de voorspellingen. Verder is de ME altijd kleiner dan de RMSE.
- % binnen 0.1 : hiermee wordt aangegeven welk gedeelte van de voorspelde EKR's minder dan 0.1 EKR (een halve klasse) van de waargenomen EKR's vallen. Dit percentage geeft aan wat op basis van de gegeven stuurfactoren de voorspellende waarde van het neurale netwerk is voor de EKR's van elk kwaliteitselement.

Gevoeligheid van stuurfactoren

Voor de watertypen waarvoor neurale netwerken zijn getraind is de gevoeligheid van de uitkomst (de voorspelde EKR) voor veranderingen in de invoerparameters (de stuurfactoren) bepaald. Dit is nagegaan door telkens drie verschillende datasets van vooraf vastgestelde stuurfactoren aan de getrainde netwerken als input aan te bieden en het effect ervan op de EKR-voorspelling grafisch weer te geven.

Als datasets zijn vooraf vastgesteld:

- een dataset “alles slecht-goed” waarin alle stuurfactoren vanaf hun slechtste tot hun beste waarde (zie tabel B1.1 en B1.2) in 50 stapjes aan het neurale netwerk zijn ingevoerd. Het effect daarvan op de voorspelde EKR's is in de grafieken weergegeven als blauwe lijn. Hiermee wordt in beeld gebracht wat het effect op de voorspelde EKR is van (gelijktijdige) verbetering van de chemische en hydromorfologische omstandigheden.
- een dataset “chemie vast, rest slecht-goed” waarin de parameters voor chemie hun goede grenswaarde als vaste waarde (tabel B1.1) hebben en de overige parameters weer vanaf hun slechtste tot hun beste waarde in 50 stapjes aan het neurale netwerk worden aangeboden (tabel B1.2). Hiermee wordt de gevoeligheid van voorspelling van de EKR bepaald voor verandering van de niet chemische stuurparameters die in de grafieken is weergegeven als een groene lijn.
- een dataset “chemie slecht-goed, rest goed” waarin de stuurfactoren voor chemie vanaf hun slechtste tot hun beste waarde (tabel B1.1) in 50 stapjes en van de overige stuurfactoren de beste waarden (tabel B1.2) aan het neurale netwerk worden toegevoerd. Op deze manier wordt de gevoeligheid van voorspelling van de EKR bepaald voor verandering van alleen de chemische stuurparameters, in de grafieken weergegeven als een zwarte lijn.

Tabel B1.1: Ranges en grenswaarden van chemische stuurfactoren gebruikt voor het bepalen van de gevoeligheid van EKR-voorspelling met behulp van neurale netwerken

Typencluster	P-totaal (mg P/l)			N-totaal (mg N/l)			Chloride (mg Cl/l)			BZV (mg O ₂ /l)		
	GW	Onder	Boven	GW	Onder	Boven	GW	Onder	Boven	GW	Onder	Boven
Langzaam stromend	0.14	0.01	1	4	0.67	10				1.7	0.5	20
Snel stromend	0.14	0.01	1	4	0.67	10				1.7	0.5	20
Diepe meren	0.03	0.01	1	1	0.67	10						
Kanalen	0.15	0.01	1	2.8	0.67	10						
Sloten	0.22	0.01	1	2.4	0.67	10						
Zwak brak	0.11	0.01	1	1.8	0.67	10	4500	100	5000			
Brak tot zout	0.11	0.01	1	1.8	0.67	10	6000	1000	15000			

Tabel B1.2a: Ranges van hydromorfologische stuurfactoren gebruikt voor het bepalen van de gevoeligheid van EKR-voorspelling met behulp van neurale netwerken

Typencluster	Meandering		Beschaduwning		Verstuwing	
	Slecht	Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed
Langzaam stromend	1	5	1	3	1	3
Snel stromend	1	5	1	3	1	3

Tabel B1.2b: Ranges van hydromorfologische stuurfactoren gebruikt voor het bepalen van de gevoeligheid van EKR-voorspelling met behulp van neurale netwerken

Typencluster	Oeverinrichting		Peildynamiek		Onderhoud		Connectiviteit		Scheepvaart		Peilbeheer	
	Slecht	Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed
Diepe meren	1	3									1	3
Kanalen	1	3	1	3	1	2			1	2		
Sloten	1	3	1	3	1	2						
Zwak brak	1	3	1	3	1	2	1	3				
Brak tot zout	1	3	1	3	1	2	1	3				

Per kwaliteitselement en watertypencluster zijn 250 trainingen uitgevoerd. De uiteindelijke getrainde netwerken waarvan de resultaten in dit document weergegeven zijn, zijn bepaald aan de hand van 2 criteria:

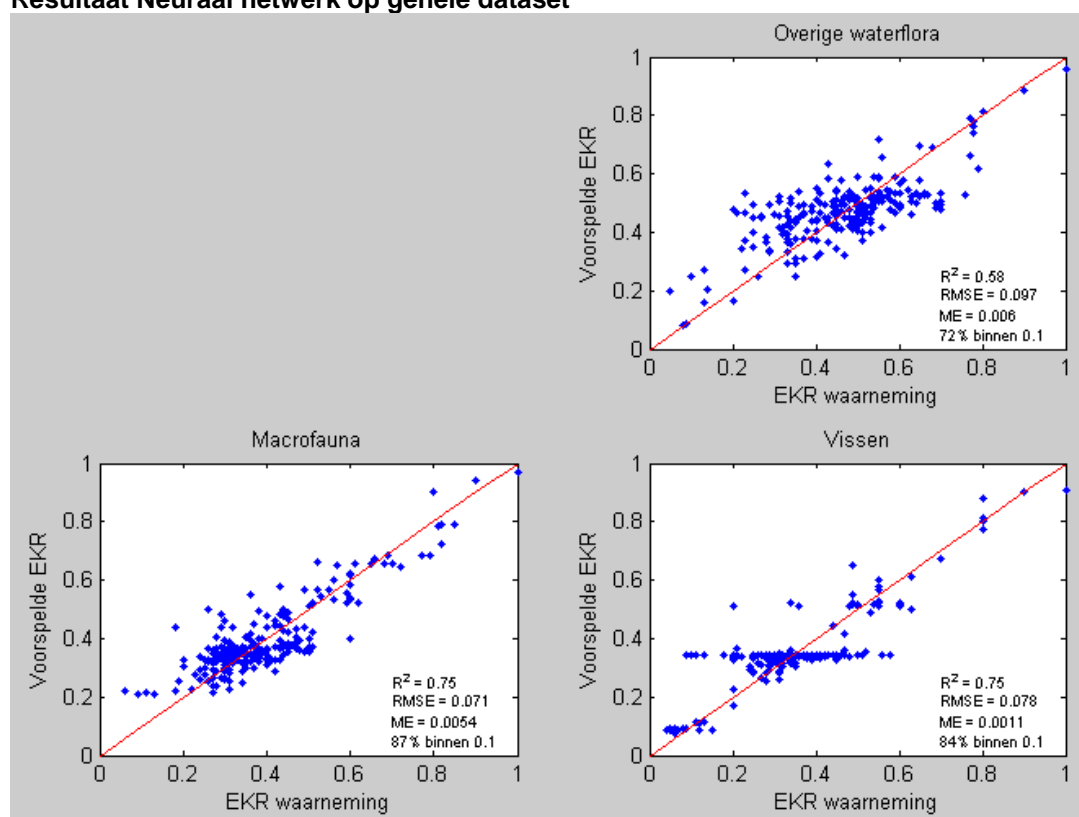
- De lijnen die de gevoeligheid voor de stuurvariabelen weergeven mogen niet dalen bij betere omstandigheden. Hierdoor wordt voorkomen dat door toevalligheden de EKR daalt na uitvoering van een KRW-maatregel die een positieve invloed op één of meer stuurvariabelen heeft.
- De lijnen mogen nooit onder 0 of boven 1 uitkomen. Hierdoor wordt voorkomen dat EKR's boven of onder 0 voorspeld worden.

Per watertypencluster en kwaliteitselement is het aantal trainingen dat aan deze eisen voldoet weergegeven. De training met de laagste RMSE is uiteindelijk gebruikt.

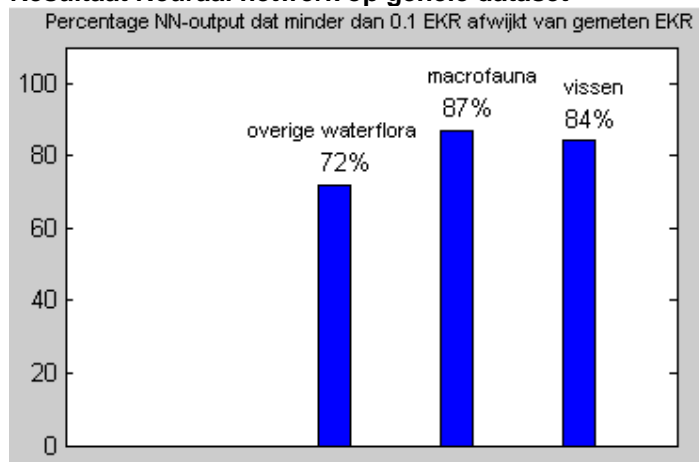
ANALYSE LANGZAAM STROMENDE BEKEN (R4, R5, R6 EN R12)

Kwaliteitselementen (EKR):	overige waterflora, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	meandering, beschaduwing, verstuwing, BZV, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	239
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

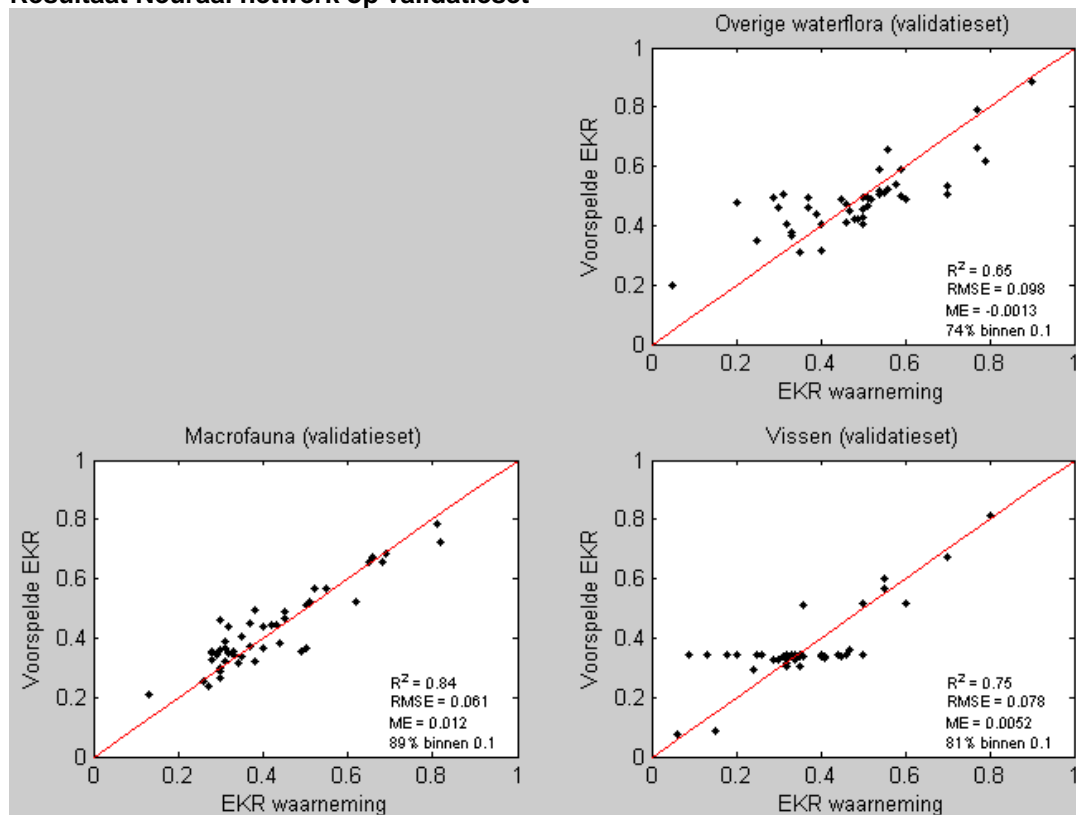
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



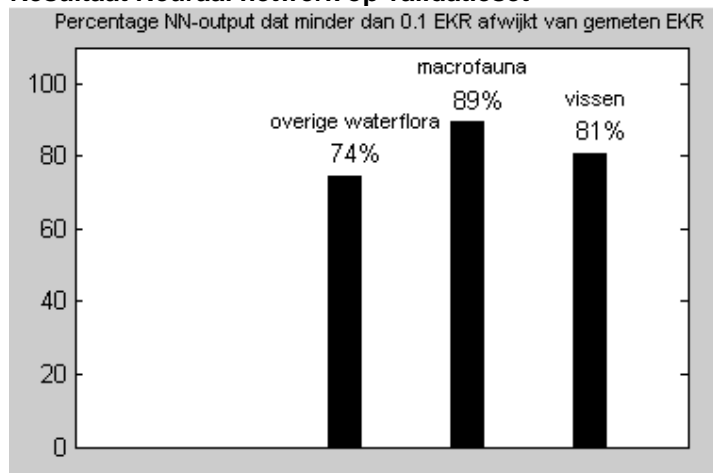
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



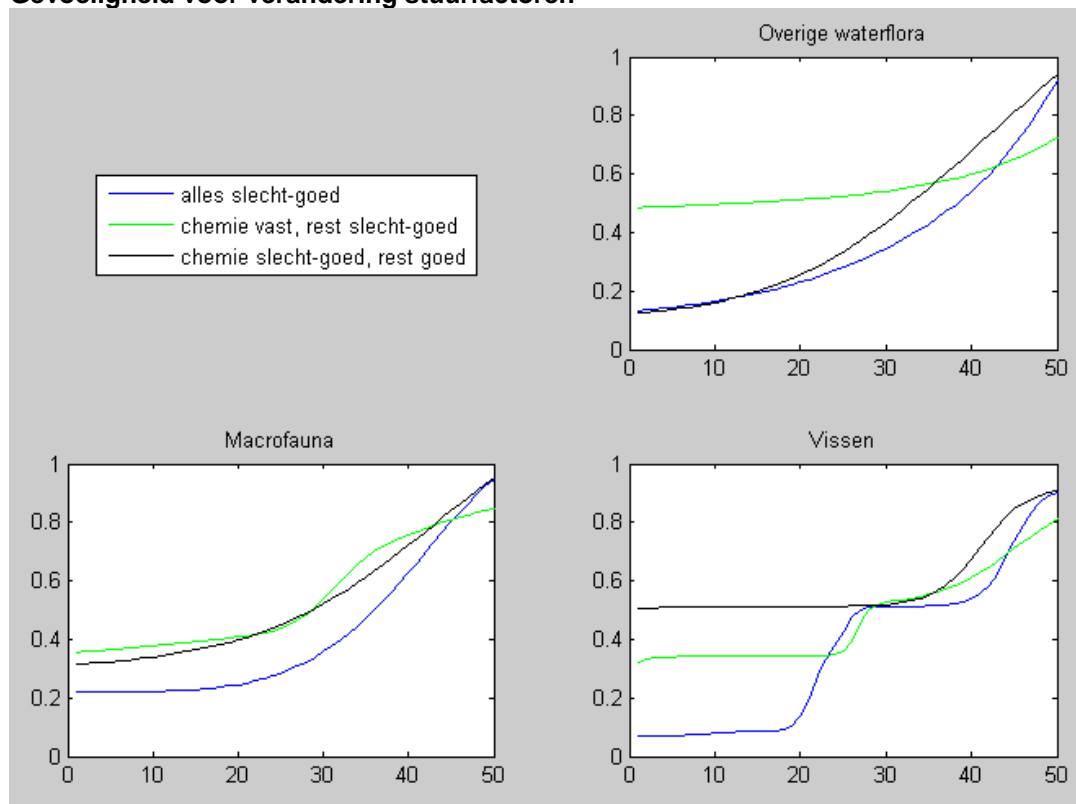
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



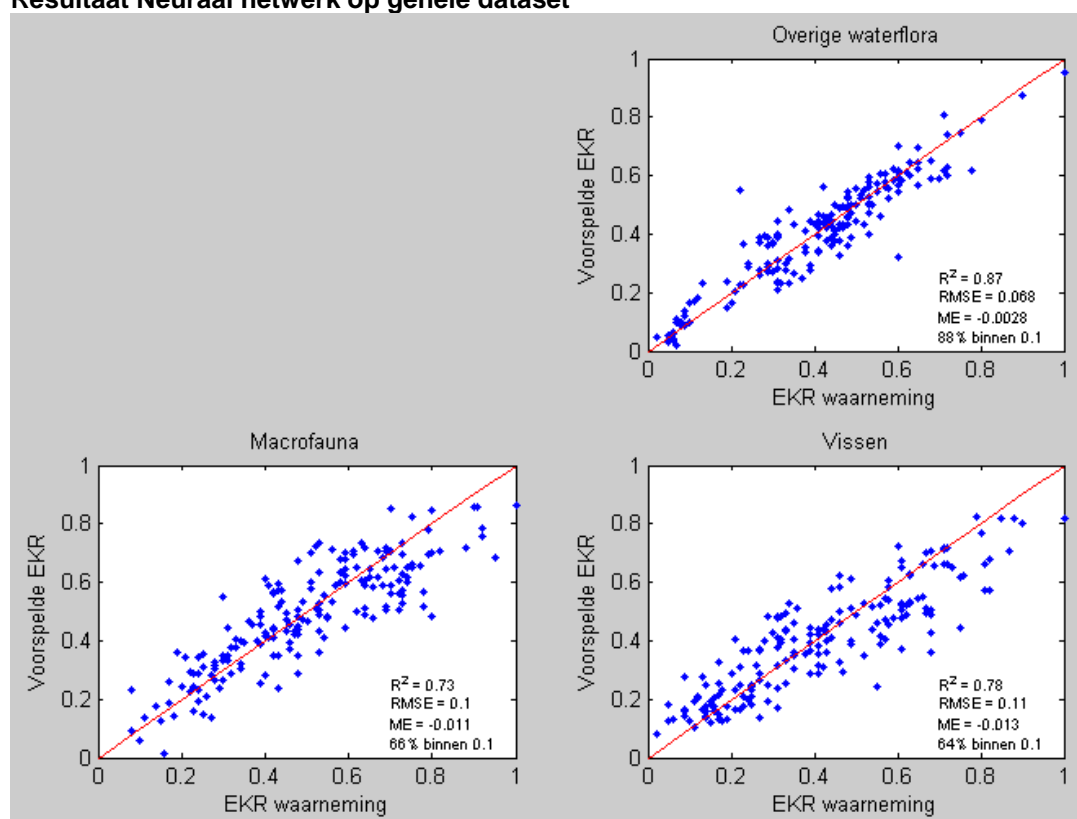
Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Overige waterflora: 39
- Macrofauna: 34
- Vissen: 42

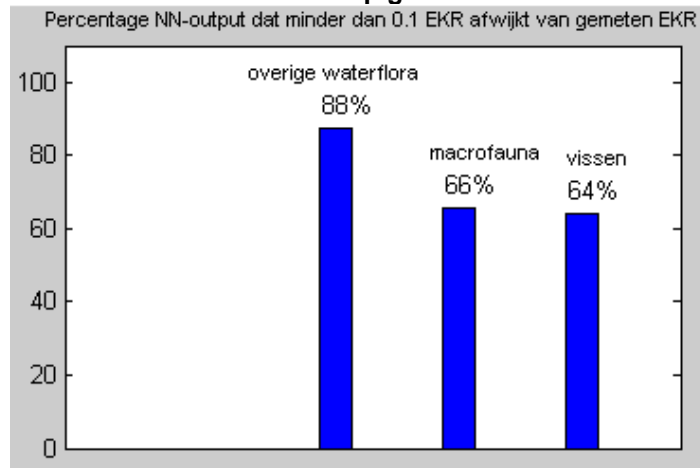
ANALYSE SNEL STROMENDE BEKEN (R13, R14, R15, R17 EN R18)

Kwaliteitselementen (EKR):	overige waterflora, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	meandering, beschaduwing, verstuwing, BZV, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	184
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

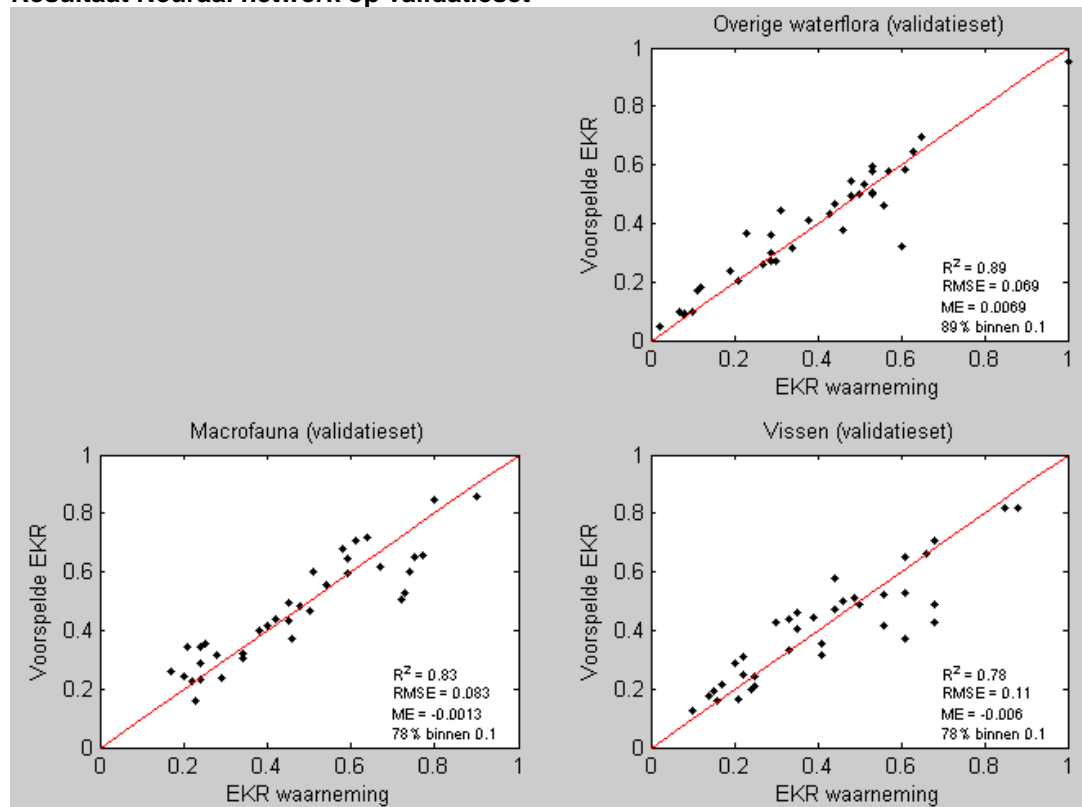
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



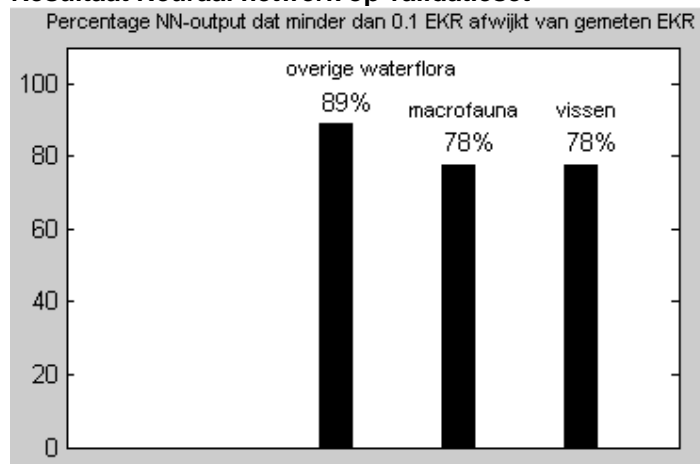
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



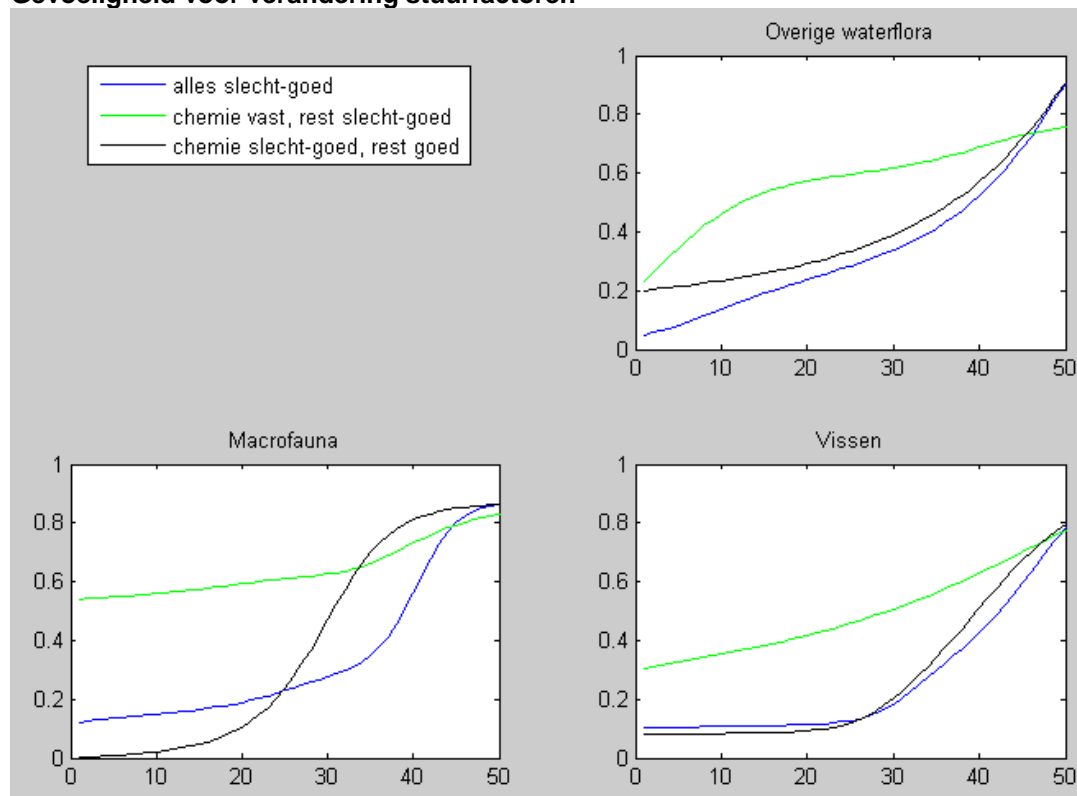
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



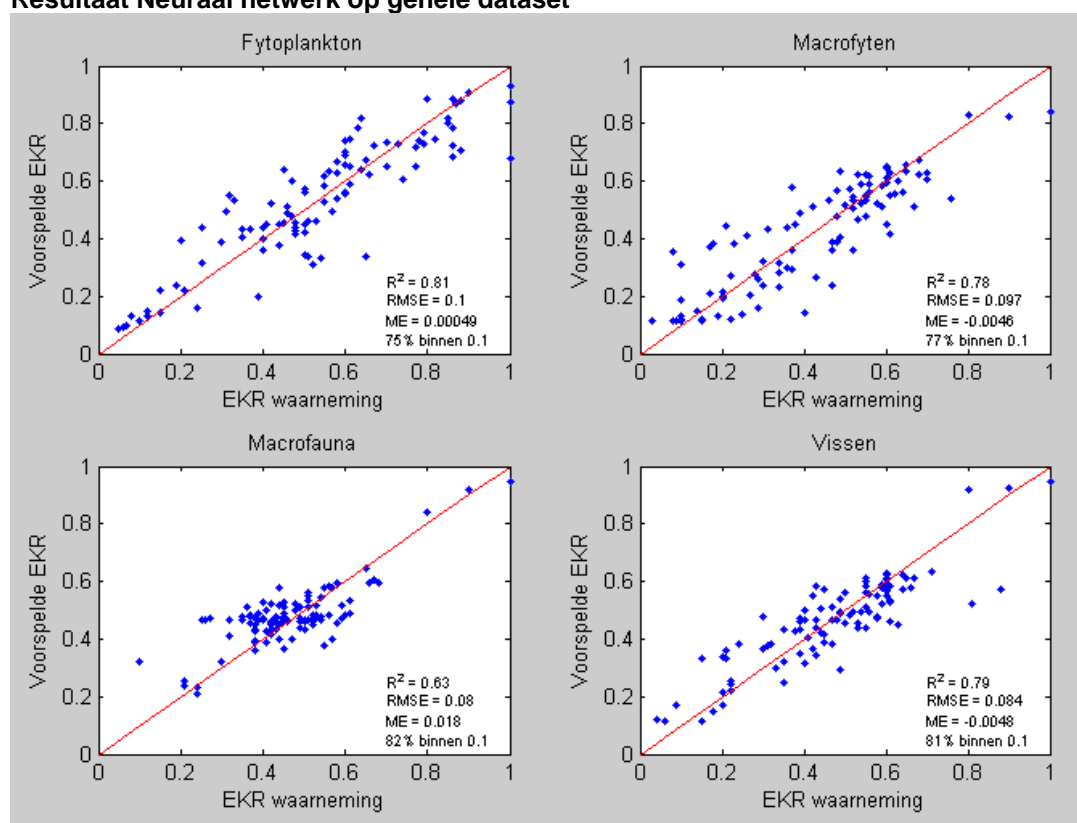
Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Overige waterflora: 97
- Macrofauna: 61
- Vissen: 78

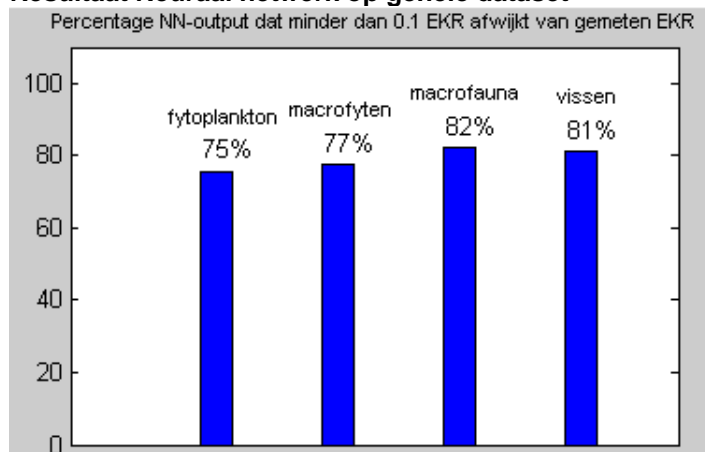
ANALYSE DIEPE MEREN (M16 EN M20)

Kwaliteitselementen (EKR):	fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	oeverinrichting, peilbeheer, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	106
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

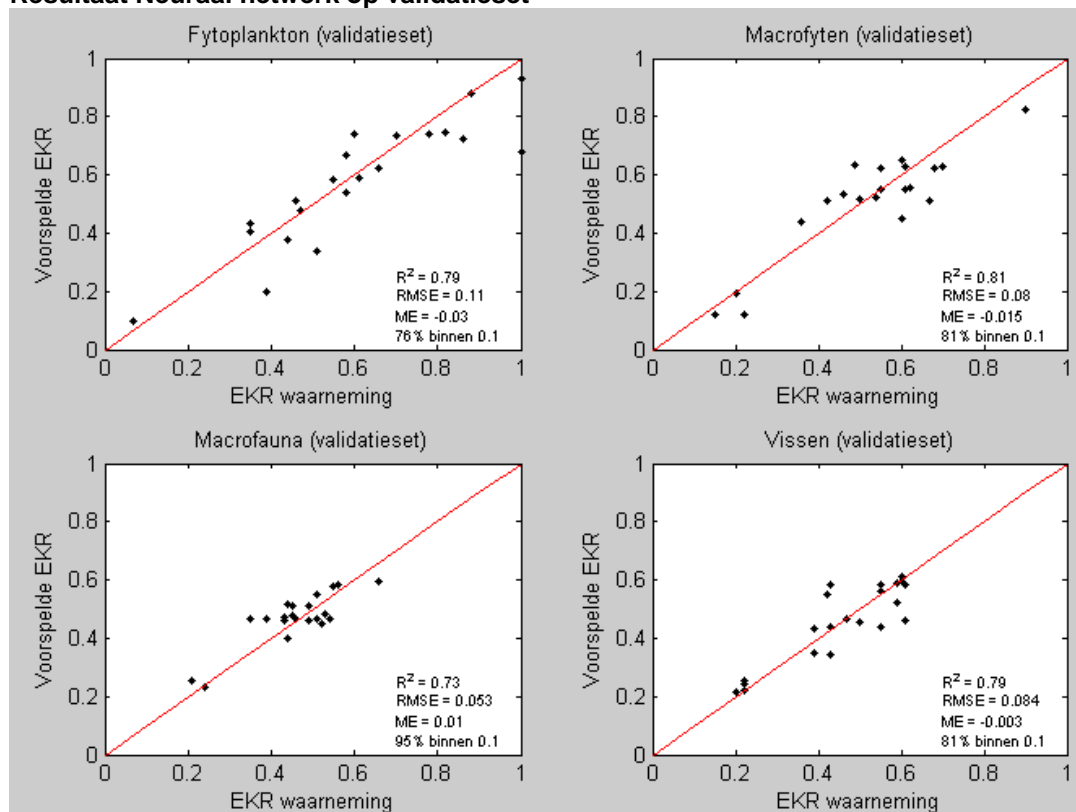
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



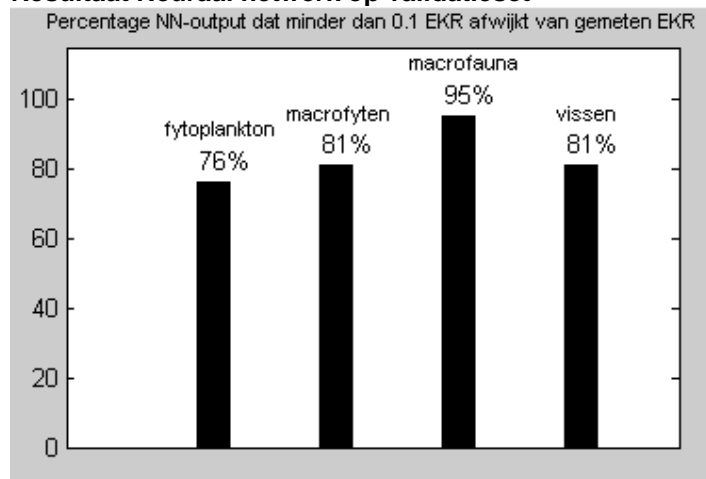
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



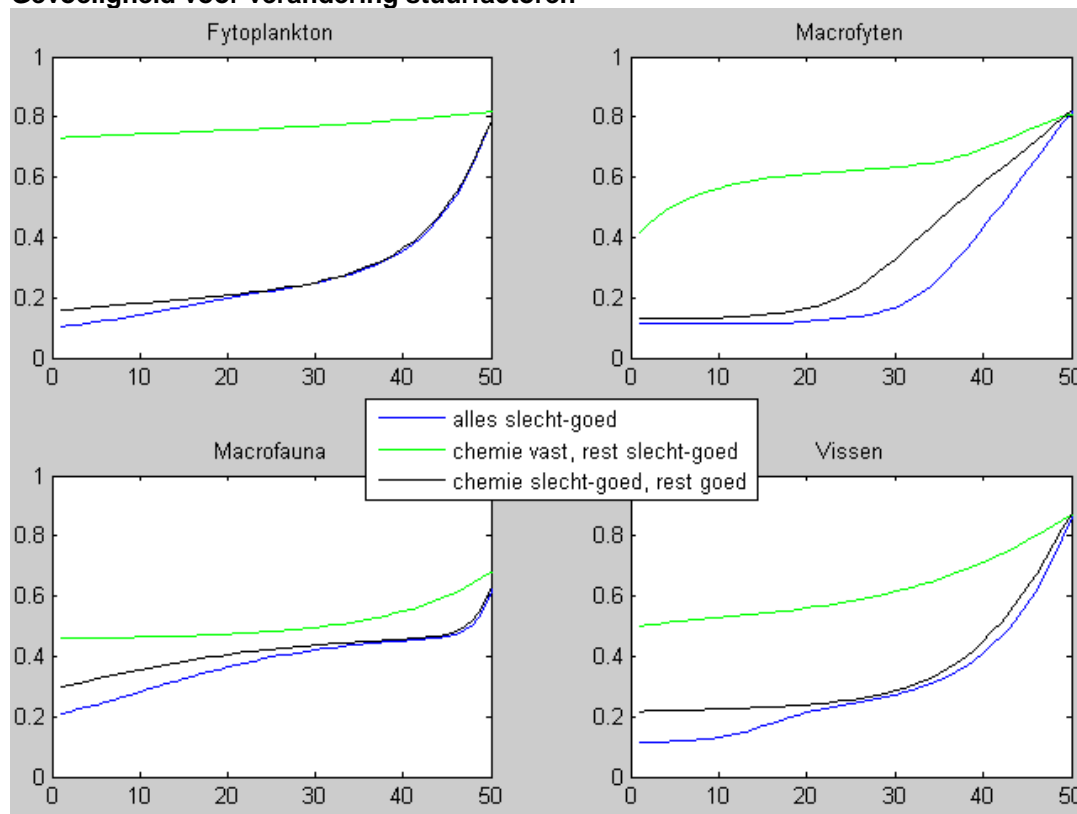
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



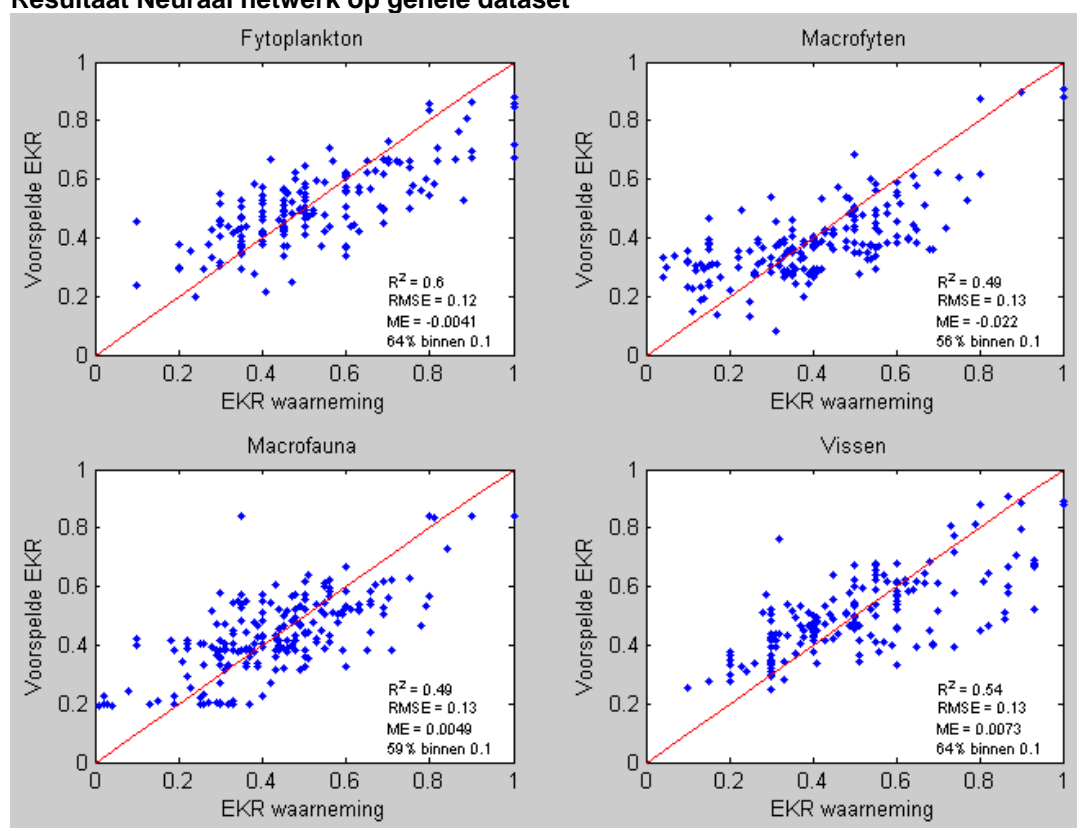
Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Fytoplankton: 33
- Macrofyten: 84
- Macrofauna: 52
- Vissen: 79

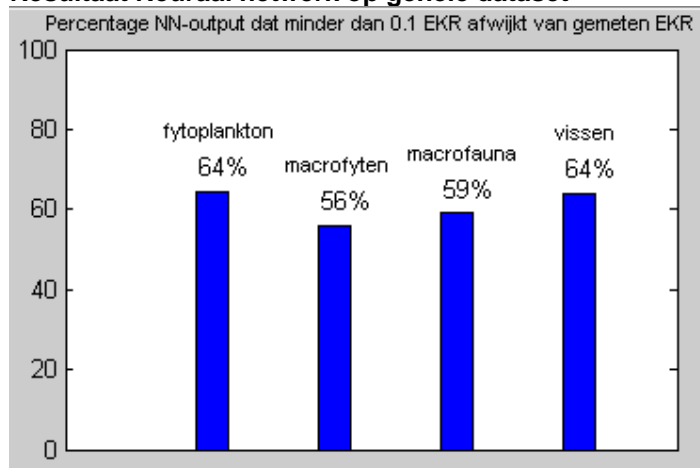
ANALYSE KANALEN (M3, M6A/B, M7A/B EN M10)

Kwaliteitselementen (EKR):	fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	oeverinrichting, peilbeheer, onderhoud, scheepvaart, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	205
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



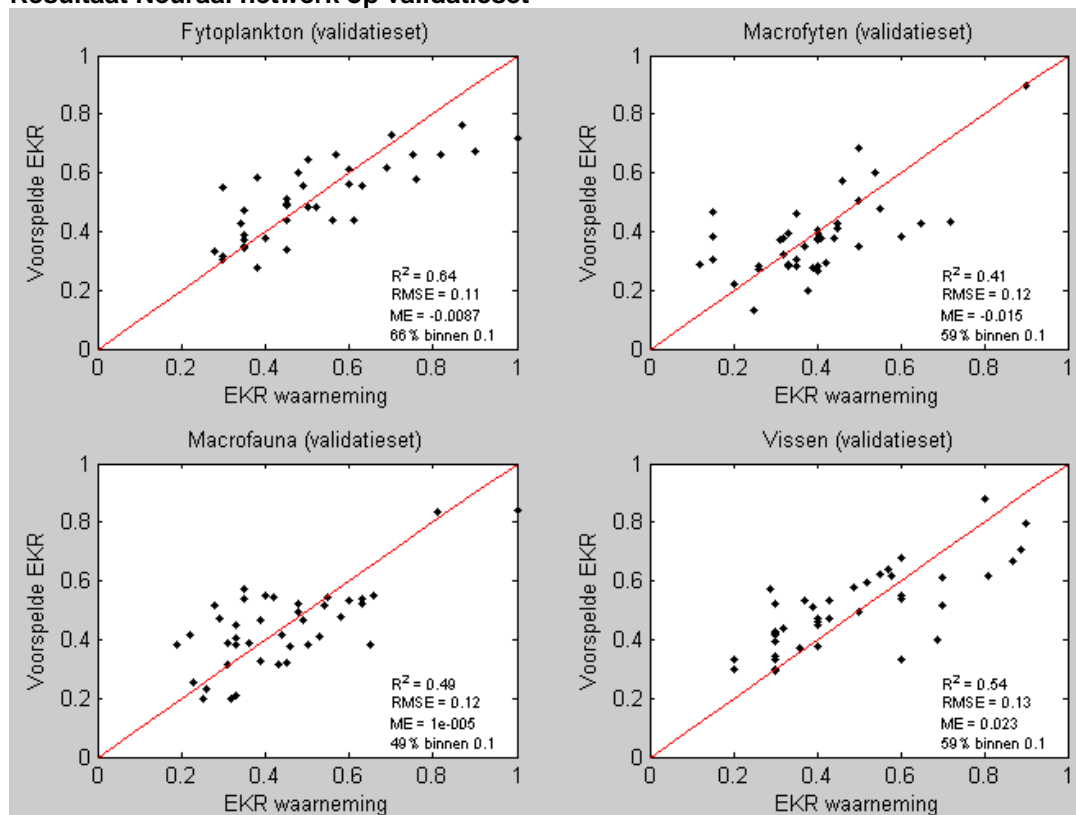
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



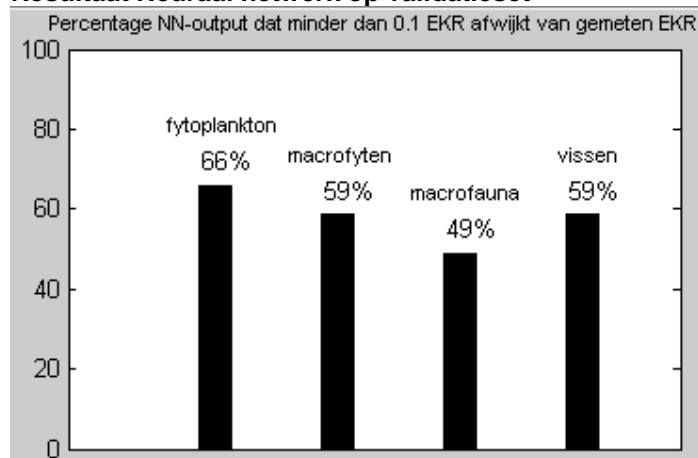
Onderzochte alternatieven die minder resultaat gaven:

- dataset excl scheepvaart als stuurfactor;
- dataset excl scheepvaart en excl peilbeheer;
- dataset excl scheepvaartkanalen als elementen.

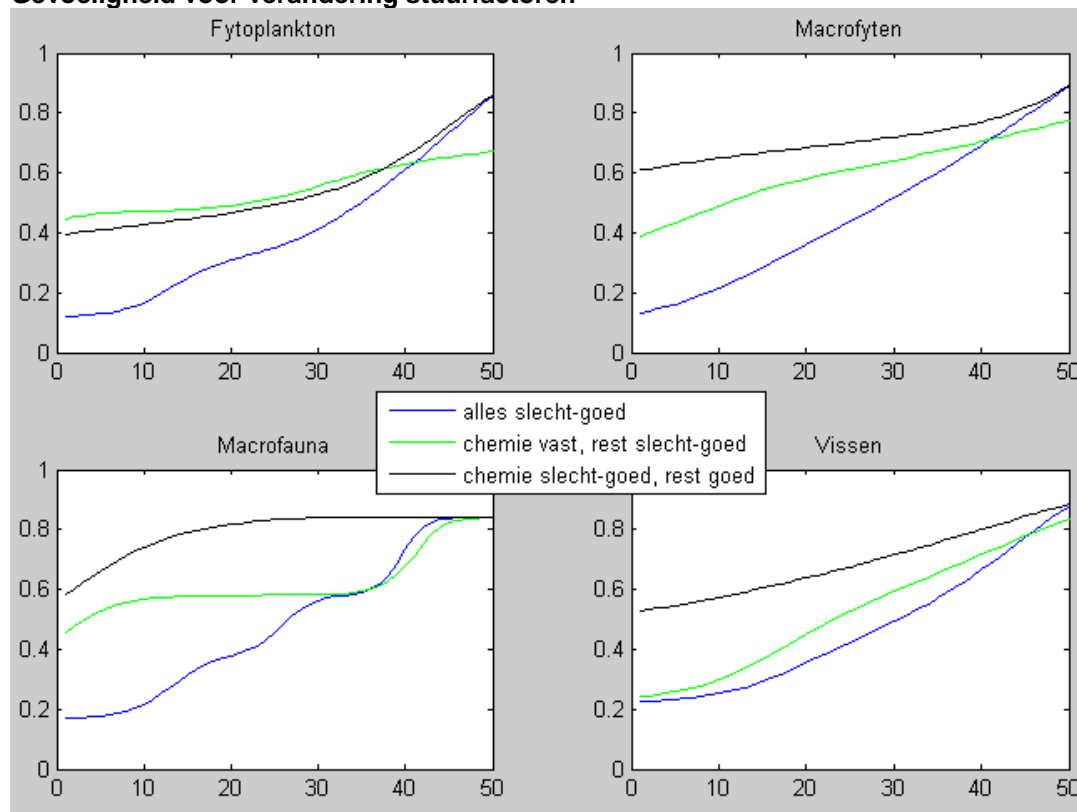
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



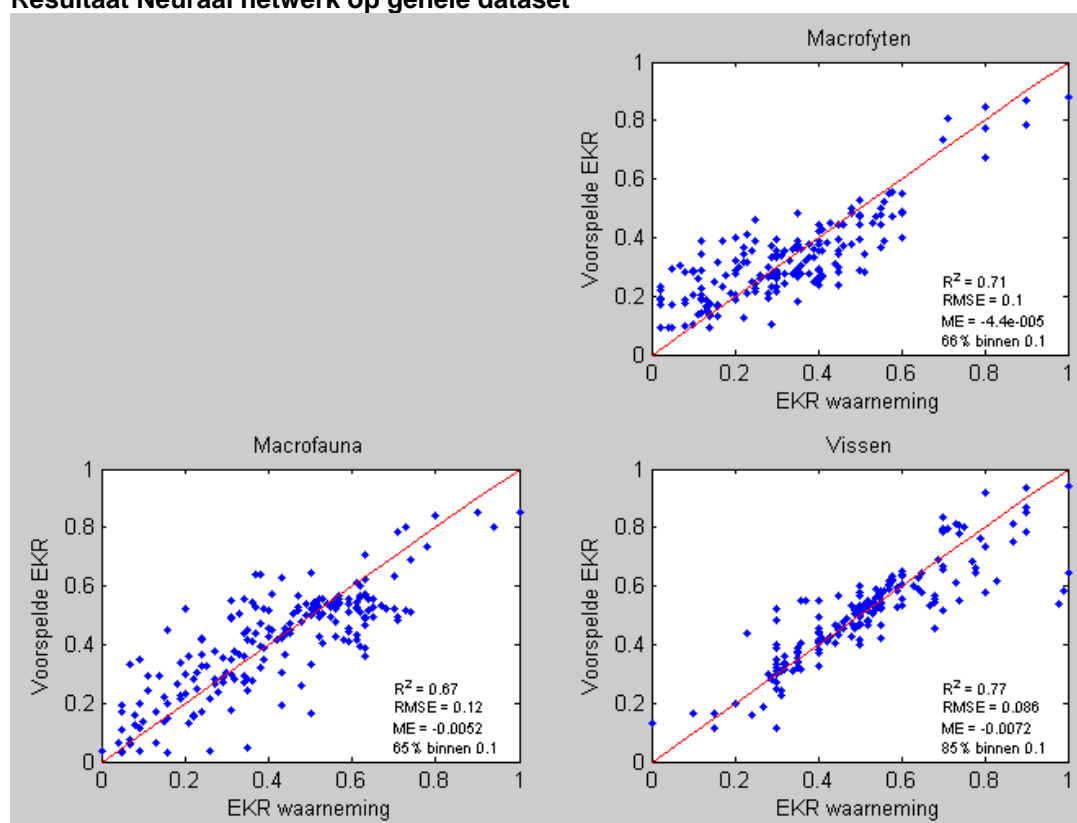
Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Fytoplankton: 12
- Macrofyten: 36
- Macrofauna: 18
- Vissen: 15

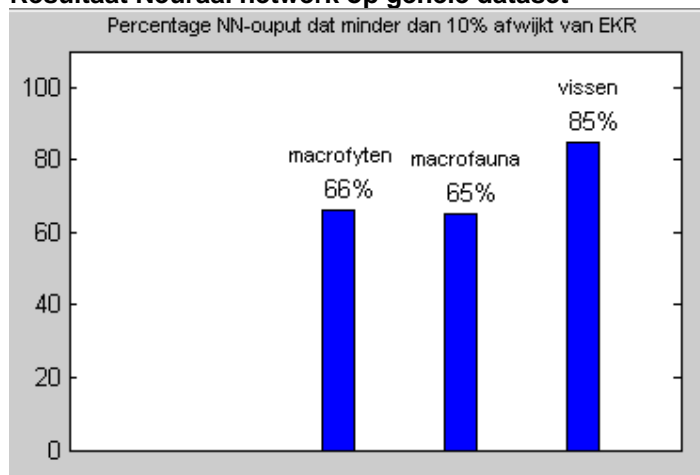
ANALYSE SLOTEN (M01A/B, M02 EN M08)

Kwaliteitselementen (EKR):	macrofyten, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	oeverinrichting, peildynamiek, onderhoud, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	197
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

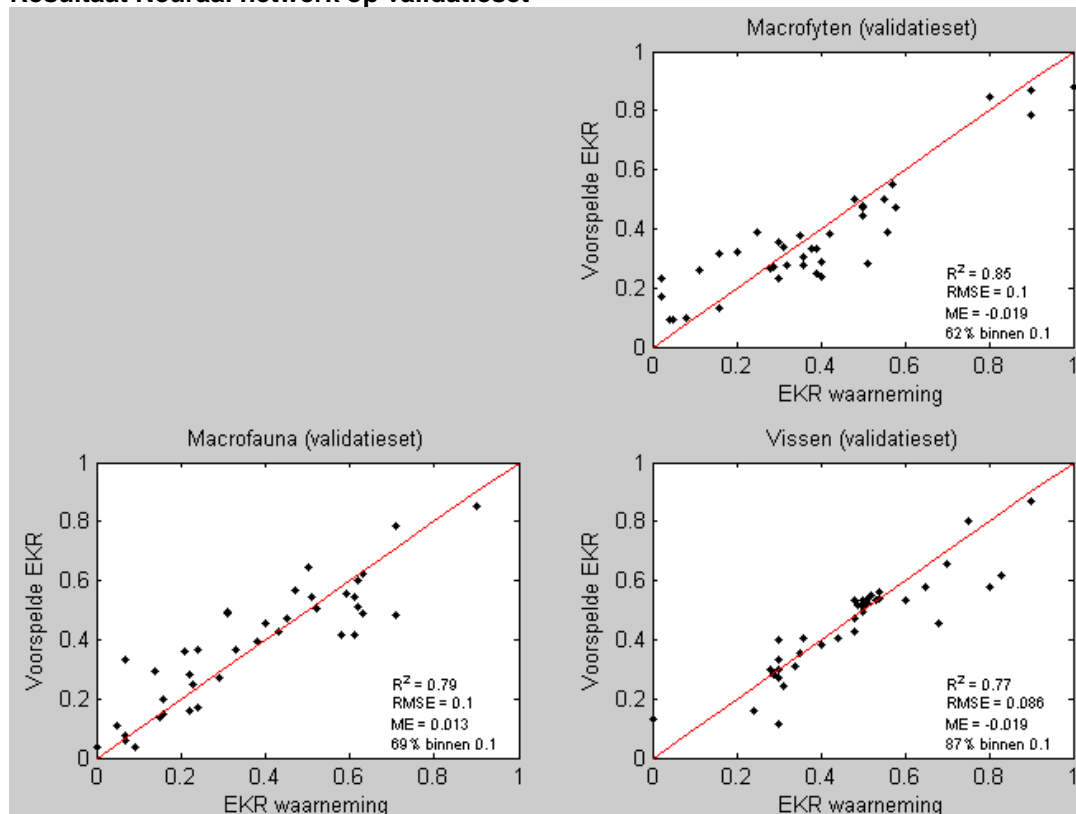
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



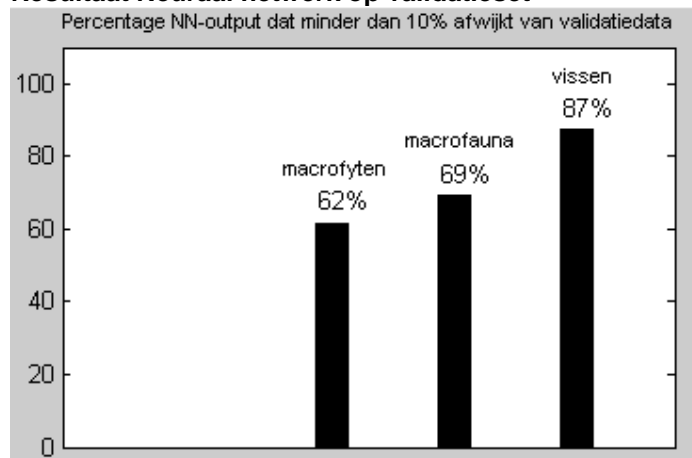
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



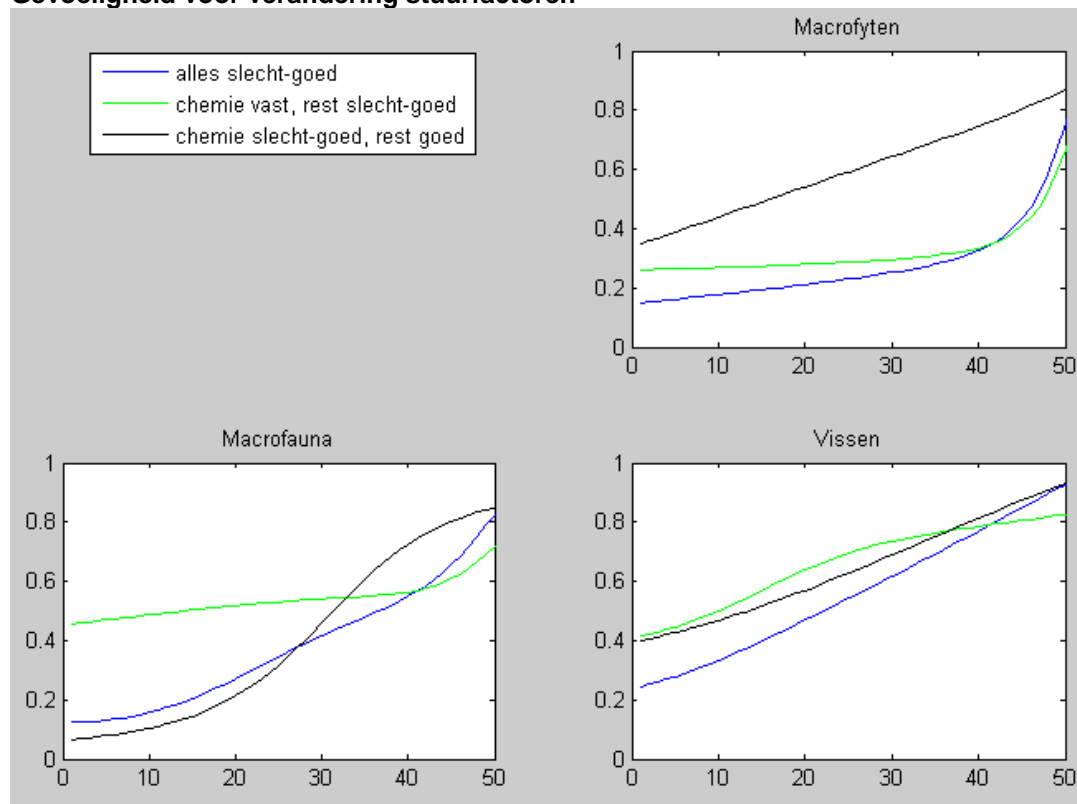
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



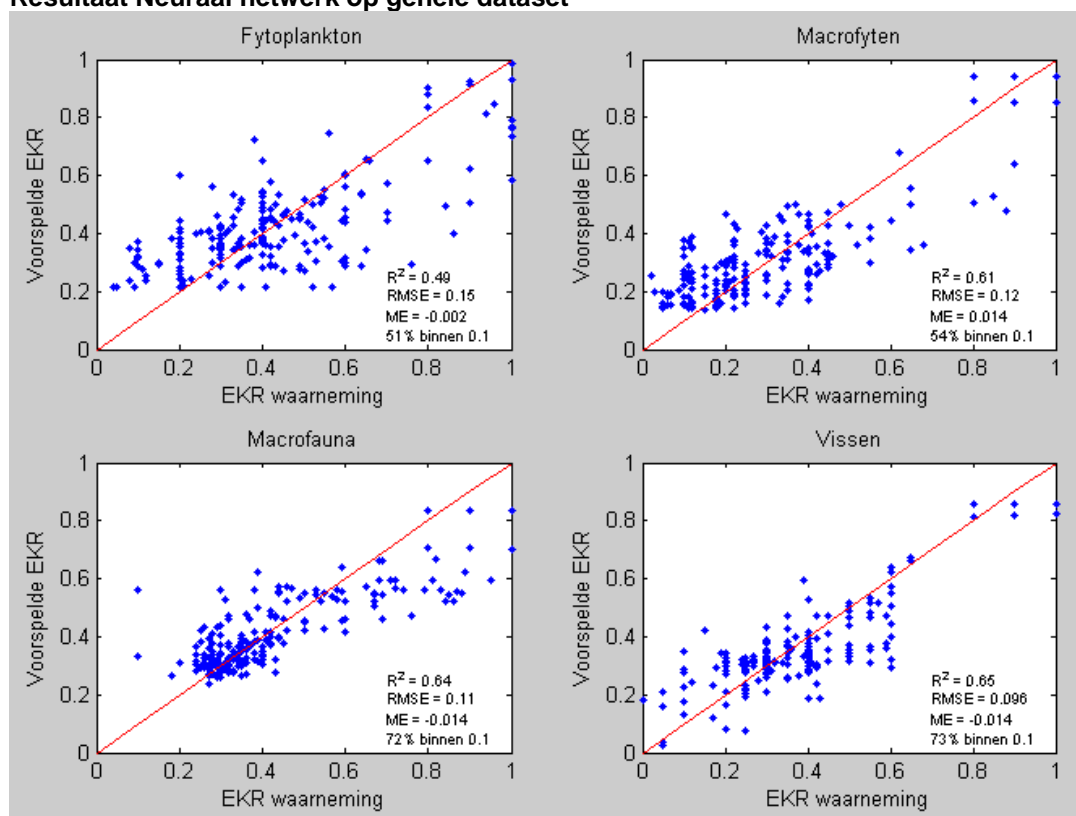
Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Macrofyten: 57
- Macrofauna: 52
- Vissen: 75

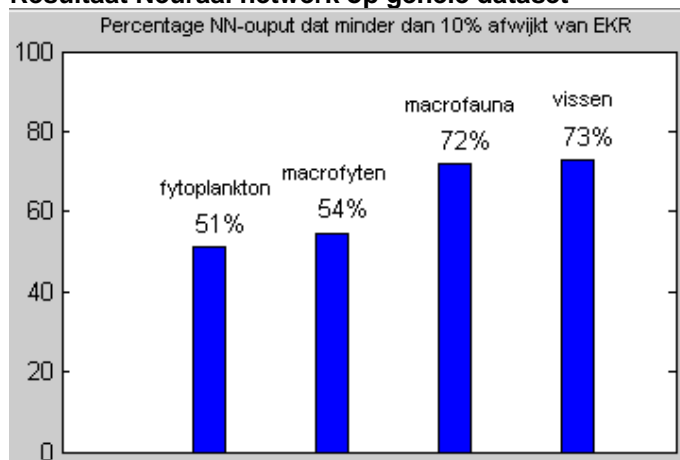
ANALYSE ZWAK BRAKKE WATEREN (M30)

Kwaliteitselementen (EKR):	fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen
Stuurfactoren:	oeverinrichting, peildynamiek, onderhoud, connectiviteit, chloride, totaal fosfaat, totaal stikstof
Aantal waarnemingen in dataset:	202
Toegepast software pakket:	Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
Aantal data gebruikt voor training:	80%
Aantal data gebruikt voor validatie:	20%
Aantal trainingen:	250

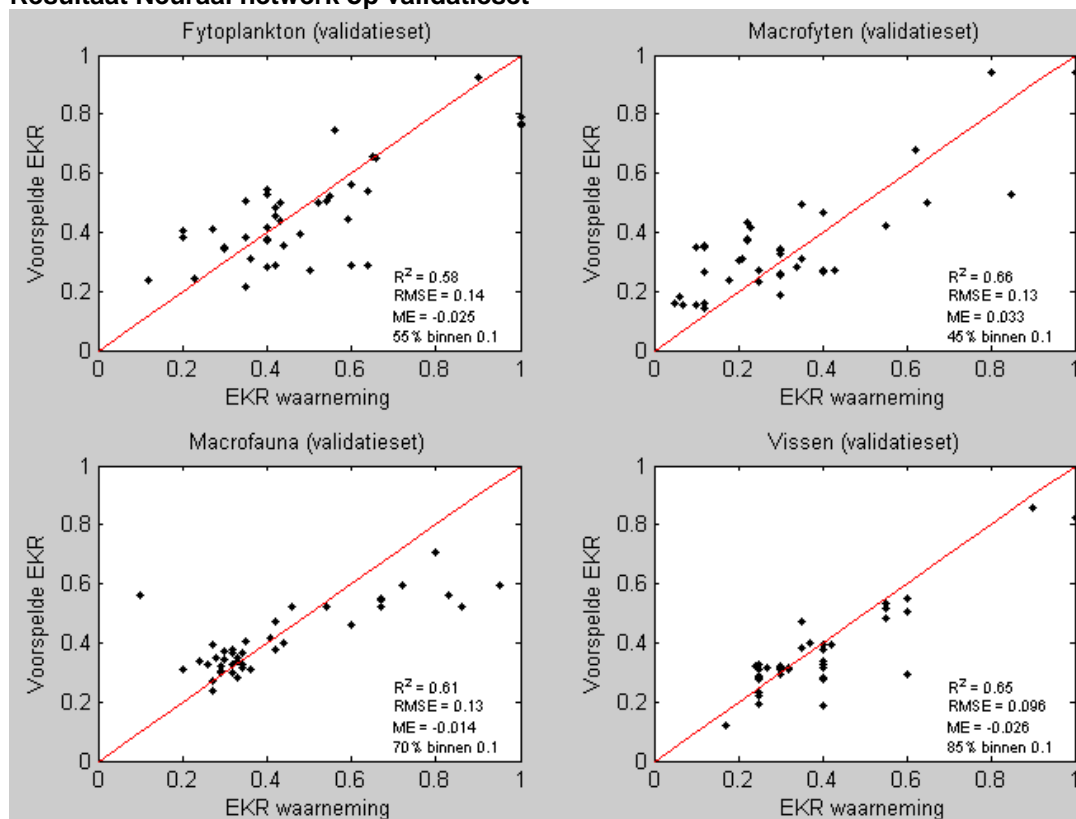
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



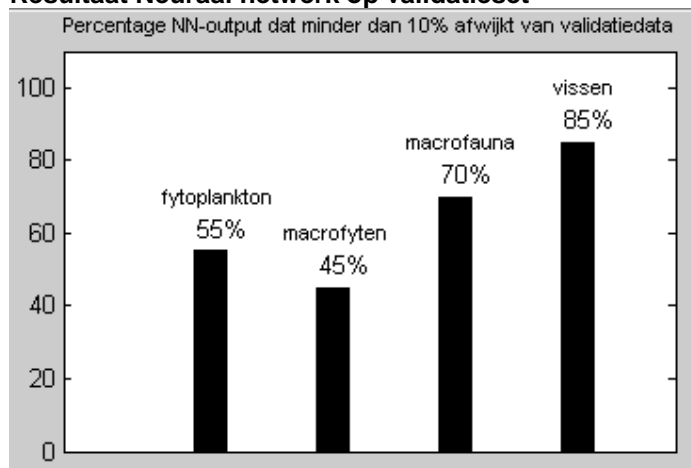
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



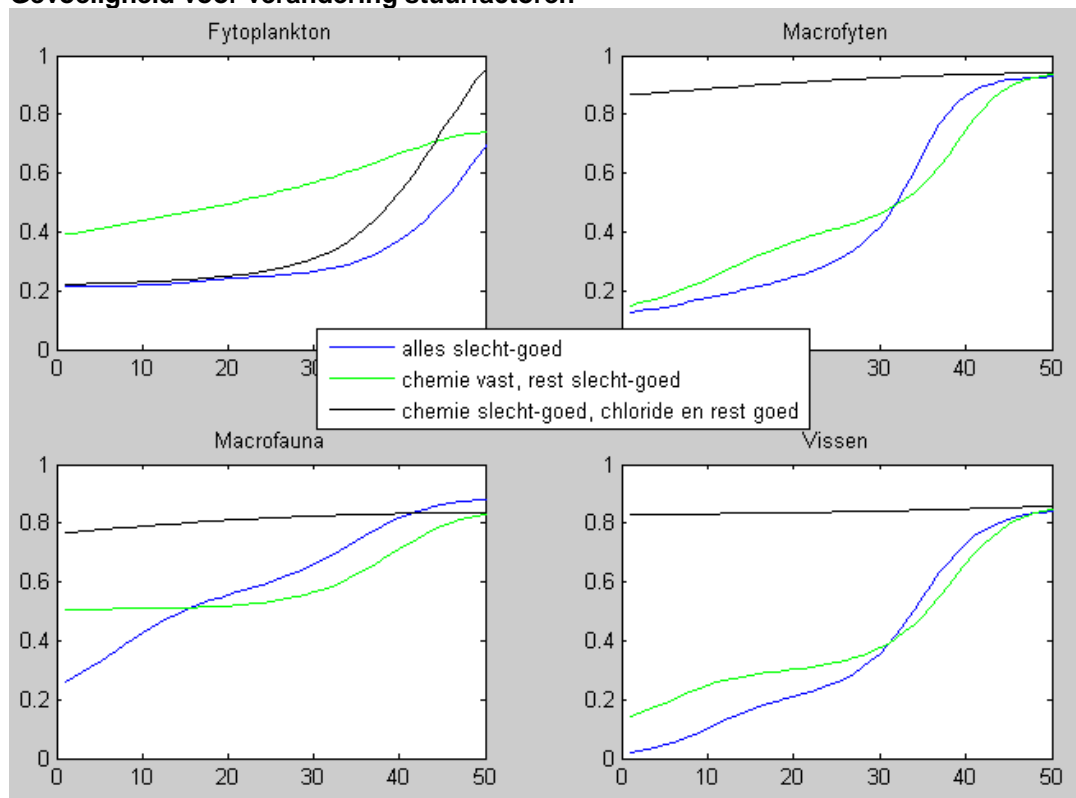
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

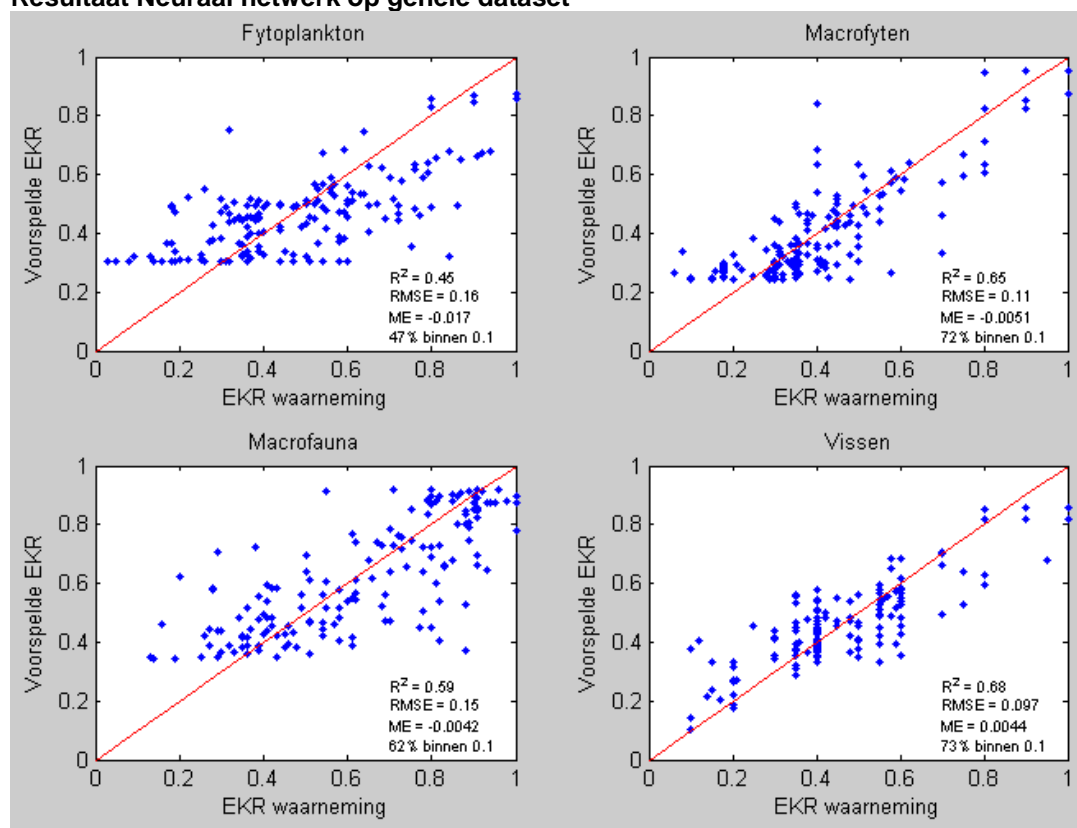
- Fytoplankton: 48
- Macrofyten: 63
- Macrofauna: 22
- Vissen: 74

ANALYSE BRAKKE TOT ZOUTE WATEREN (M31)

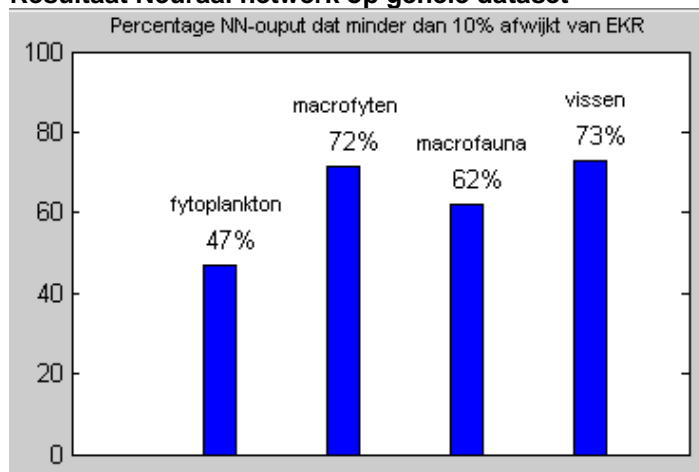
Kwaliteitselementen (EKR): fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen
 Stuurfactoren: oeverinrichting, peildynamiek, onderhoud, connectiviteit, chloride, totaal fosfaat, totaal stikstof

Aantal waarnemingen in dataset: 158
 Toegepast software pakket: Neural Network Toolbox in Matlab 7.5.0 (R2007b)
 Aantal data gebruikt voor training: 80%
 Aantal data gebruikt voor validatie: 20%
 Aantal trainingen: 250

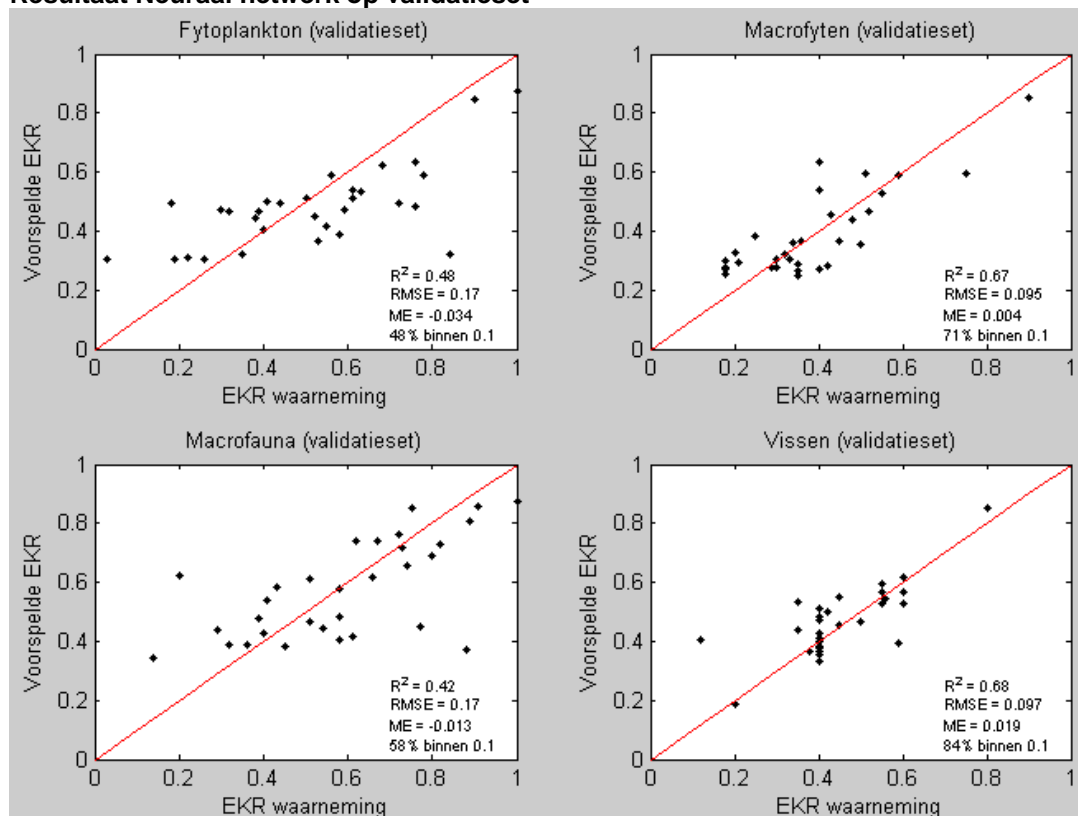
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



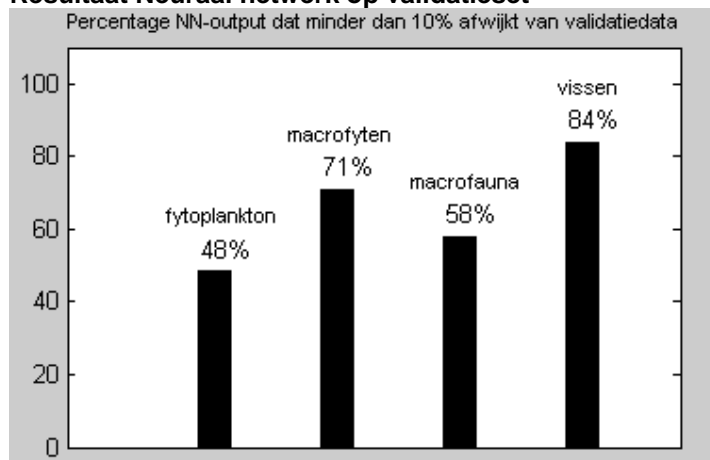
Resultaat Neuraal netwerk op gehele dataset



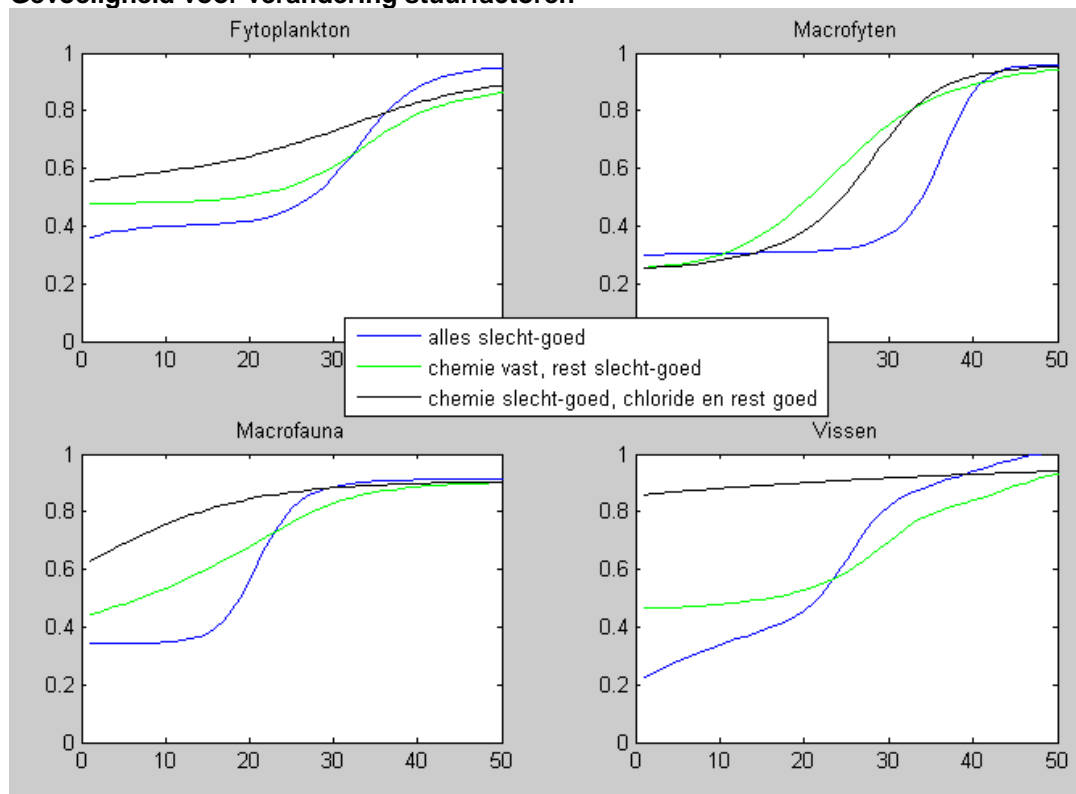
Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Resultaat Neuraal netwerk op validatieset



Gevoeligheid voor verandering stuurfactoren



Aantal van 250 getrainde netwerken dat toename van voorspelde EKR's laat zien bij toename van stuurfactoren van slecht naar goed:

- Fytoplankton: 29
- Macrofyten: 45
- Macrofauna: 58
- Vissen: 61

Bijlage 2

Resultaten Regressieboom-analyses

ALGEMEEN

In deze bijlage zijn de resultaten van de Regressieboom-analyses weergegeven. De volgende typenclusters zijn achtereenvolgens behandeld. De analyses zijn uitgevoerd door Hans Visser van PBL/IMP:

1. Langzaam stromende beken (R4, R5, R6 en R12)
2. Snel stromende beken (R13, R14, R15, R17 en R18)
3. Diepe meren (M16 en M20)
4. Kanalen (M3, M6ab, M7ab en M10)
5. Sloten (M1, M2 en M8)
6. Zwak brakke wateren (M30)
7. Brak tot zoute wateren (M31)

De EKR's in de datasets hebben een code 1 tot en met 4 meegekregen om de herkomst aan te geven. De codes staan voor:

- Code '1' staat voor een ratio die bepaald is volgens de officiële KRW-systematiek, berekend door Royal Haskoning (met behulp van de datasets en toetsmodule Limnodata neerlandica en Piscaria).
- Code '2' staat voor een ratio die bepaald is volgens de officiële KRW-systematiek, opgegeven door de waterschappen.
- Code '3' staat voor een expert-inschatting.
- Code '4' staat voor kunstmatige ratio's, toegevoegd voor situaties die niet of nauwelijks voorkomen in Nederland (ratio's hoger dan 0.8).

Het aantal keer dat meerdere monsters op één meepunt in de dataset is opgenomen, is gering. Als het voorkomt, dan liggen de jaartallen ver uiteen.

De rapportage over de eerste vier datasets is te vinden op de PBL-site:

<http://www.planbureauvoordeleefomgeving.nl/nl/publicaties/stuurfactoren-voor-de-ecologische-kwaliteit-van-regionaal-oppervlaktewater>

In dit rapport worden ook de methodes uitgelegd (hoofdstuk 2).

VERKLARING STATISTIEK

Correlatie-matrices, scatterplot-matrices

De samenhang tussen twee gepaarde grootheden, zeg 'x_i' en 'y_i', kan uitgedrukt worden met behulp van een correlatie-coëfficiënt R (of het kwadraat daarvan, dus R²). R is een getal tussen -1.0 en 1.0, en geeft aan in hoeverre er een *lineair* verband bestaat tussen de grootheden x en y. Bij een waarde van 1.0 is er een perfect lineair verband tussen x en y. Bij een R-waarde rond 0.0 is er geen enkel verband. Bij een R-waarde van -1.0 is het lineaire verband zeer sterk, maar steeds tegengesteld: als x hoog is y juist laag, en omgekeerd.

Als meer dan twee grootheden aanwezig zijn, bijvoorbeeld x_{1,i}, x_{2,i}, x_{3,i} en x_{4,i}, dan kunnen de correlaties berekend worden tussen x₁ enerzijds, en x₂, x₃ en x₄ anderzijds. Idem tussen x₂ enerzijds en x₁, x₃ en x₄ anderzijds. Etc. Uiteraard is de correlatie tussen een variabele en zichzelf altijd 1.0. De resultaten kunnen dan weergegeven worden in een vier-bij-vier-matrix. Een voorbeeld voor de EKR-deelmaatlaten 'macrofauna', 'vissen', macrofyten' en 'fytoplankton' is hieronder weergegeven. De resultaten laten zien dat sommige deelmaatlaten sterk samenhangen. Zo is de correlatie tussen 'fytoplankton' en 'macrofyten' gelijk aan 0.91.

Voorbeeld vier-bij-vier correlatie-matrix voor EKR-bepalingen:

	KR.macrofauna	EKR.vis	EKR.macrofyten	EKR.fytoplankton
EKR.macrofauna	1.00	0.66	0.63	0.58
EKR.vis	0.66	1.00	0.56	0.77
EKR.macrofyten	0.63	0.56	1.00	0.91
EKR.fytoplankton	0.58	0.77	0.91	1.00

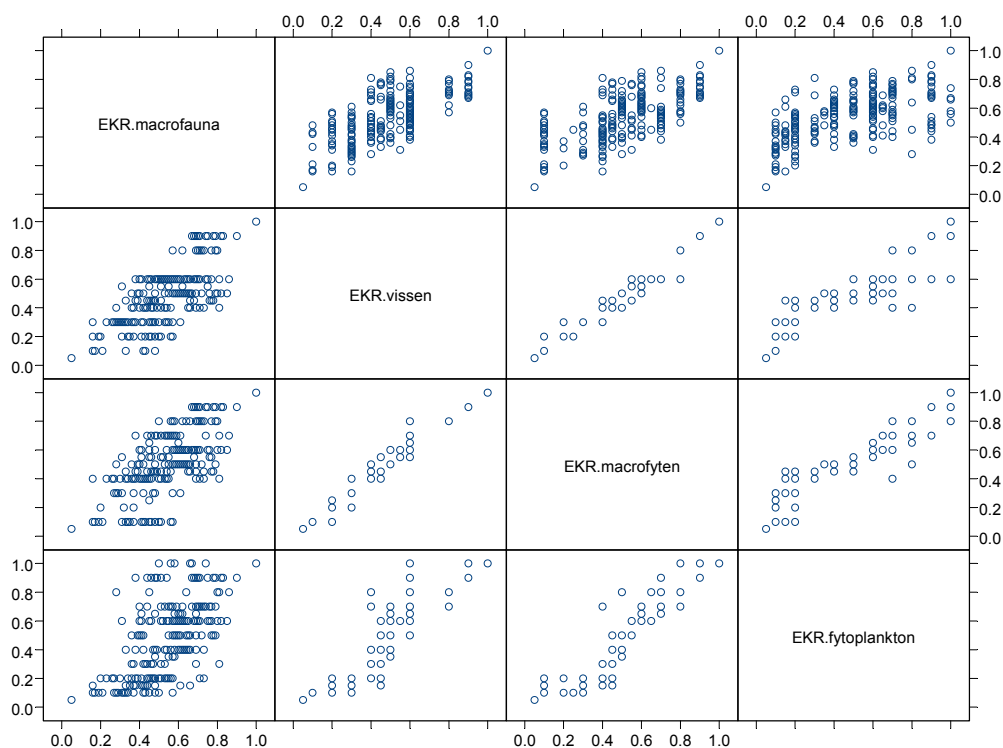
Om te zien of relaties tussen grootheden lineair zijn of niet, is het handig om getallenparen (x_i,y_i) weer te geven in een zogenaamde *scatterplot*. Dat is niets anders dan x_i op de x-as en y_i op de y-as. De patronen die dan zichtbaar worden, geven informatie over het soort relatie dat x en y hebben. Als die relatie sterk niet-lineair is, dan geeft het patroon informatie hoe wèl een relatie tussen x en y geformuleerd zou kunnen worden.

Als er meer dan twee variabelen aanwezig zijn, dan kunnen de scatterplots voor bijvoorbeeld x₁, x₂, x₃ en x₄ in één matrix geplaatst worden. Zie figuur B2.1. Zo'n *scatterplot-matrix* bevat op de eerste rij vier scatterplots: tussen x₁ en zichzelf (hier als leeg blok weergegeven), tussen x₁ en x₂, tussen x₁ en x₃, en tussen x₁ en x₄. Idem de tweede rij tussen x₂ en x₁, tussen x₂ en zichzelf, tussen x₂ en x₃, en tussen x₂ en x₄, etc.

De scatterplot-matrix laat zien dat de relatie tussen 'vissen' en 'macrofyten' sterk lineair is. De puntenwolk, getoond in het centrum van de scatterplot-matrix, ligt zeer nauw rond de 45-graden lijn die gaat door de coördinaten (0,0) en (1,1).

Daarentegen is de relatie tussen ‘macrofauna’ en ‘fytoplankton’ slecht: de puntenwolk in hun onderlinge scatterplot, gelegen in de linker onderhoek en rechter bovenhoek van de matrix, vult een groot deel van de ruimte.

Figuur B2.1: Scatterplot-matrix voor vier kwaliteitselementen: fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen



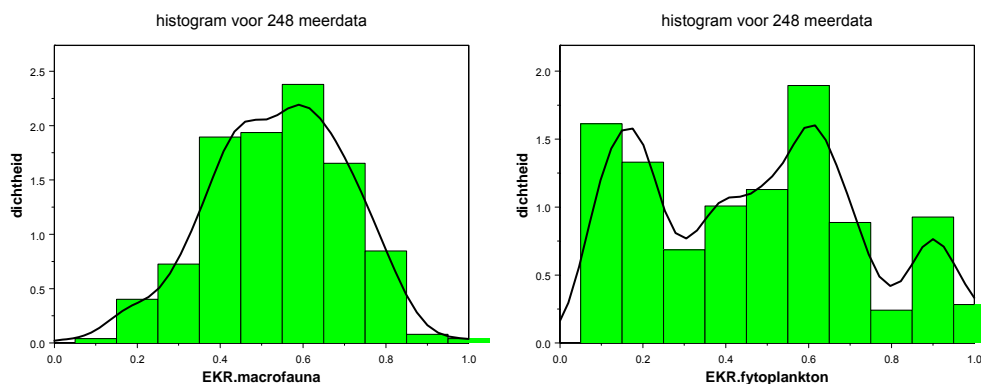
Histogrammen en dichtheden

Om een reeks van EKR-waarden te karakteriseren, kunnen voor een set data gemiddeldes en standaarddeviaties berekend worden. Ook percentielwaarden zijn informatief, zoals het 25-, 50- en 75-percentiel. De data kunnen ook simpelweg gekarakteriseerd worden door ze weer te geven in een histogram met de corresponderende geschatte dichtheidscurve. Voordeel is dat bijvoorbeeld EKR-waarden visueel gemaakt worden, waarbij de dichtheid een continue weergave geeft van de histogrambalken. Hierbij staan de EKR-waarden op de x-as en de dichtheden, discreet en continu, op de y-as.

Het voordeel van dichtheden is dat het oppervlak onder de curve precies gelijk is aan 1.0, waardoor verschillende histogrammen met hun dichtheden vergeleken kunnen worden. Overigens, als de waarden op de y-as vermenigvuldigd zouden worden met het totaal aantal data N , dan kan direct afgelezen worden hoeveel data er in een histogram-balk vallen.

Een voorbeeld voor de deelmaatlatten 'macrofauna' en 'fytoplankton' in 248 meren is gegeven in figuur B2.2. Het voorbeeld laat zien dat de vorm van de dichtheidscurve aanzienlijk kan afwijken voor de verschillende deelmaatlatten, bepaald in dezelfde wateren. Dat betekent de gevoeligheid van verschillende soortgroepen voor de ecologische omstandigheden sterk variabel kan zijn.

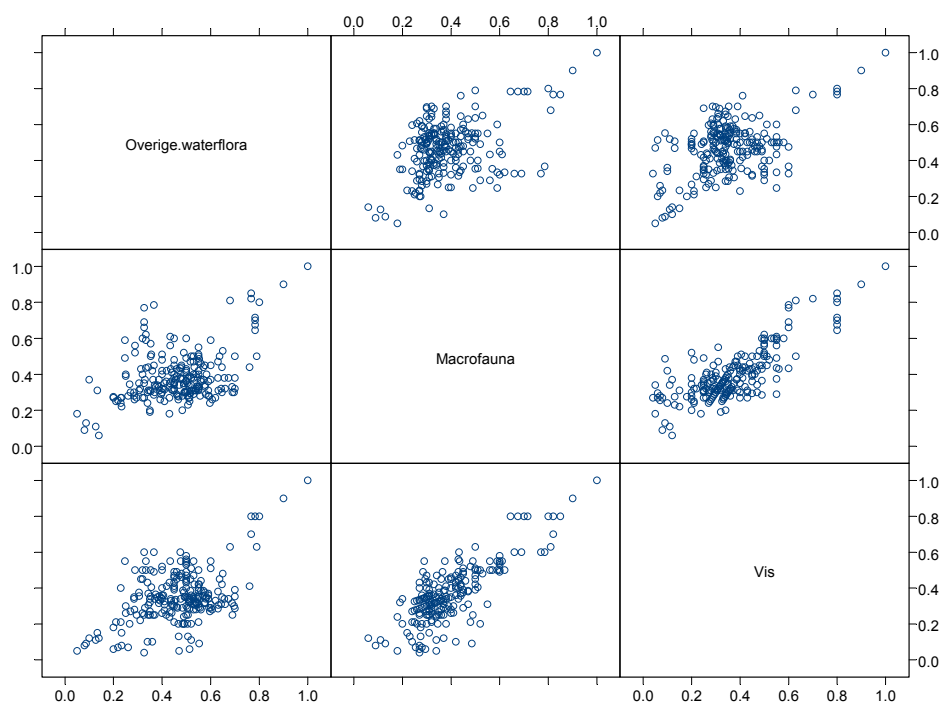
Figuur B2.2: Overzicht van macrofauna-EKR-waarden (links) en fytoplankton-EKR-waarden (rechts)



ANALYSE LANGZAAM STROMENDE BEKEN (R4, R5, R6 EN R12)

Scatterplot-matrices, alle codes

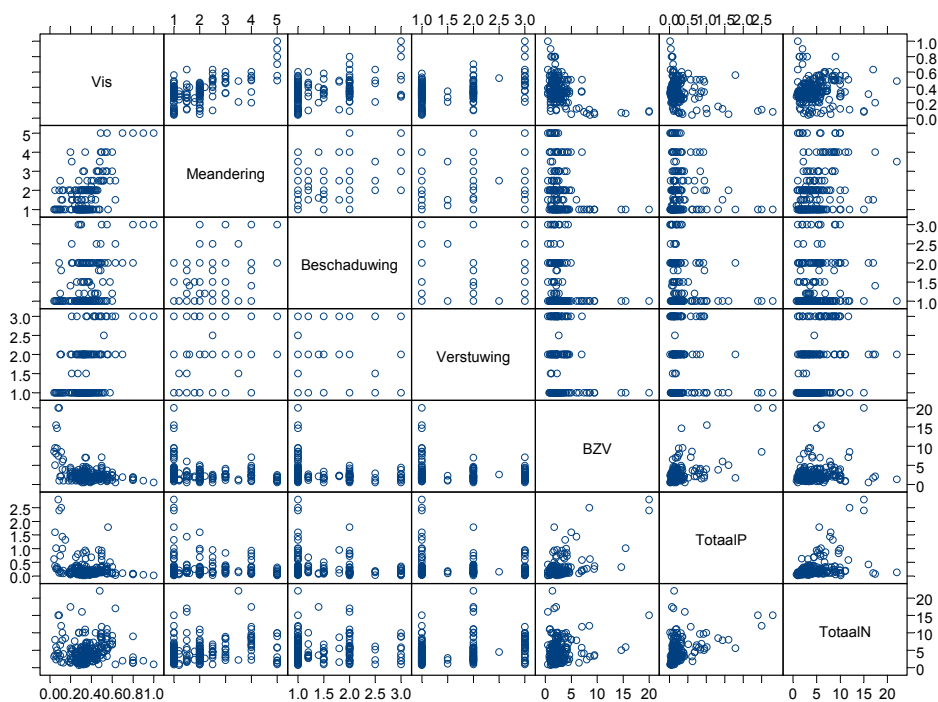
Figuur B2.3: Scatterplot-matrix voor drie kwaliteitselementen: overige waterflora, macrofauna en vissen



*** Correlations for data in: BekenSlowMa ***

	Overige.waterflora	Macrofauna	Vis
Overige.waterflora	1.0000000	0.4357329	0.4833030
Macrofauna	0.4357329	1.0000000	0.7941139
Vis	0.4833030	0.7941139	1.0000000

Figuur B2.4: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: BekenSlowMa ***

	Vis	Meandering	Beschaduwing	Verstuwing	BZV
Vis	1.0000000	0.70144573	0.45267179	0.56882175	-0.3978310
Meandering	0.70144573	1.0000000	0.46341459	0.57298426	-0.1742874
Beschaduwing	0.45267179	0.46341459	1.0000000	0.21350347	-0.1826829
Verstuwing	0.56882175	0.57298426	0.21350347	1.0000000	-0.1158144
BZV	-0.39783096	-0.17428743	-0.18268295	-0.11581439	1.0000000
TotaalP	-0.27805663	-0.06462167	-0.09377636	-0.03337092	0.6065921
TotaalN	0.06926248	0.24815934	0.12488093	0.29406830	0.2503452

	TotaalP	TotaalN
Vis	-0.27805663	0.06926248
Meandering	-0.06462167	0.24815934
Beschaduwing	-0.09377636	0.12488093
Verstuwing	-0.03337092	0.29406830
BZV	0.60659213	0.25034519
TotaalP	1.00000000	0.41677009
TotaalN	0.41677009	1.00000000

Regressieboom voor overige waterflora, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **58 %**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(7., 33., 32., 34., 70., 9., 71., 6.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalP"      "Meandering"   "Beschaduw"   "TotaalN"
[5] "BZV"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.009679 = 2.217 / 229

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-2.342e-001	-6.215e-002	1.418e-004	-6.968e-019	6.186e-002	3.350e-001

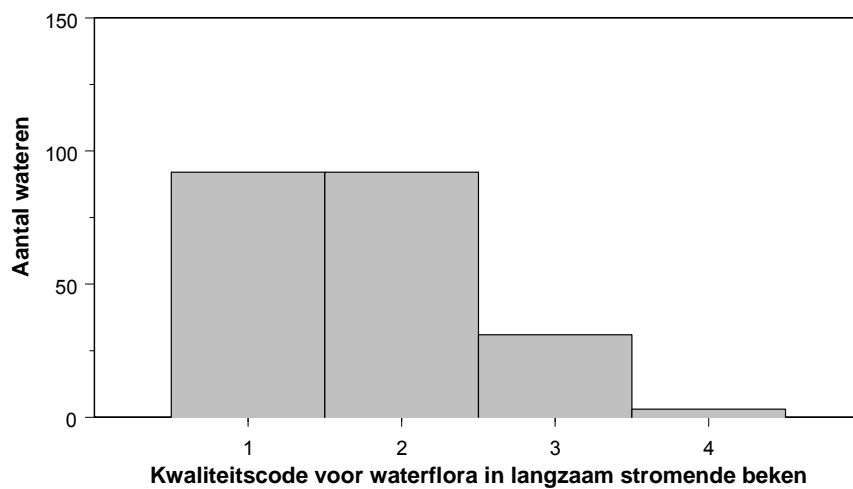
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

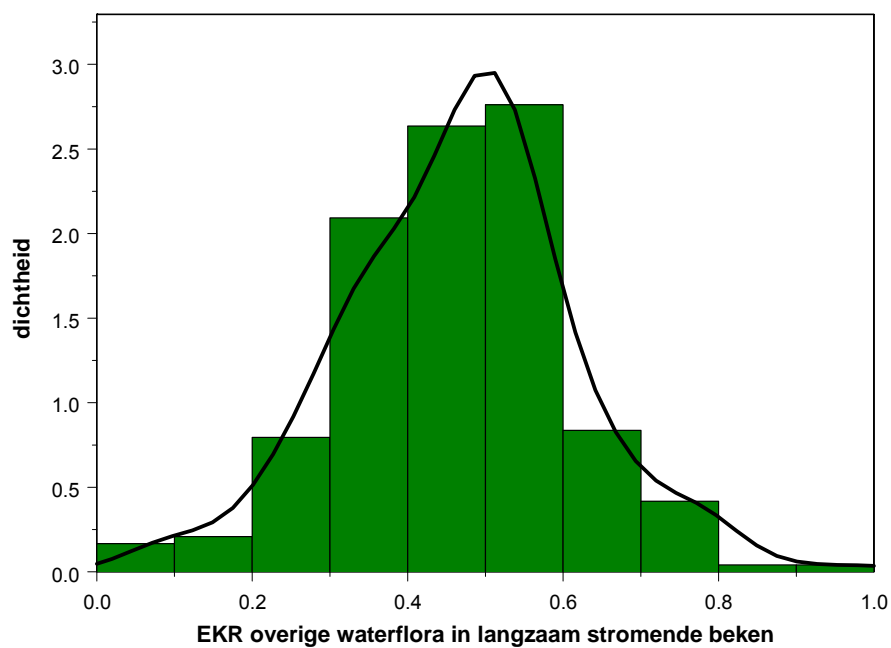
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 239 5.31000 0.4679
- 2) TotaalP<0.210714 173 3.02600 0.5120
 - 4) Meandering<4.5 160 1.98800 0.4949
 - 8) Beschaduw<1.3 110 1.37000 0.4742
 - 16) TotaalP<0.108944 45 0.34600 0.5202
 - 32) TotaalN<2.94 32 0.19080 0.5447 *
 - 33) TotaalN>2.94 13 0.08842 0.4597 *
 - 17) TotaalP>0.108944 65 0.86300 0.4424
 - 34) TotaalN<2.51 18 0.14400 0.3698 *
 - 35) TotaalN>2.51 47 0.58800 0.4702
 - 70) BZV<1.41429 10 0.13390 0.5639 *
 - 71) BZV>1.41429 37 0.34260 0.4449 *
 - 9) Beschaduw>1.3 50 0.46780 0.5404 *
 - 5) Meandering>4.5 13 0.41430 0.7226
 - 10) TotaalN<4.34583 8 0.04722 0.8250 *
 - 11) TotaalN>4.34583 5 0.14880 0.5587 *
 - 3) TotaalP>0.210714 66 1.06700 0.3524
 - 6) TotaalP<0.975 56 0.50100 0.3858 *
 - 7) TotaalP>0.975 10 0.15200 0.1650 *

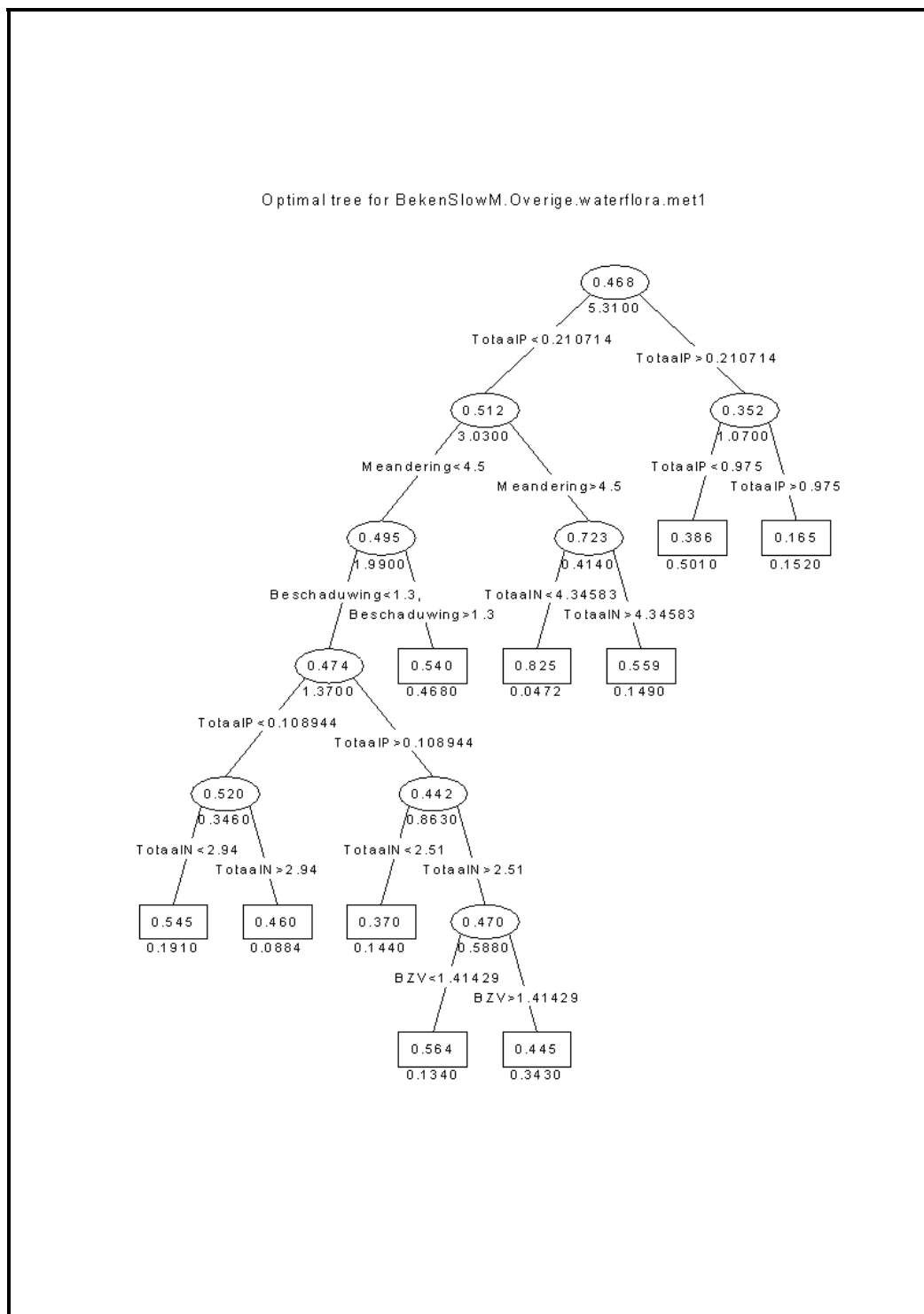
Figuur B2.5: Herkomst EKR's overige waterflora



Figuur B2.6: Overige waterflora, alle codes, N= 239

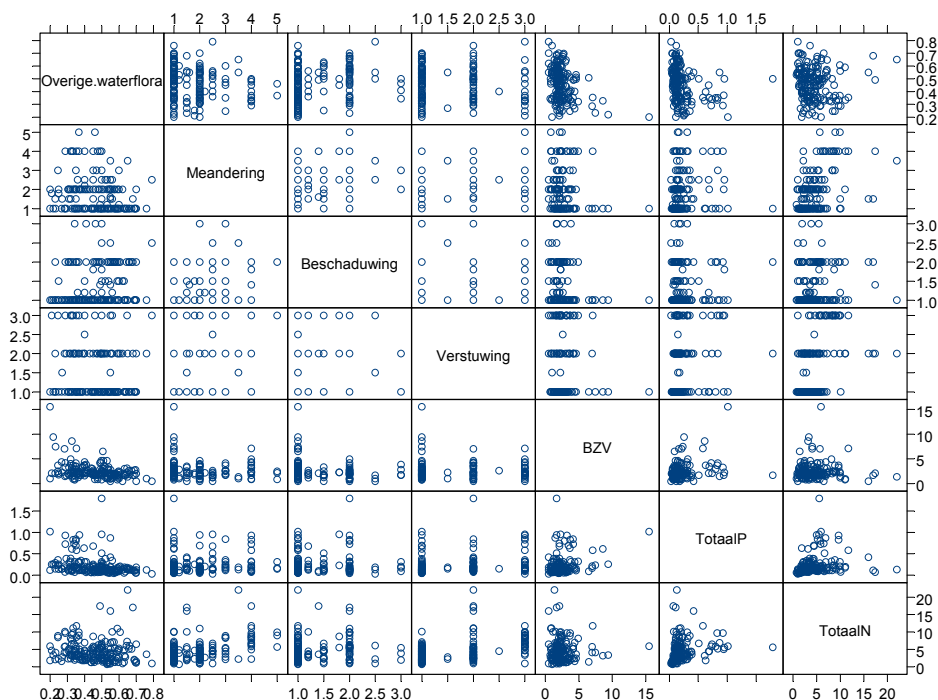


Figuur B2.7: Overige waterflora, alle codes, N= 239



Regressieboom voor overige waterflora, codes 1 en 2

Figuur B2.8: Scatterplot-matrix voor overige waterflora en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: BekenSlowMa12 ***

	Overige.waterflora	Meandering	Beschaduwing	Verstuwing
Overige.waterflora	1.0000000	-0.2251969	0.17828636	-0.15700014
Meandering	-0.2251969	1.0000000	0.22829298	0.49465667
Beschaduwing	0.1782864	0.2282930	1.0000000	-0.02131896
Verstuwing	-0.1570001	0.4946567	-0.02131896	1.0000000
BZV	-0.3757553	-0.0639824	-0.15726937	0.01096382
TotaalP	-0.2790980	0.1328267	0.07767403	0.22436935
TotaalN	-0.0222951	0.4481869	0.16192392	0.44902595

	BZV	TotaalP	TotaalN
Overige.waterflora	-0.375755275	-0.27909798	-0.022295101
Meandering	-0.063982396	0.13282670	0.448186900
Beschaduwing	-0.157269370	0.07767403	0.161923916
Verstuwing	0.010963819	0.22436935	0.449025954
BZV	1.000000000	0.28523140	0.007229864
TotaalP	0.285231400	1.00000000	0.219049669
TotaalN	0.007229864	0.21904967	1.000000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **43 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalP" "TotaalN" "BZV" "Meandering"

[5] "Beschaduwning"

Number of terminal nodes: 9

Residual mean deviance: 0.009419 = 1.648 / 175

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.142e-001	-6.421e-002	-2.519e-003	3.288e-017	5.704e-002	2.458e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

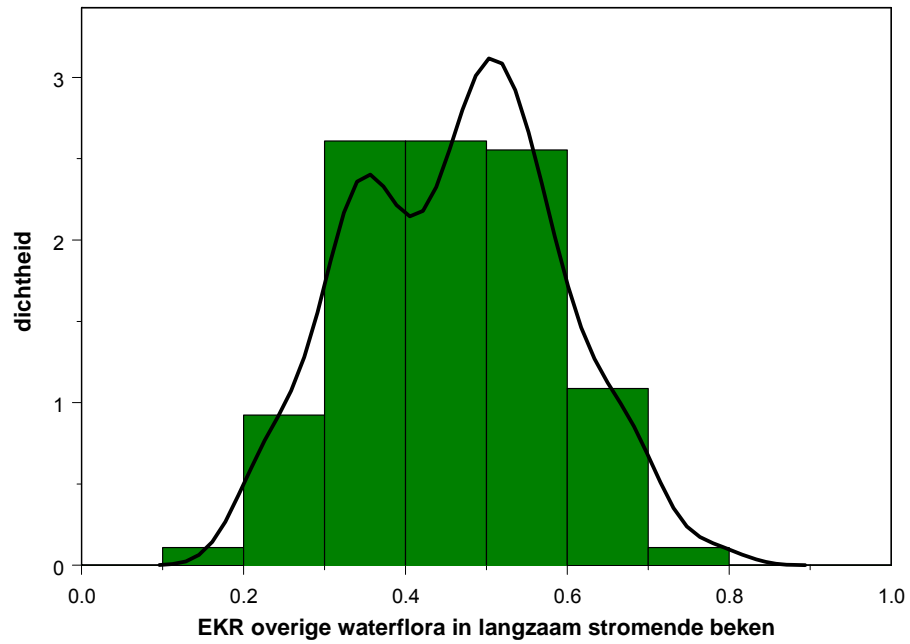
* denotes terminal node

```

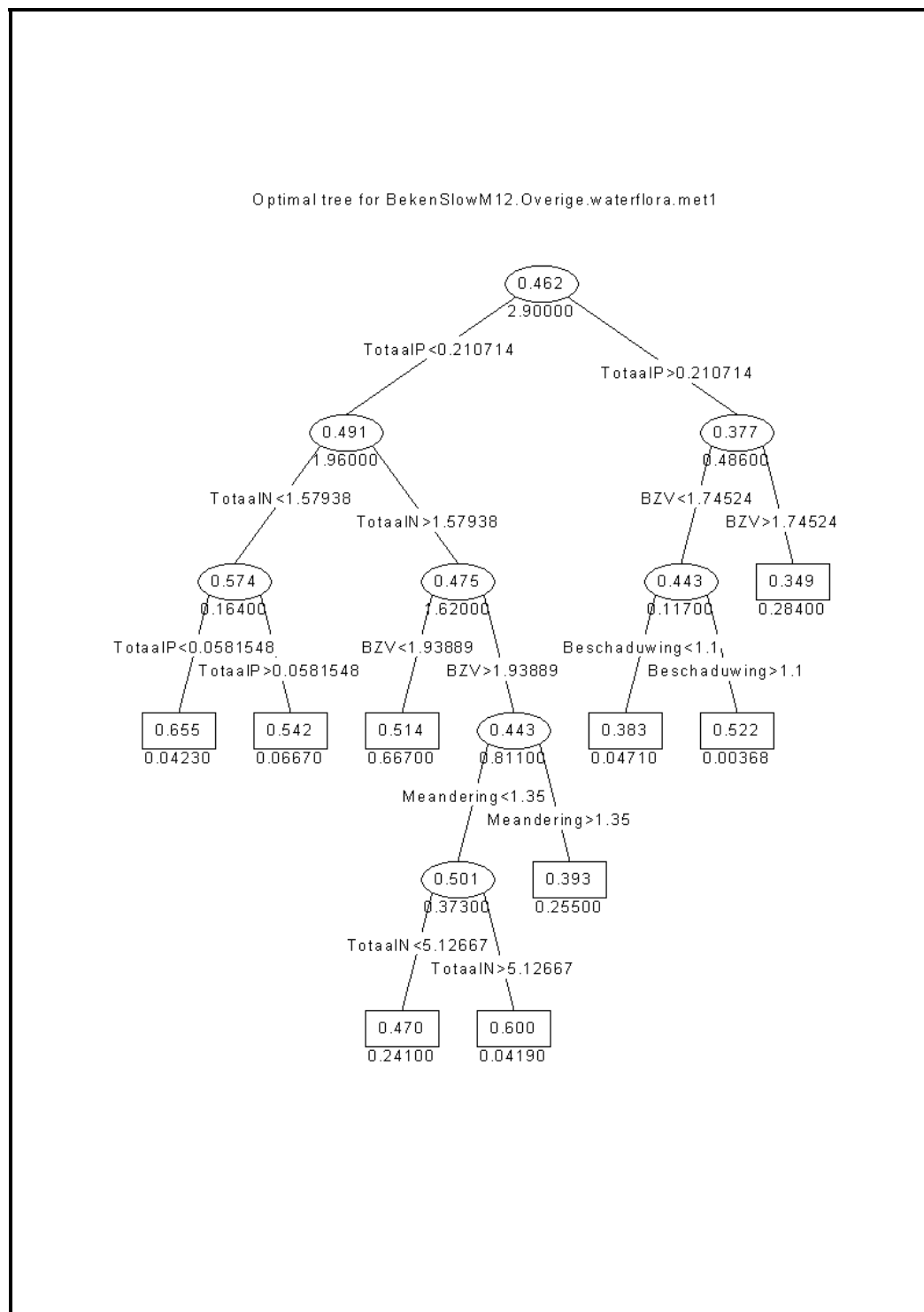
1) root 184 2.899000 0.4616
  2) TotaalP<0.210714 137 1.962000 0.4906
    4) TotaalN<1.57938 21 0.163700 0.5743
      8) TotaalP<0.0581548 6 0.042310 0.6550 *
      9) TotaalP>0.0581548 15 0.066740 0.5421 *
    5) TotaalN>1.57938 116 1.625000 0.4754
      10) BZV<1.93889 53 0.666600 0.5142 *
      11) BZV>1.93889 63 0.811200 0.4428
        22) Meandering<1.35 29 0.373300 0.5011
          44) TotaalN<5.12667 22 0.241200 0.4697 *
          45) TotaalN>5.12667 7 0.041890 0.6000 *
        23) Meandering>1.35 34 0.254700 0.3930 *
  3) TotaalP>0.210714 47 0.485800 0.3771
    6) BZV<1.74524 14 0.116600 0.4425
      12) Beschaduwning<1.1 8 0.047110 0.3831 *
      13) Beschaduwning>1.1 6 0.003683 0.5217 *
    7) BZV>1.74524 33 0.284000 0.3494 *

```

Figuur B2.9: Overige waterflora, codes 1 en 2, N= 184



Figuur B2.10: Overige waterflora, codes 1 en 2, N= 184



Regressieboom voor macrofauna, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **60%**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(10., 4., 7.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "Meandering" "BZV" "TotaalP"
```

Number of terminal nodes: 5

Residual mean deviance: 0.008301 = 1.942 / 234

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-2.800e-001	-5.400e-002	-1.231e-002	3.252e-018	5.520e-002	4.154e-001

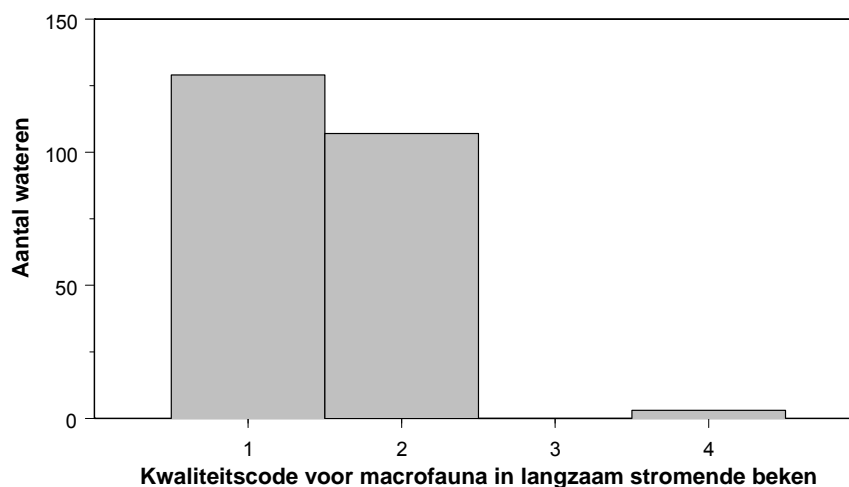
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

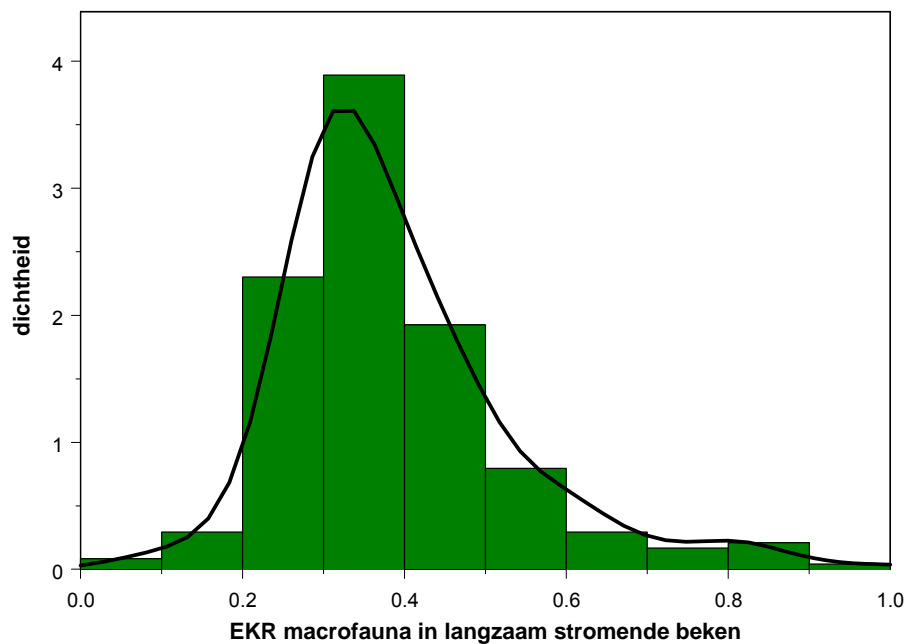
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 239 4.82900 0.3901
- 2) Meandering<3.75 205 1.90300 0.3535
- 4) BZV<2.05 103 0.84810 0.3946 *
- 5) BZV>2.05 102 0.70650 0.3121
- 10) TotaalP<1.38075 97 0.49200 0.3223 *
- 11) TotaalP>1.38075 5 0.00812 0.1140 *
- 3) Meandering>3.75 34 1.00100 0.6104
- 6) TotaalP<0.065 5 0.02552 0.8740 *
- 7) TotaalP>0.065 29 0.56880 0.5650 *

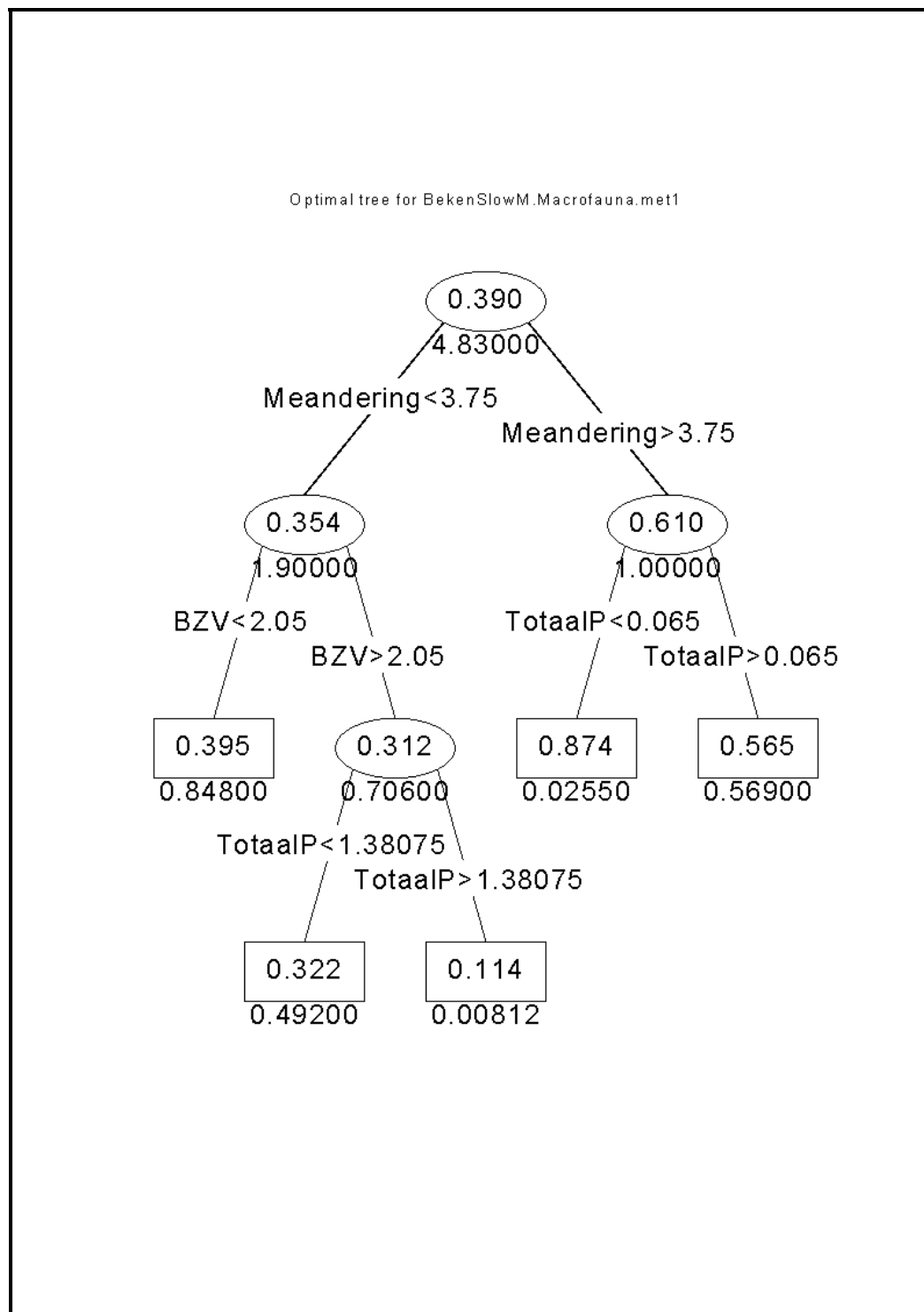
Figuur B2.11: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.12: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 239



Figuur B2.13: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 239



Regressieboom voor vissen, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **74 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "Meandering" "BZV" "TotaalP" "Verstuwing"

Number of terminal nodes: 9

Residual mean deviance: 0.006559 = 1.509 / 230

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.673e-001	-3.871e-002	1.589e-003	1.161e-018	4.596e-002	2.966e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

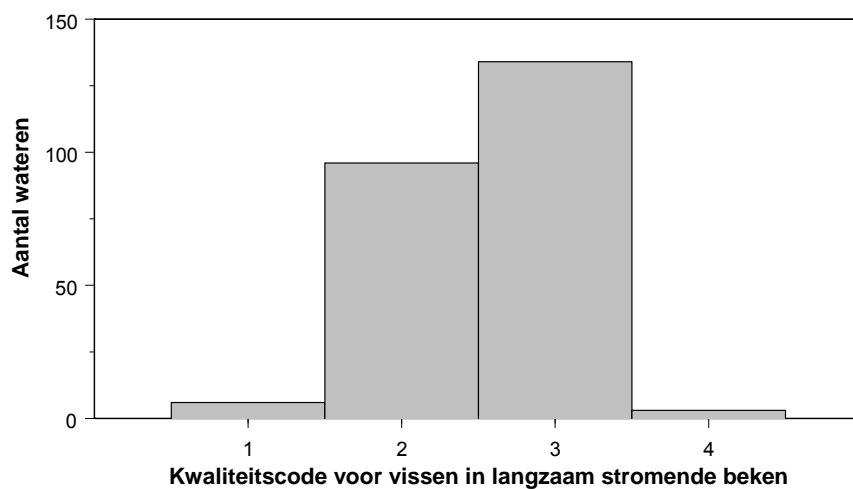
* denotes terminal node

```

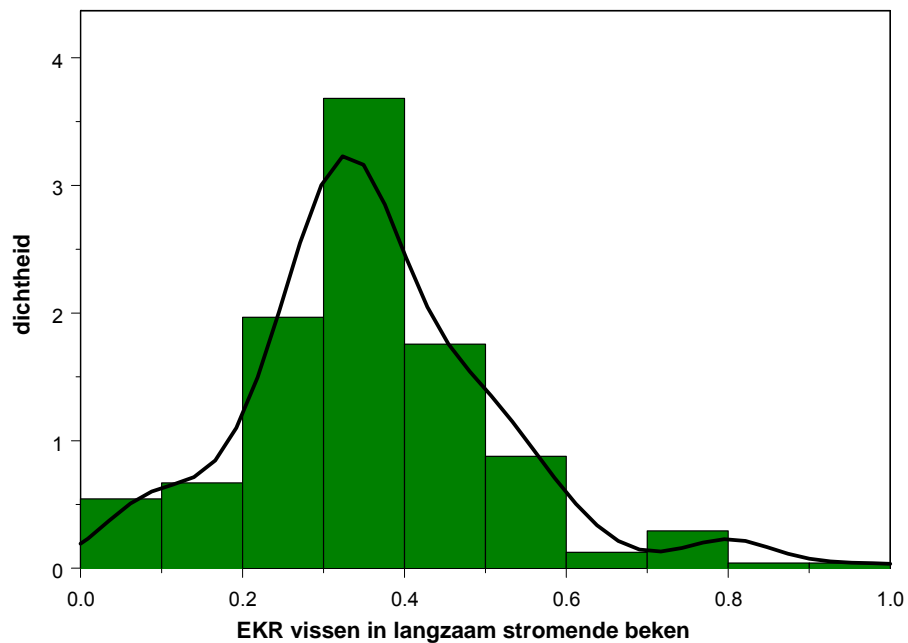
1) root 239 5.86200 0.3643
  2) Meandering<2.35 178 1.84200 0.3056
    4) BZV<4.8 163 1.10300 0.3233
      8) TotaalP<0.24 136 0.78120 0.3334 *
      9) TotaalP>0.24 27 0.23810 0.2724
        18) BZV<1.74524 10 0.08565 0.3450 *
        19) BZV>1.74524 17 0.06872 0.2297 *
    5) BZV>4.8 15 0.13330 0.1133 *
  3) Meandering>2.35 61 1.61400 0.5357
    6) Meandering<4.5 46 0.58090 0.4763
      12) Verstuwing<2.25 25 0.38720 0.4300
        24) BZV<1.95 15 0.15090 0.4773 *
        25) BZV>1.95 10 0.15230 0.3590 *
      13) Verstuwing>2.25 21 0.07626 0.5314 *
    7) Meandering>4.5 15 0.37240 0.7180
      14) TotaalP<0.1225 10 0.05600 0.8200 *
      15) TotaalP>0.1225 5 0.00432 0.5140 *

```

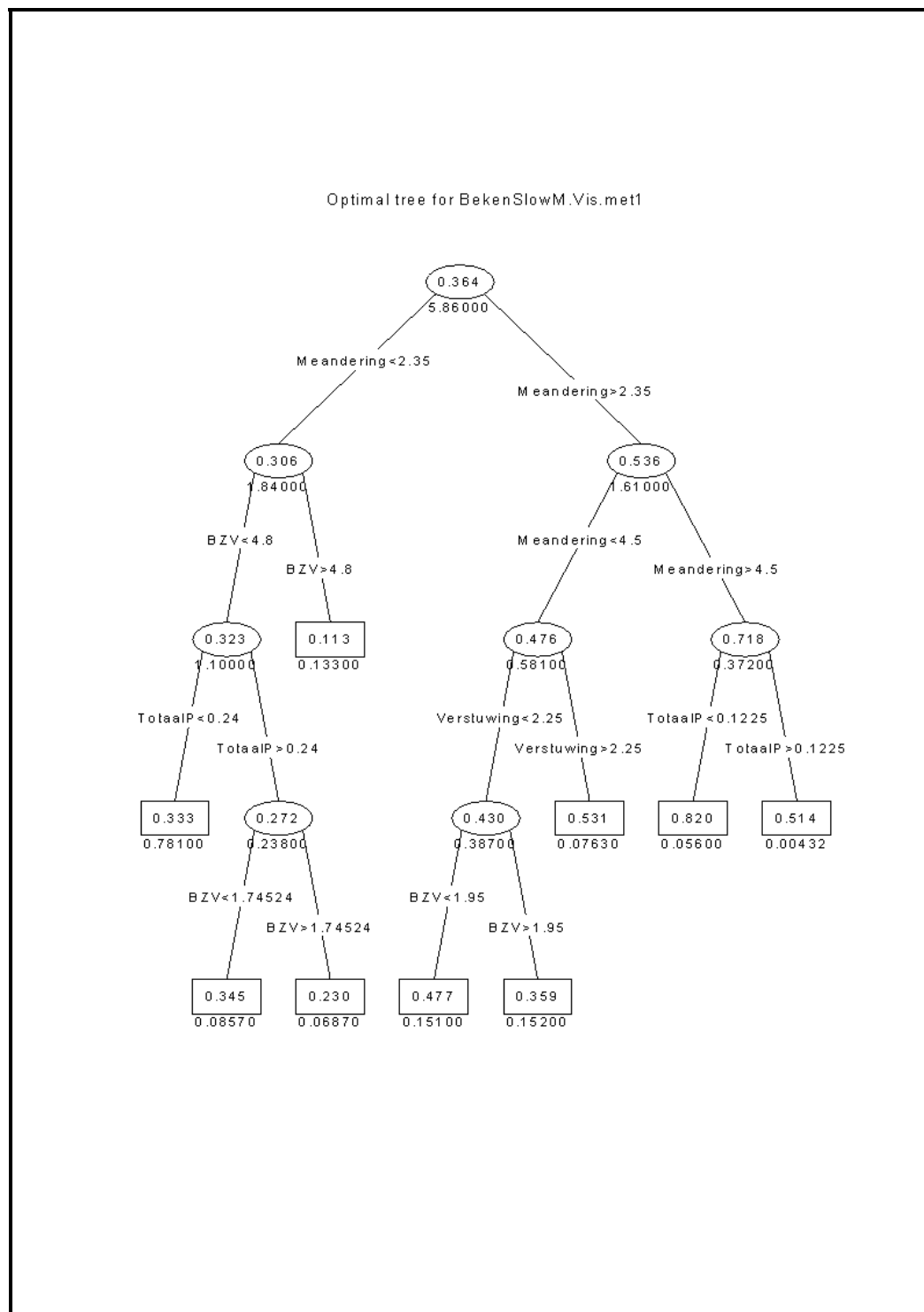
Figuur B2.14: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.15: EKR's voor vissen, alle codes, N= 239

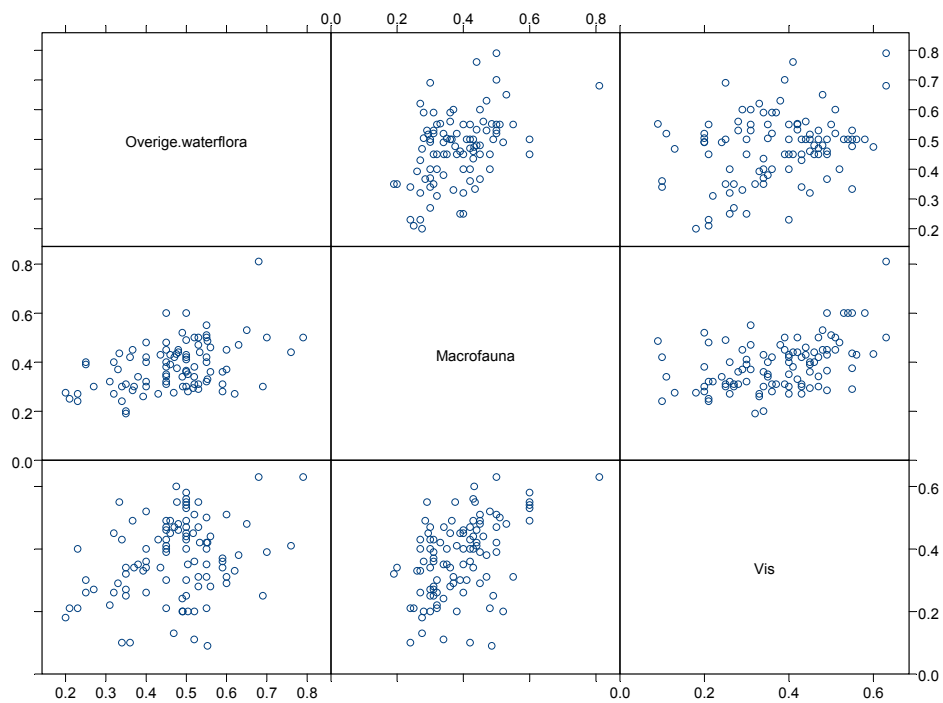


Figuur B2.16: EKR's voor vissen, alle codes, N= 239



Regressieboom voor vissen, codes 1 en 2

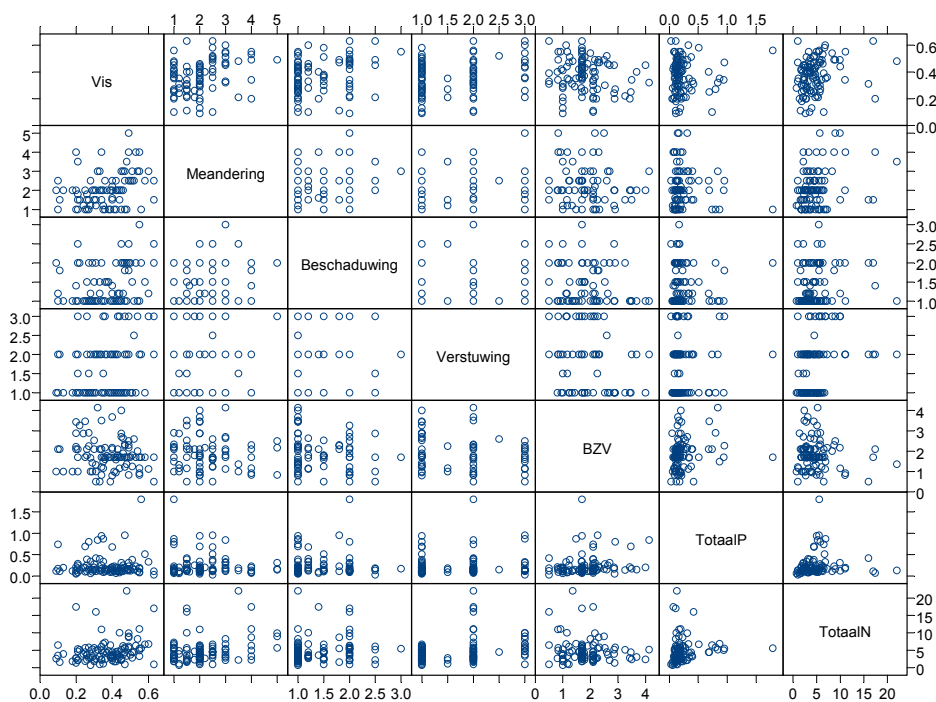
Figuur B2.17: Scatterplot-matrix voor drie kwaliteitselementen: overige waterflora, macrofauna en vissen



*** Correlations for data in: BekenSlowMa12 ***

	Overige.waterflora	Macrofauna	Vis
Overige.waterflora	1.000000	0.4325867	0.2810097
Macrofauna	0.4325867	1.000000	0.4642596
Vis	0.2810097	0.4642596	1.000000

Figuur B2.18: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: BekenSlowMal2 ***

	Vis	Meandering	Beschaduwing	Verstuwing	BZV
Vis	1.0000000	0.36959347	0.22670221	0.26495449	-0.15171946
Meandering	0.36959347	1.0000000	0.24769515	0.29955205	-0.05722871
Beschaduwing	0.22670221	0.24769515	1.0000000	0.07284117	-0.13359906
Verstuwing	0.26495449	0.29955205	0.07284117	1.0000000	-0.09389002
BZV	-0.15171946	-0.05722871	-0.13359906	-0.09389002	1.0000000
TotaalP	0.02668738	-0.07555086	0.04426698	0.06660978	0.18931564
TotaalN	0.23188953	0.29742917	0.15913887	0.30005324	-0.11087235

	TotaalP	TotaalN
Vis	0.02668738	0.2318895
Meandering	-0.07555086	0.2974292
Beschaduwing	0.04426698	0.1591389
Verstuwing	0.06660978	0.3000532
BZV	0.18931564	-0.1108723
TotaalP	1.0000000	0.1017070
TotaalN	0.10170703	1.0000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **20 %**.

```

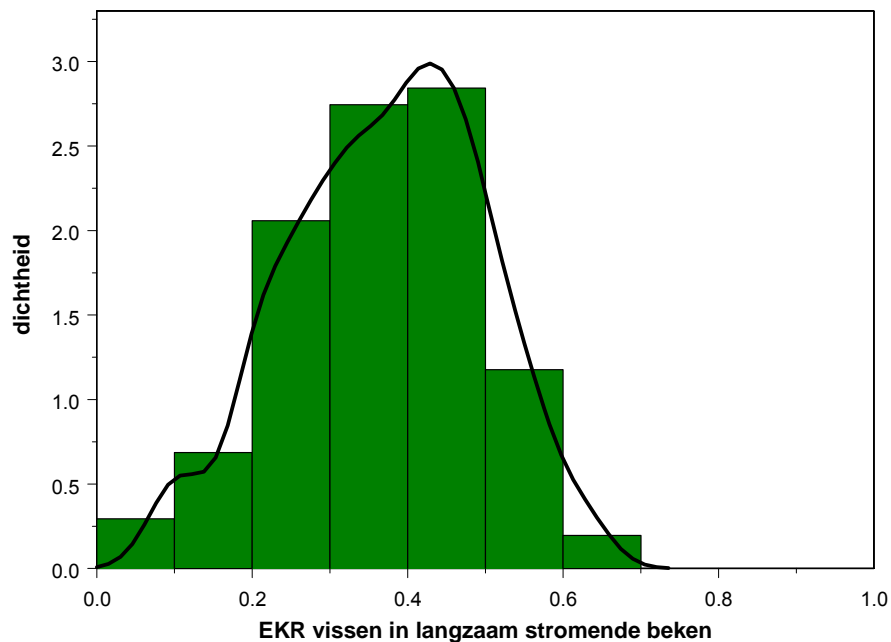
Regression tree:
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(2., 3.))
Variables actually used in tree construction:
[1] "Meandering"
Number of terminal nodes: 2
Residual mean deviance: 0.01242 = 1.242 / 100
Distribution of residuals:
      Min.      1st Qu.      Median      Mean      3rd Qu.      Max.
-3.494e-001 -7.210e-002  1.923e-002 -6.803e-017  7.790e-002  2.979e-001

[[2]]:
node), split, n, deviance, yval
  * denotes terminal node

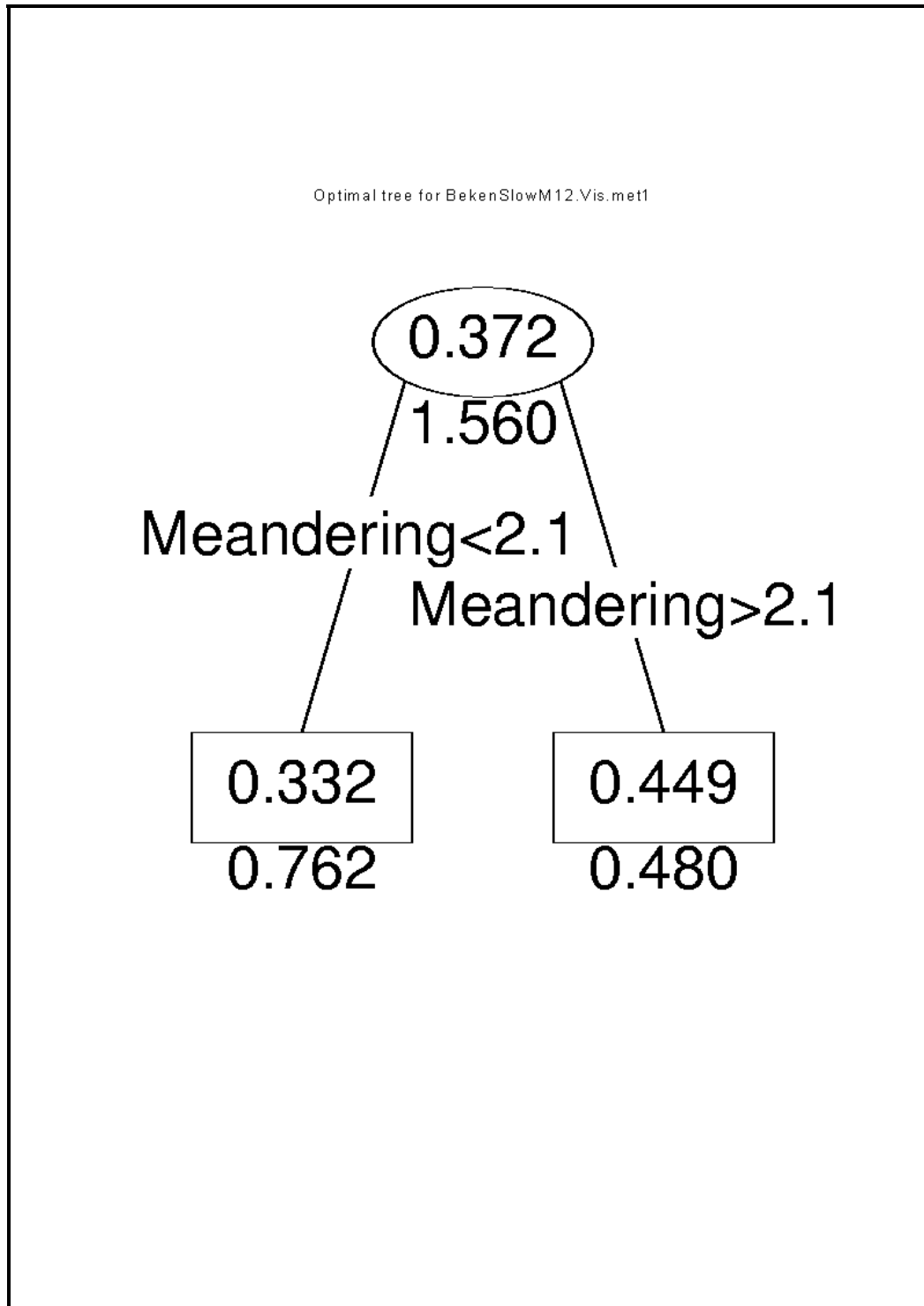
1) root 102 1.5580 0.3724
 2) Meandering<2.1 67 0.7619 0.3321 *
 3) Meandering>2.1 35 0.4800 0.4494 *

```

Figuur B2.19: EKR's voor vissen, codes 1 en 2, N= 102



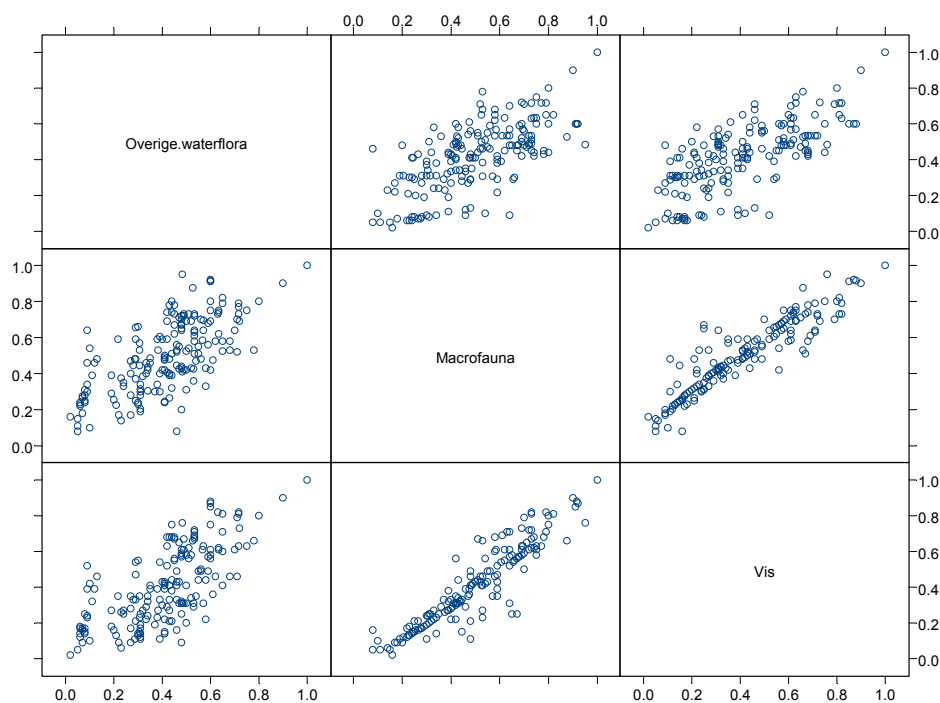
Figuur B2.20: EKR's voor vissen, codes 1 en 2, N= 102



ANALYSE SNEL STROMENDE BEKEN (R13, R14, R15, R17 EN R18)

Scatterplot-matrices, alle codes

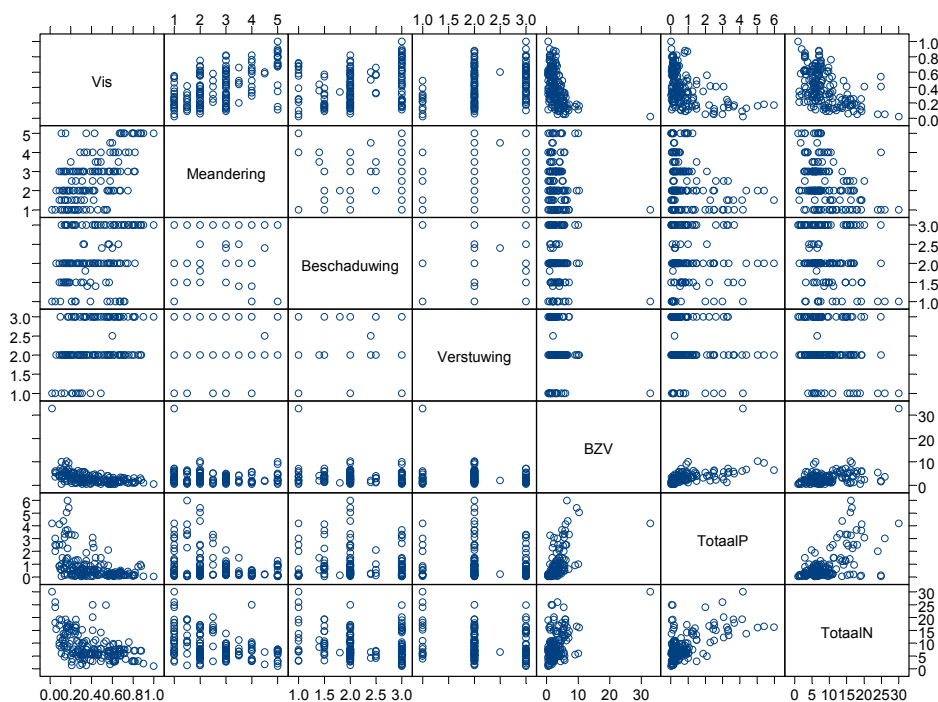
Figuur B2.21: Scatterplot-matrix voor drie kwaliteitselementen: overige waterflora, macrofauna en vissen



*** Correlations for data in: BekenFastMa ***

	Overige.waterflora	Macrofauna	Vis
Overige.waterflora	1.000000	0.6833601	0.7158981
Macrofauna	0.6833601	1.000000	0.9238923
Vis	0.7158981	0.9238923	1.000000

Figuur B2.22: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: BekenFastMa ***

	Vis	Meandering	Beschaduwing	Verstuwing	BZV
Vis	1.000000	0.55382448	0.2673520	0.37131816	-0.4479876
Meandering	0.5538245	1.0000000	0.2990122	0.04899871	-0.1432530
Beschaduwing	0.2673520	0.29901223	1.0000000	0.17288424	-0.1834171
Verstuwing	0.3713182	0.04899871	0.1728842	1.0000000	-0.2046229
BZV	-0.4479876	-0.14325303	-0.1834171	-0.20462287	1.0000000
TotaalP	-0.4807024	-0.31045216	-0.1414956	-0.11104666	0.5772529
TotaalN	-0.5023959	-0.40170901	-0.2233116	-0.24288760	0.4461581

	TotaalP	TotaalN
Vis	-0.4807024	-0.5023959
Meandering	-0.3104522	-0.4017090
Beschaduwing	-0.1414956	-0.2233116
Verstuwing	-0.1110467	-0.2428876
BZV	0.5772529	0.4461581
TotaalP	1.0000000	0.5946905
TotaalN	0.5946905	1.0000000

Regressieboom voor overige waterflora, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **86 %**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(61., 14., 27.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "Meandering" "TotaalP" "TotaalN" "BZV"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.005393 = 0.9383 / 174

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-2.009e-001	-4.124e-002	-8.333e-003	-2.564e-017	4.398e-002	2.340e-001

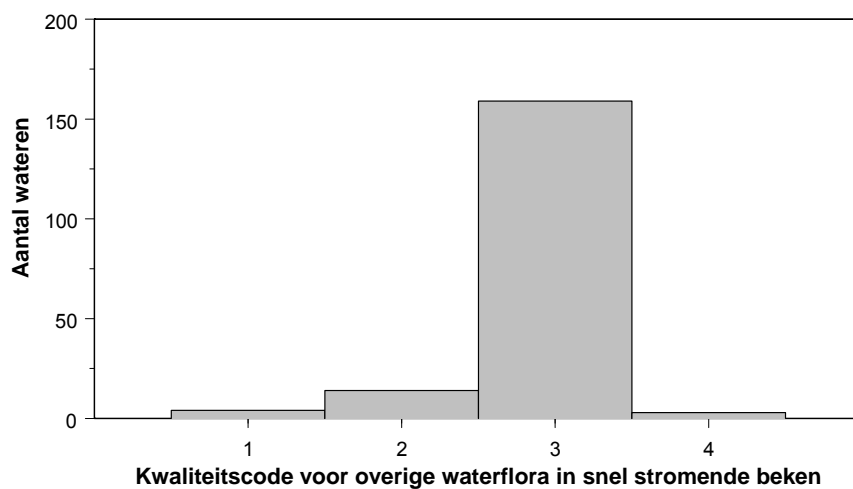
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

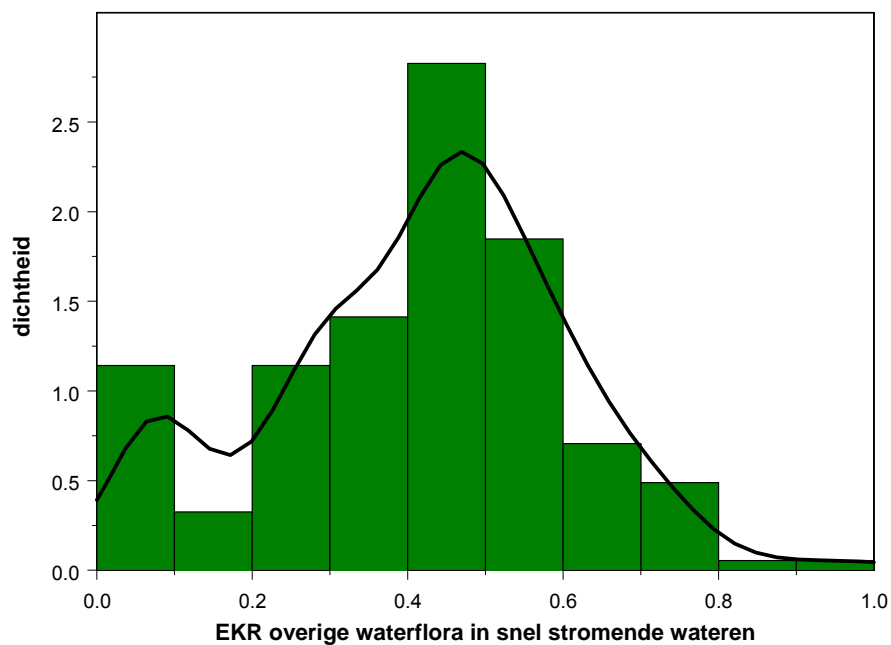
```
* denotes terminal node
```

```
1) root 184 6.59800 0.4158
 2) Meandering<1.75 43 0.68620 0.1826
   4) TotaalP<0.366389 18 0.05591 0.3222 *
   5) TotaalP>0.366389 25 0.02640 0.0820 *
 3) Meandering>1.75 141 2.86100 0.4869
   6) TotaalP<0.352 76 0.93010 0.5717
    12) Meandering<2.75 24 0.02493 0.4883 *
    13) Meandering>2.75 52 0.66160 0.6101
       26) TotaalN<3.775 15 0.22430 0.7064
          52) TotaalP<0.125567 7 0.07870 0.7943 *
          53) TotaalP>0.125567 8 0.04434 0.6296 *
       27) TotaalN>3.775 37 0.24170 0.5711 *
   7) TotaalP>0.352 65 0.74530 0.3877
    14) BZV<2.25119 11 0.11550 0.4909 *
    15) BZV>2.25119 54 0.48890 0.3667
       30) BZV<6.42857 49 0.38690 0.3798
          60) TotaalN<5.36667 8 0.01594 0.4504 *
          61) TotaalN>5.36667 41 0.32330 0.3660 *
       31) BZV>6.42857 5 0.01161 0.2387 *
```

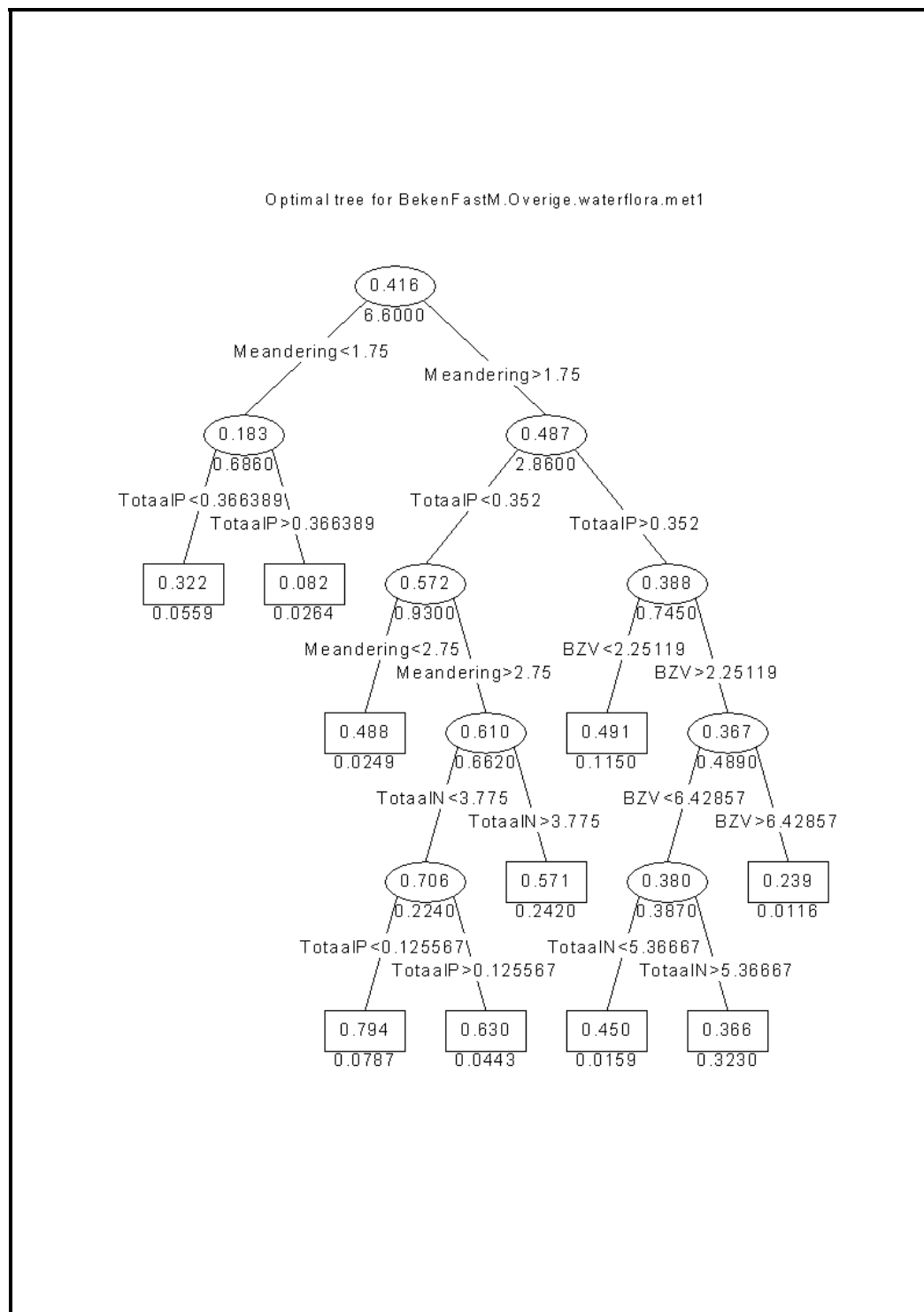
Figuur B2.23: Herkomst EKR's overige waterflora



Figuur B2.24: EKR's voor overige waterflora, alle codes, N= 184



Figuur B2.25: EKR's voor overige waterflora, alle codes, N= 184



Regressieboom voor macrofauna, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **73 %**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "BZV"          "Meandering"  "TotaalP"     "Beschaduw"
[5] "TotaalN"
```

Number of terminal nodes: 12

Residual mean deviance: 0.01156 = 1.988 / 172

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.050e-001	-7.235e-002	-3.268e-004	-2.745e-017	6.689e-002	3.215e-001

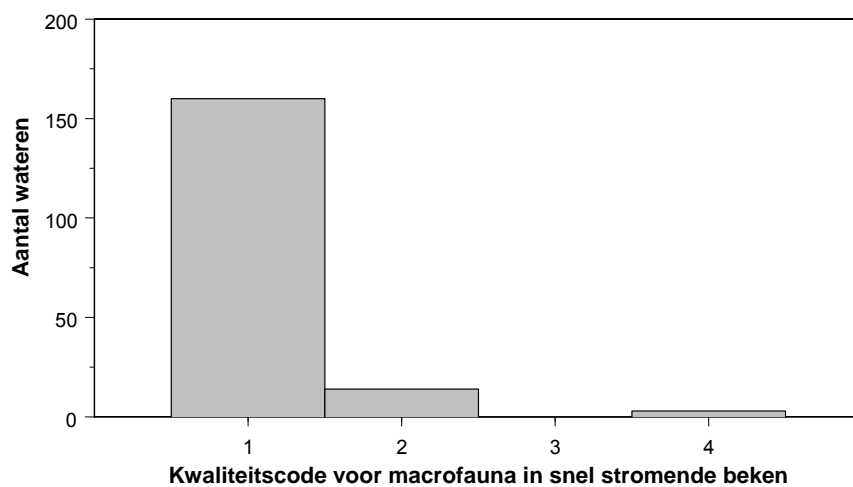
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

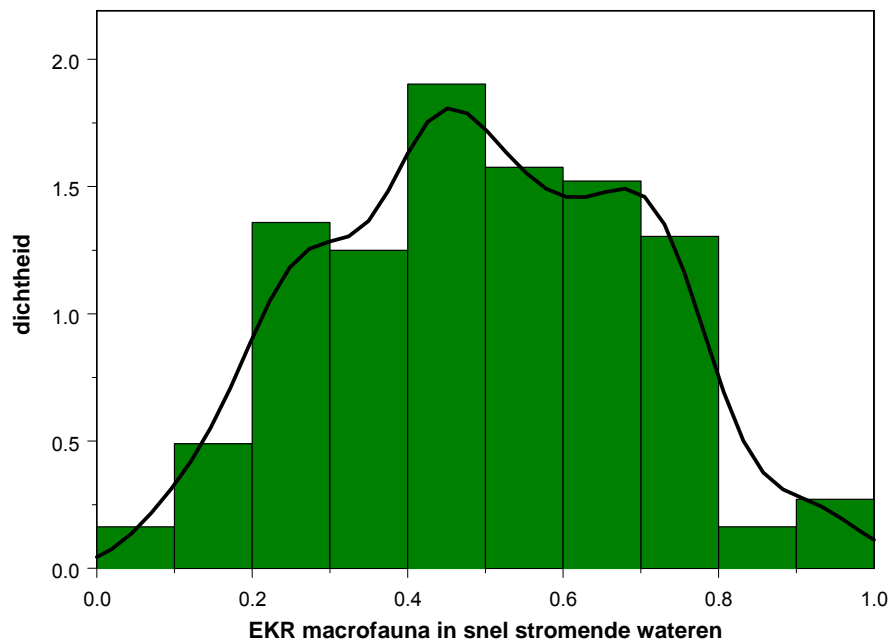
* denotes terminal node

```
1) root 184 7.37800 0.4997
  2) BZV<3.38333 129 3.83400 0.5720
    4) Meandering<3.75 99 2.35900 0.5261
      8) TotaalP<0.530833 77 1.76100 0.5585
        16) Meandering<1.75 17 0.23070 0.4132 *
        17) Meandering>1.75 60 1.07000 0.5997
          34) BZV<2.075 44 0.69110 0.6195
            68) TotaalP<0.120567 7 0.06829 0.5286 *
            69) TotaalP>0.120567 37 0.55400 0.6368
              138) TotaalP<0.13125 5 0.00232 0.7560 *
              139) TotaalP>0.13125 32 0.46940 0.6181
                278) BZV<0.95 7 0.01325 0.7050 *
                279) BZV>0.95 25 0.38860 0.5938
                  558) TotaalP<0.2275 12 0.11410 0.5150 *
                  559) TotaalP>0.2275 13 0.13120 0.6665 *
                    35) BZV>2.075 16 0.31340 0.5450 *
                      9) TotaalP>0.530833 22 0.23470 0.4127 *
                5) Meandering>3.75 30 0.57930 0.7233
                  10) Beschaduw<2.7 13 0.09954 0.6208 *
                  11) Beschaduw>2.7 17 0.23840 0.8018 *
            3) BZV>3.38333 55 1.29200 0.3303
              6) TotaalN<7.95333 21 0.21780 0.4789 *
              7) TotaalN>7.95333 34 0.32430 0.2385 *
```

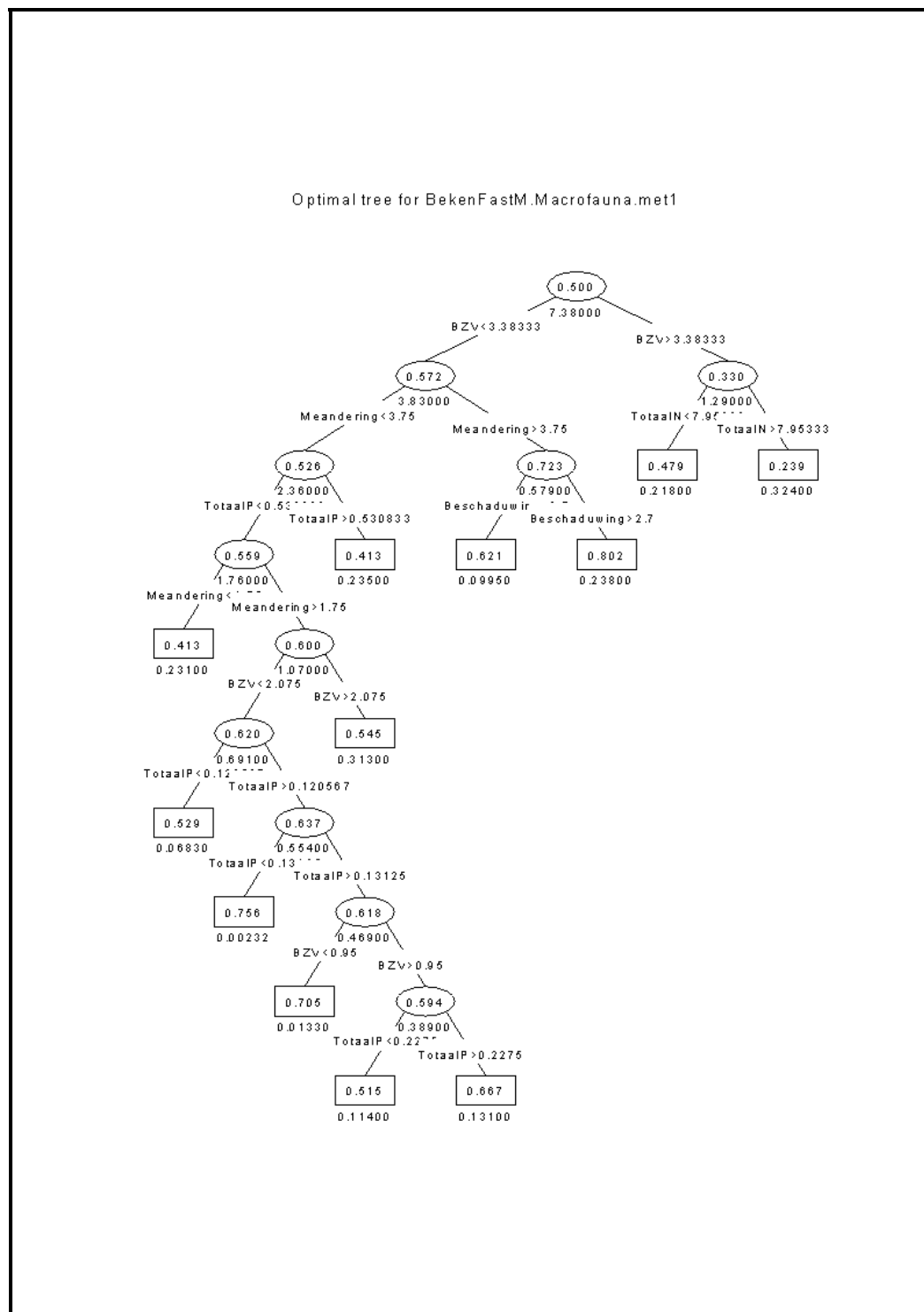
Figuur B2.26: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.27: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 184



Figuur B2.28: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 184



Regressieboom voor vissen, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **72 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "BZV" "Meandering" "TotaalN" "TotaalP" "Verstuwing"

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.01432 = 2.491 / 174

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-0.341600	-0.069290	0.001471	-0.001135	0.069250	0.331500

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

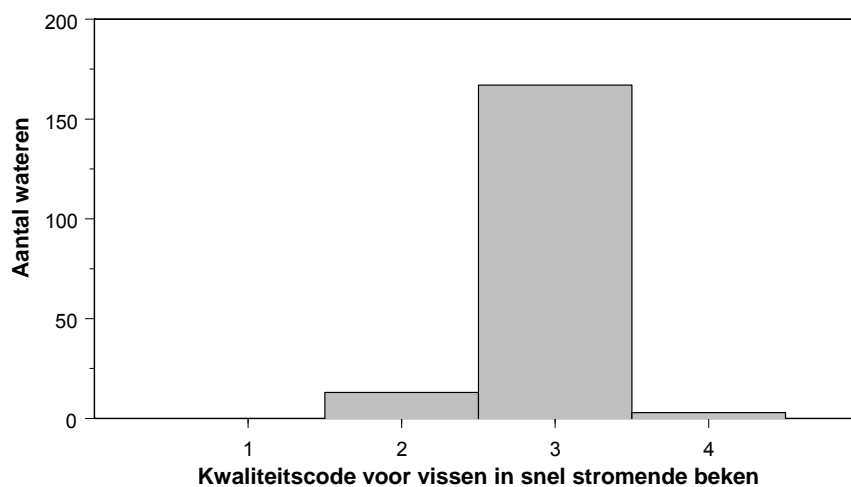
* denotes terminal node

```

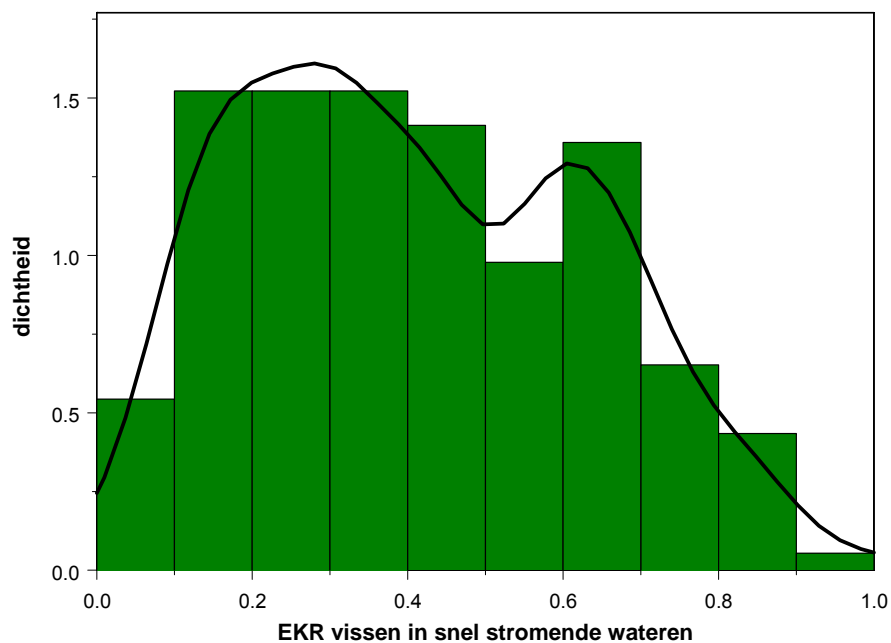
1) root 184 8.9960 0.4124
  2) BZV<3.38333 129 5.1890 0.4933
    4) Meandering<3.75 99 2.9150 0.4300
      8) TotaalN<8.085 72 1.8500 0.4778
        16) TotaalP<0.416667 52 1.3030 0.5181
          32) Meandering<1.75 5 0.0324 0.3000 *
          33) Meandering>1.75 47 1.0080 0.5413
            66) Verstuwing<2.5 19 0.3883 0.4816 *
            67) Verstuwing>2.5 28 0.5060 0.5818 *
              17) TotaalP>0.416667 20 0.2428 0.3730 *
                9) TotaalN>8.085 27 0.4619 0.3026 *
          5) Meandering>3.75 30 0.5707 0.7020
            10) Meandering<4.75 13 0.2021 0.6031 *
            11) Meandering>4.75 17 0.1441 0.7776 *
        3) BZV>3.38333 55 0.9893 0.2229
          6) TotaalN<7.95333 21 0.3028 0.3271
            12) BZV<4.11667 6 0.0798 0.4400 *
            13) BZV>4.11667 15 0.1160 0.2820 *
          7) TotaalN>7.95333 34 0.3174 0.1585 *

```

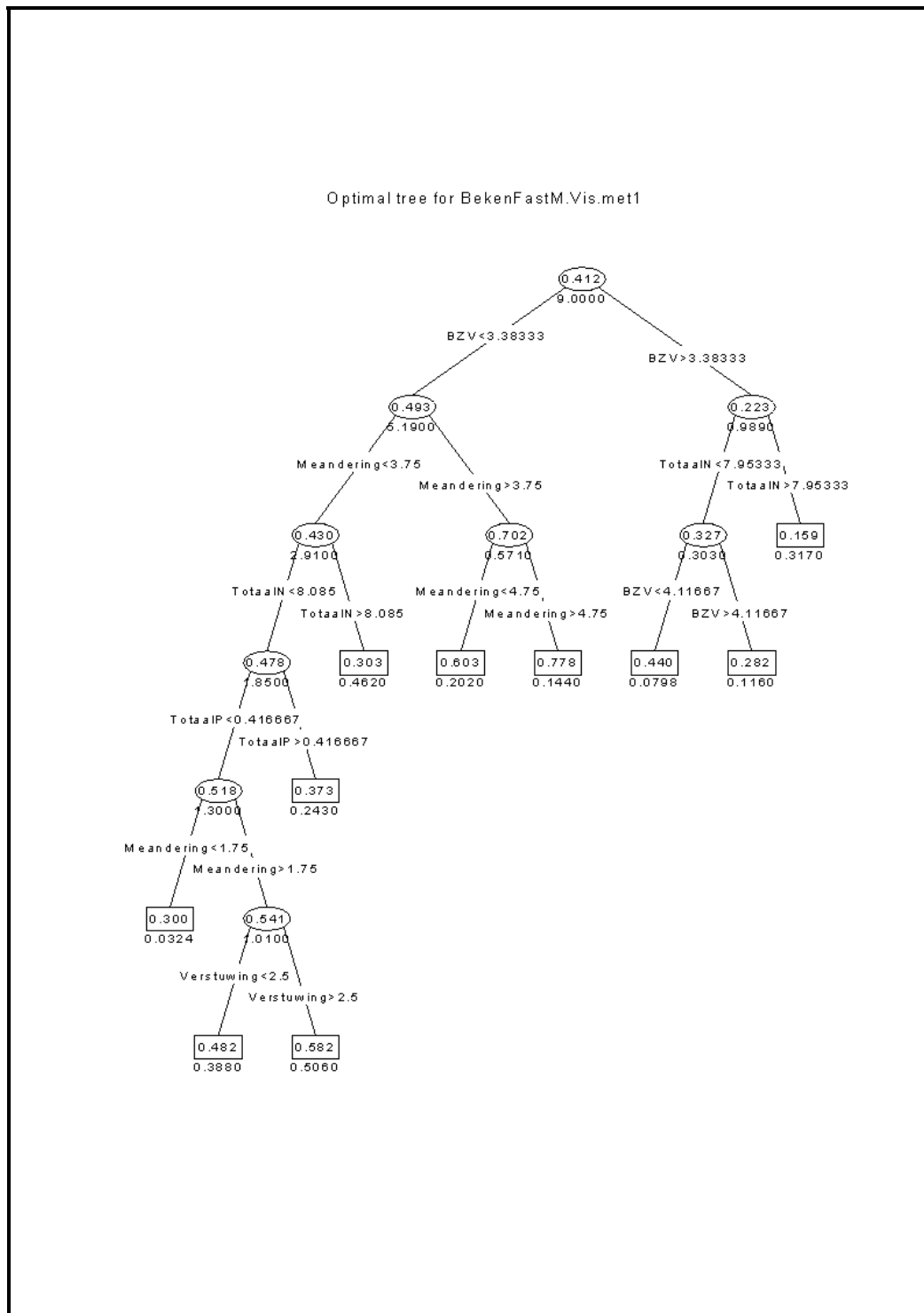
Figuur B2.29: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.30: EKR's voor vissen, alle codes, N= 184



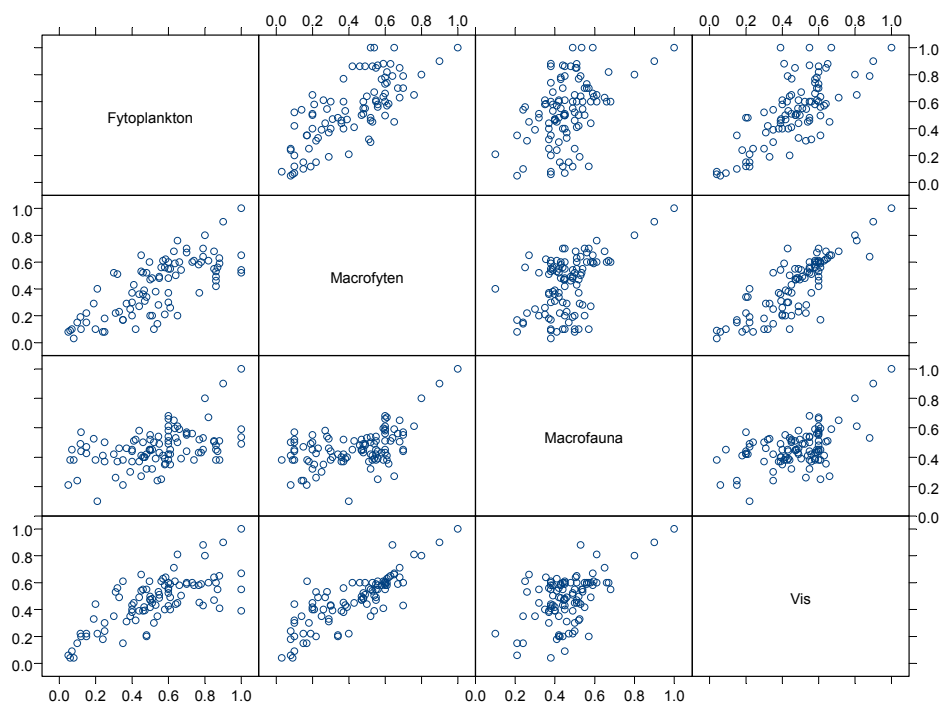
Figuur B2.31: EKR's voor vissen, alle codes, N= 184



ANALYSE DIEPE MEREN (M16 EN M20)

Scatterplot-matrices, alle codes

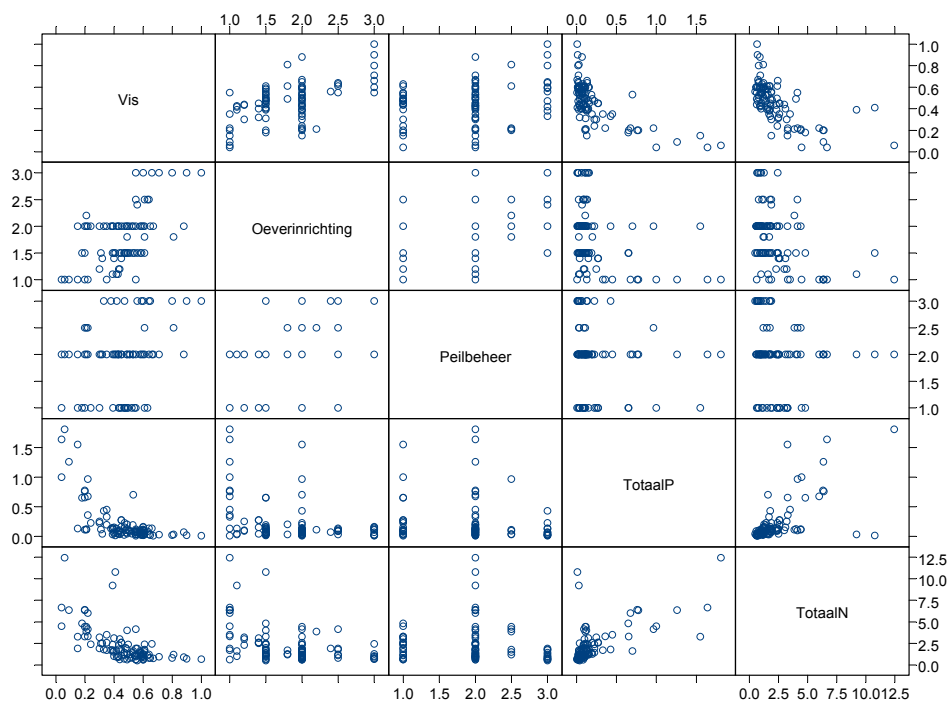
Figuur B2.32: Scatterplot-matrix voor vier kwaliteitselementen: fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen



*** Correlations for data in: MerenDiepMa ***

	Fytoplankton	Macrofyten	Macrofauna	Vis
Fytoplankton	1.0000000	0.7498508	0.4504368	0.7398687
Macrofyten	0.7498508	1.0000000	0.5030587	0.8300462
Macrofauna	0.4504368	0.5030587	1.0000000	0.5352004
Vis	0.7398687	0.8300462	0.5352004	1.0000000

Figuur B2.33: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: MerenDiepMa ***

	Vis	Oeverinrichting	Peilbeheer	TotaalP
Vis	1.000000	0.6106642	0.2829851	-0.6633076
Oeverinrichting	0.6106642	1.000000	0.3206798	-0.3528480
Peilbeheer	0.2829851	0.3206798	1.000000	-0.1419708
TotaalP	-0.6633076	-0.3528480	-0.1419708	1.000000
TotaalN	-0.6309950	-0.4399871	-0.0954727	0.6336461

TotaalN	Vis
Vis	-0.6309950
Oeverinrichting	-0.4399871
Peilbeheer	-0.0954727
TotaalP	0.6336461
TotaalN	1.000000

Regressieboom voor fytoplankton, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **83 %**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalP"          "TotaalN"          "Oeverinrichting"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.009918 = 0.9521 / 96

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-2.531e-001	-5.838e-002	7.299e-003	5.342e-017	6.012e-002	2.772e-001

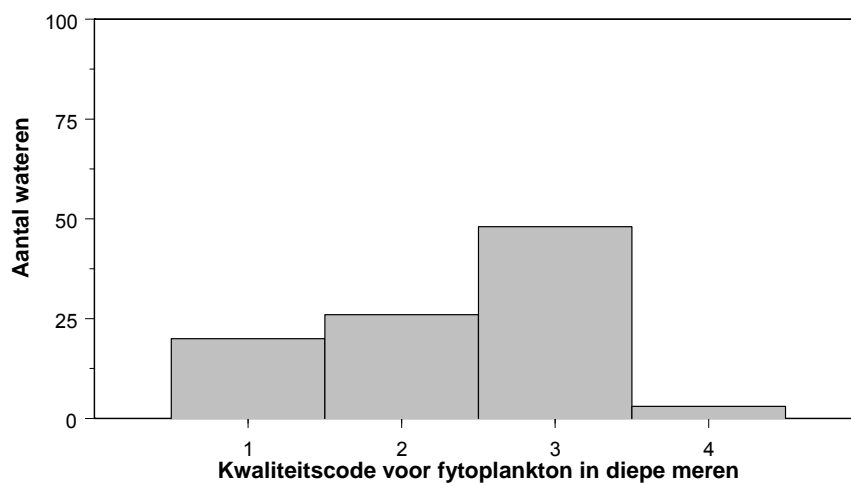
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

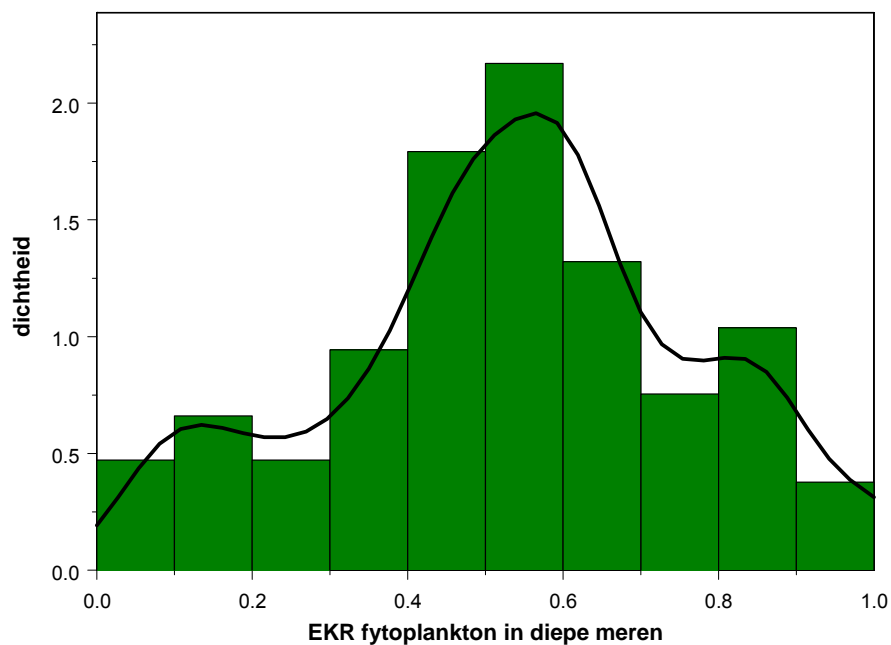
* denotes terminal node

```
1) root 106 5.713000 0.53890
  2) TotaalP<0.113542 65 1.979000 0.66040
    4) TotaalP<0.0341667 23 0.436200 0.80150
      8) TotaalP<0.0154167 5 0.014600 0.95620 *
      9) TotaalP>0.0154167 18 0.268800 0.75850 *
    5) TotaalP>0.0341667 42 0.833700 0.58310
      10) TotaalN<1.50719 27 0.293600 0.65530
        20) TotaalP<0.0841667 20 0.167200 0.62160 *
        21) TotaalP>0.0841667 7 0.039050 0.75140 *
      11) TotaalN>1.50719 15 0.146000 0.45310 *
    3) TotaalP>0.113542 41 1.253000 0.34620
      6) TotaalP<0.345 26 0.287500 0.44630
        12) Oeverinrichting<2.25 21 0.210900 0.42430
          24) Oeverinrichting<1.45 7 0.056970 0.49570 *
          25) Oeverinrichting>1.45 14 0.100400 0.38860 *
        13) Oeverinrichting>2.25 5 0.023630 0.53880 *
      7) TotaalP>0.345 15 0.253800 0.17280
        14) TotaalP<0.73 7 0.129800 0.26780 *
        15) TotaalP>0.73 8 0.005655 0.08969 *
```

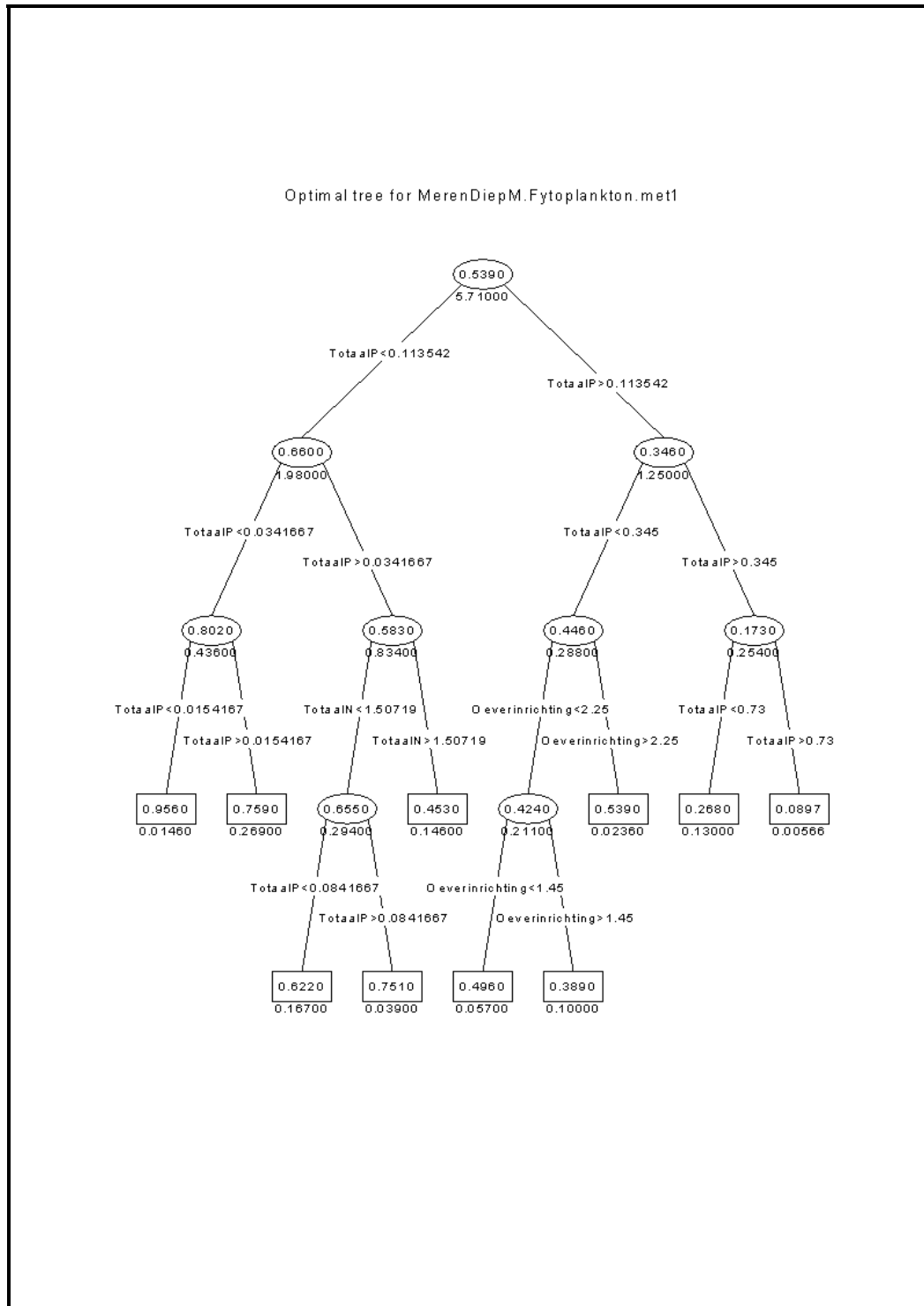
Figuur B2.34: Herkomst EKR's fytoplankton



Figuur B2.35: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 106

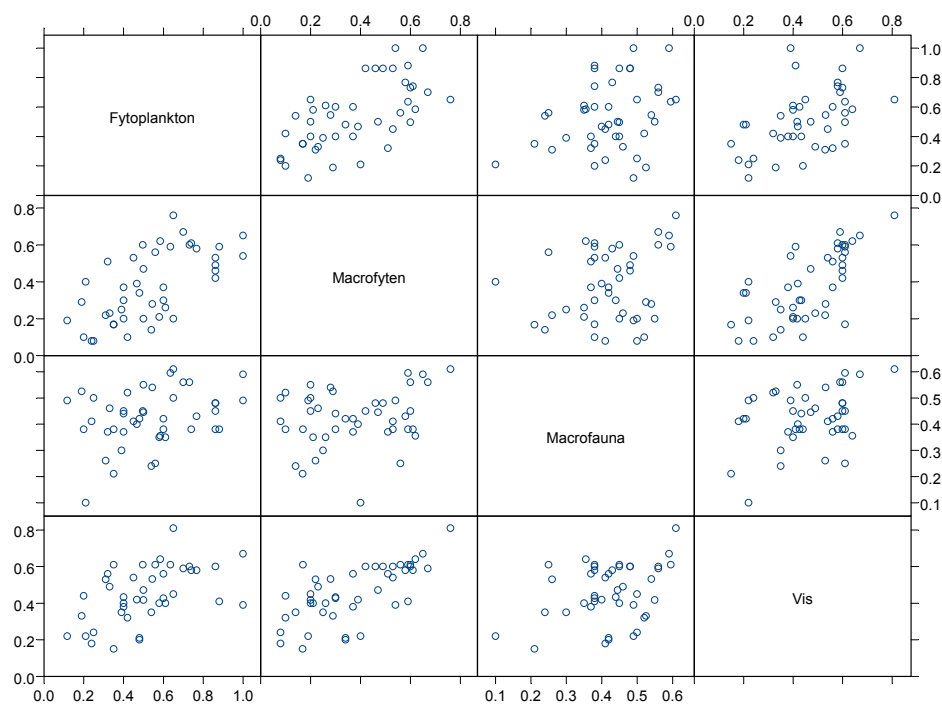


Figuur B2.36: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 106



Regressieboom voor fytoplankton, codes 1 en 2

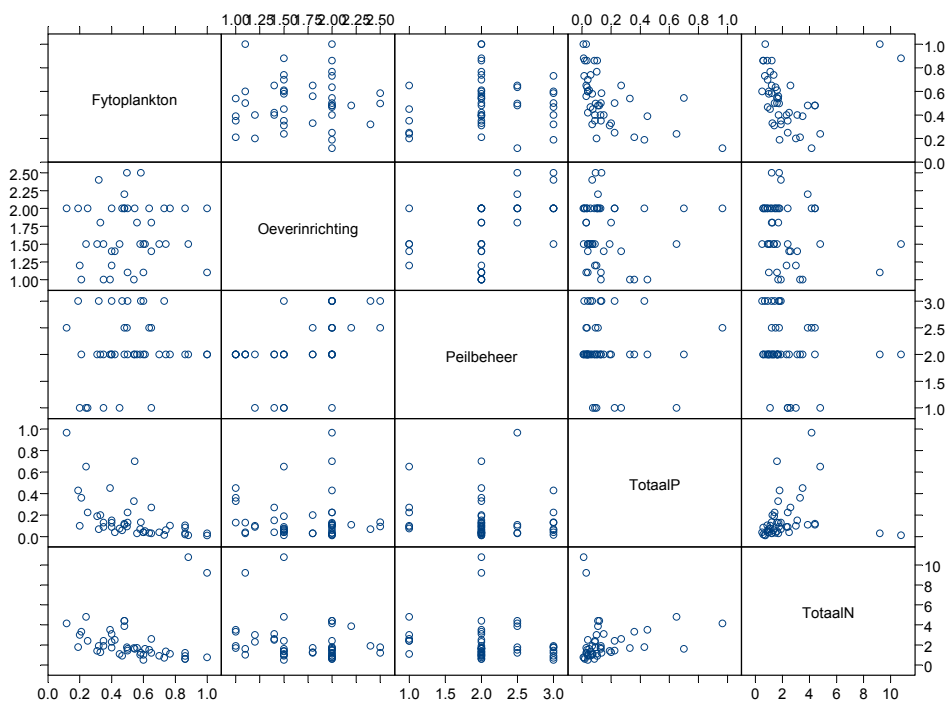
Figuur B2.37



*** Correlations for data in: MerenDiepMa12 ***

	Fytoplankton	Macrofyten	Macrofauna	Vis
Fytoplankton	1.0000000	0.6406693	0.3127452	0.5456965
Macrofyten	0.6406693	1.0000000	0.2447803	0.6721937
Macrofauna	0.3127452	0.2447803	1.0000000	0.3420759
Vis	0.5456965	0.6721937	0.3420759	1.0000000

Figuur B2.38: Scatterplot-matrix voor fytoplankton en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: MerenDiepMa12 ***

	Fytoplankton	Oeverinrichting	Peilbeheer	TotaalP
Fytoplankton	1.0000000	0.1230285	0.07196458	-0.52932059
Oeverinrichting	0.12302855	1.0000000	0.47093090	-0.03449700
Peilbeheer	0.07196458	0.4709309	1.0000000	-0.08733486
TotaalP	-0.52932059	-0.0344970	-0.08733486	1.0000000
TotaalN	0.01313237	-0.2351242	-0.17361823	0.15263952

	TotaalN
Fytoplankton	0.01313237
Oeverinrichting	-0.23512424
Peilbeheer	-0.17361823
TotaalP	0.15263952
TotaalN	1.00000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is 65 %.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalP" "TotaalN"

Number of terminal nodes: 4

Residual mean deviance: 0.01821 = 0.7649 / 42

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.581e-001	-1.037e-001	2.907e-002	-4.827e-017	8.107e-002	2.909e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

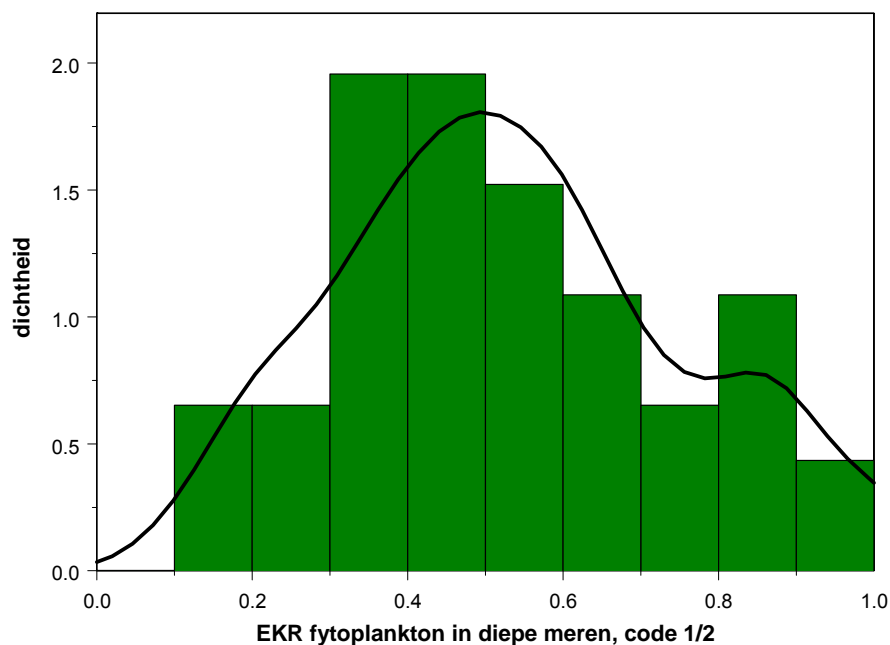
* denotes terminal node

```

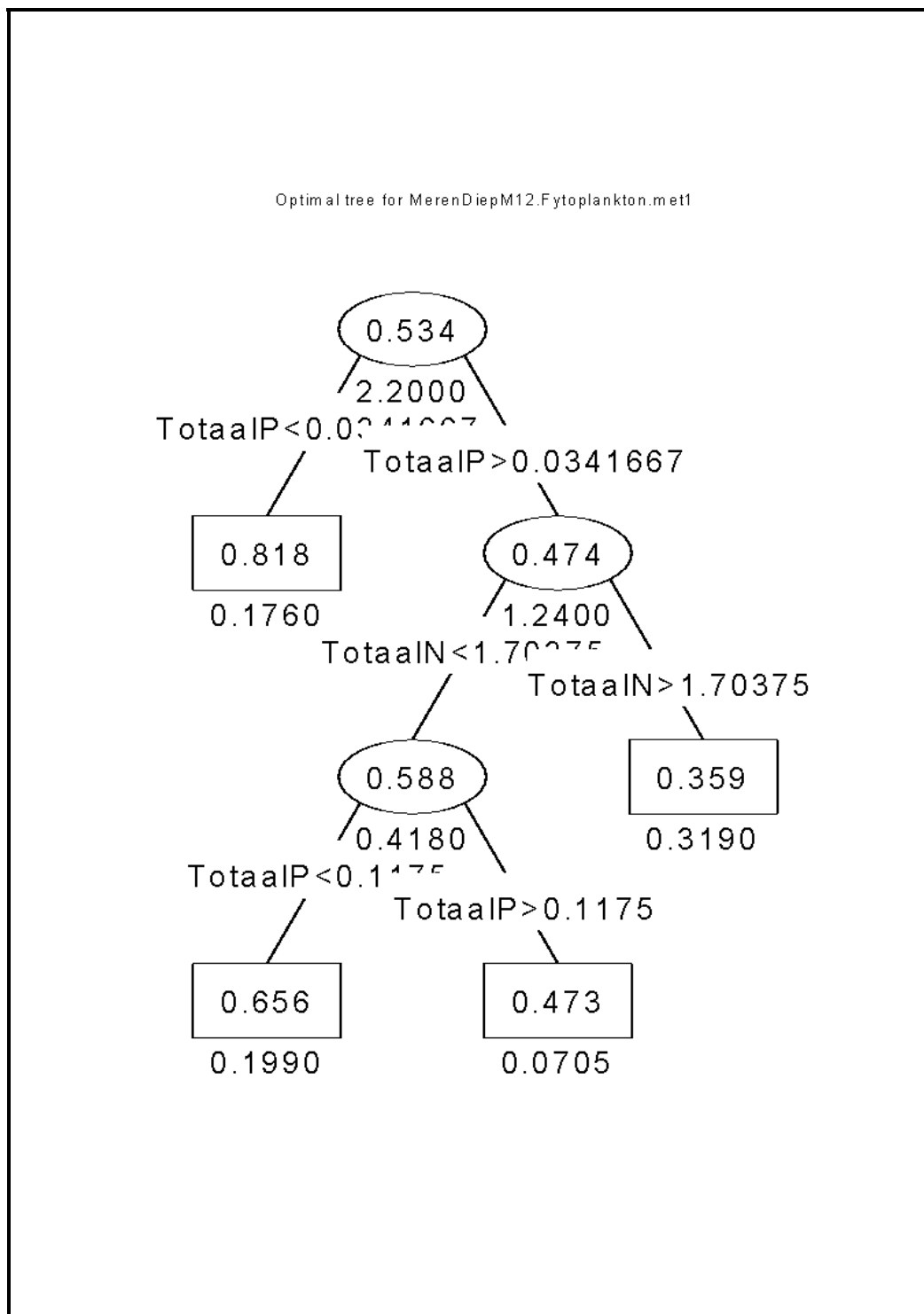
1) root 46 2.19600 0.5337
 2) TotaalP<0.0341667 8 0.17640 0.8181 *
 3) TotaalP>0.0341667 38 1.23700 0.4738
 6) TotaalN<1.70375 19 0.41760 0.5885
 12) TotaalP<0.1175 12 0.19860 0.6560 *
 13) TotaalP>0.1175 7 0.07047 0.4727 *
 7) TotaalN>1.70375 19 0.31950 0.3591 *

```

Figuur B2.39: EKR's voor fytoplankton, codes 1 en 2, N= 46



Figuur B2.40: EKR's voor fytoplankton, codes 1 en 2, N= 46



Regressieboom voor macrofyten, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **79 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalN" "Oeverinrichting" "TotaalP"

Number of terminal nodes: 11

Residual mean deviance: 0.01007 = 0.9568 / 95

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.650e-001	-4.000e-002	-6.154e-003	-1.676e-017	6.575e-002	3.103e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

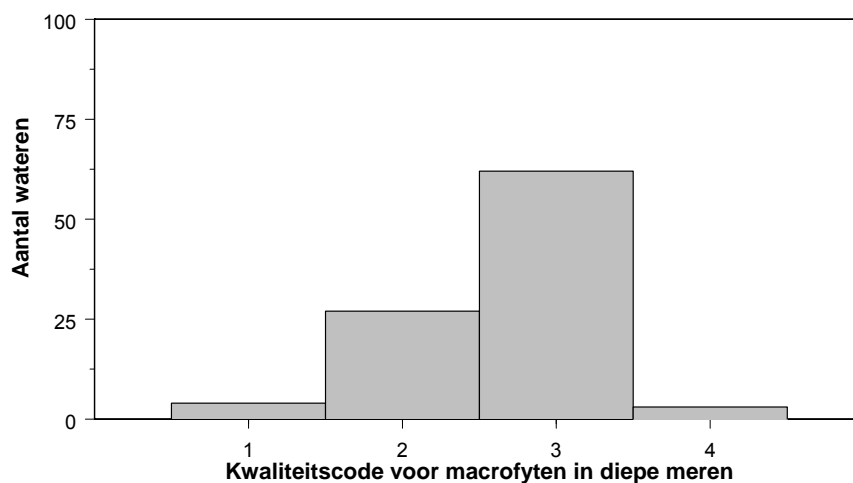
* denotes terminal node

```

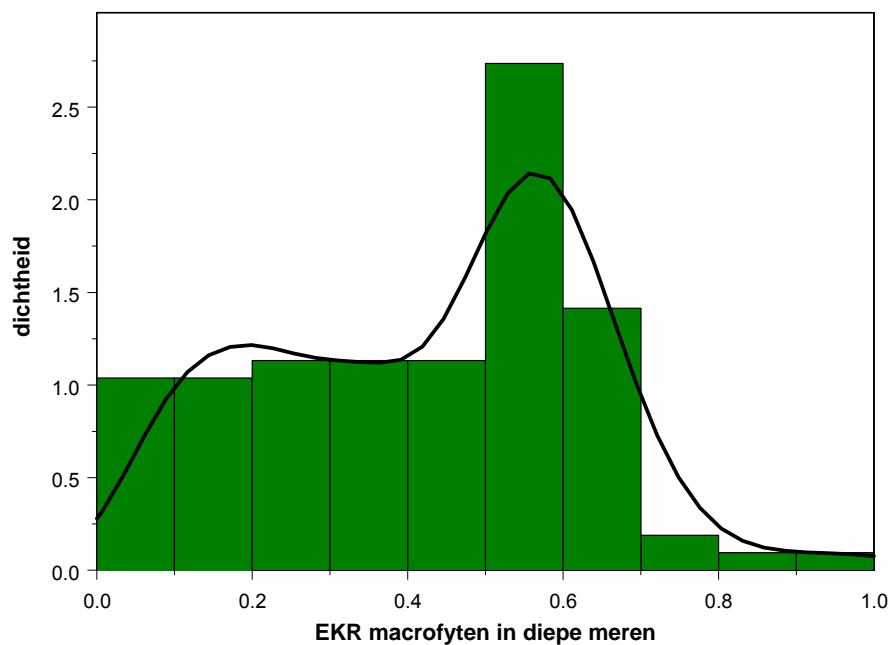
1) root 106 4.574000 0.43050
  2) TotaalN<1.50719 53 1.154000 0.56400
    4) Oeverinrichting<2.25 38 0.602800 0.51320
      8) TotaalP<0.1035 33 0.407000 0.53610
        16) Oeverinrichting<1.65 10 0.179600 0.47500 *
        17) Oeverinrichting>1.65 23 0.173800 0.56260 *
      9) TotaalP>0.1035 5 0.064280 0.36200 *
    5) Oeverinrichting>2.25 15 0.204500 0.69270
      10) TotaalP<0.0467857 5 0.078080 0.81200 *
      11) TotaalP>0.0467857 10 0.019610 0.63300 *
  3) TotaalN>1.50719 53 1.530000 0.29690
    6) TotaalP<0.21 32 0.739500 0.38530
      12) Oeverinrichting<1.45 7 0.140400 0.22970 *
      13) Oeverinrichting>1.45 25 0.382300 0.42880
        26) Oeverinrichting<2.3 20 0.259300 0.39600
          52) TotaalP<0.0716667 5 0.079680 0.49800 *
          53) TotaalP>0.0716667 15 0.110200 0.36200 *
        27) Oeverinrichting>2.3 5 0.015400 0.56000 *
    7) TotaalP>0.21 21 0.161000 0.16240
      14) TotaalN<4.3125 13 0.087910 0.20620 *
      15) TotaalN>4.3125 8 0.007687 0.09125 *

```

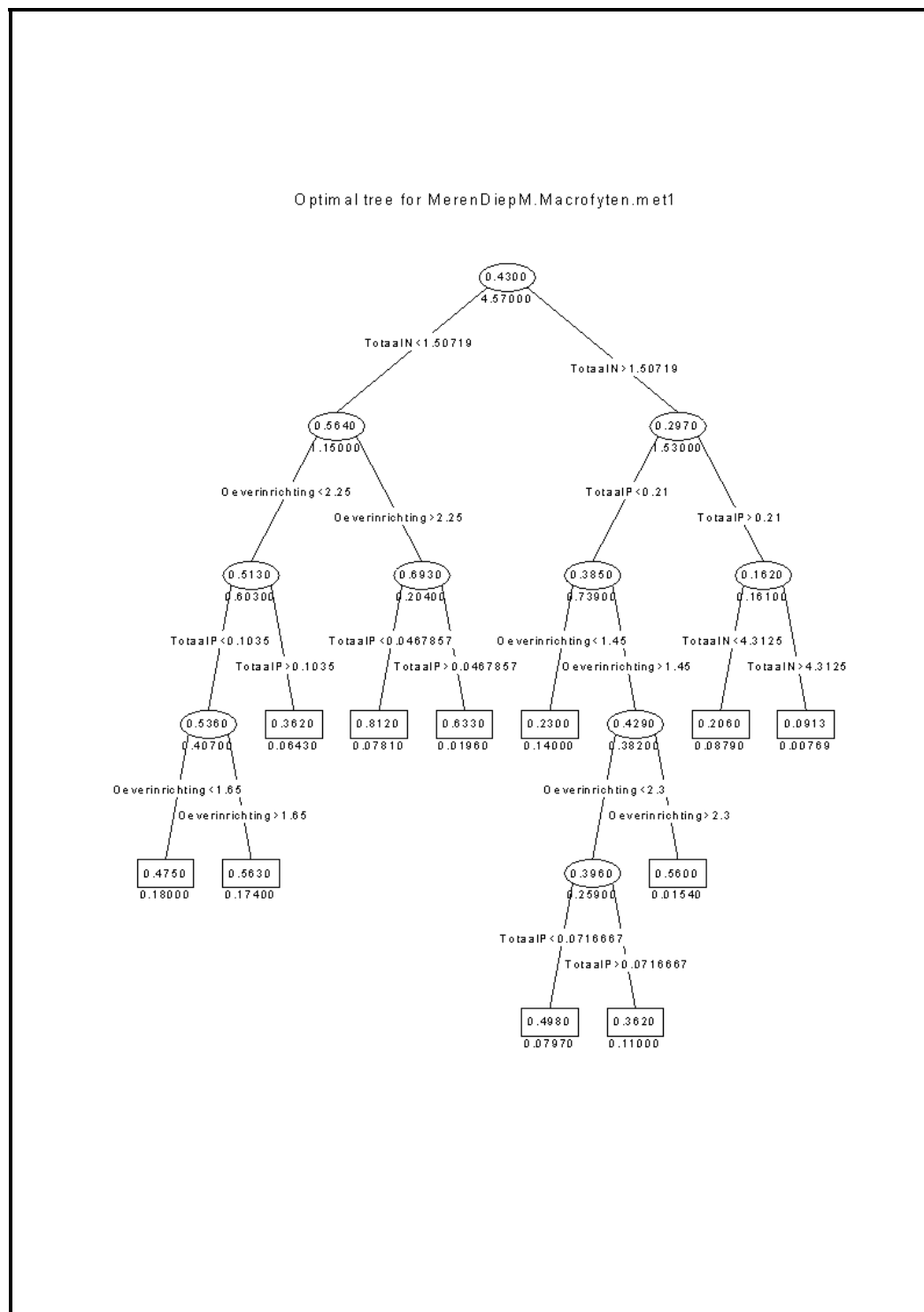

Figuur B2.41: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.42: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 106



Figuur B2.43: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 106



Regressieboom voor macrofauna, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **45 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "Oeverinrichting" "TotaalP"

Number of terminal nodes: 4

Residual mean deviance: 0.009326 = 0.9513 / 102

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.137e-001	-4.454e-002	6.269e-003	9.950e-017	6.348e-002	2.471e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

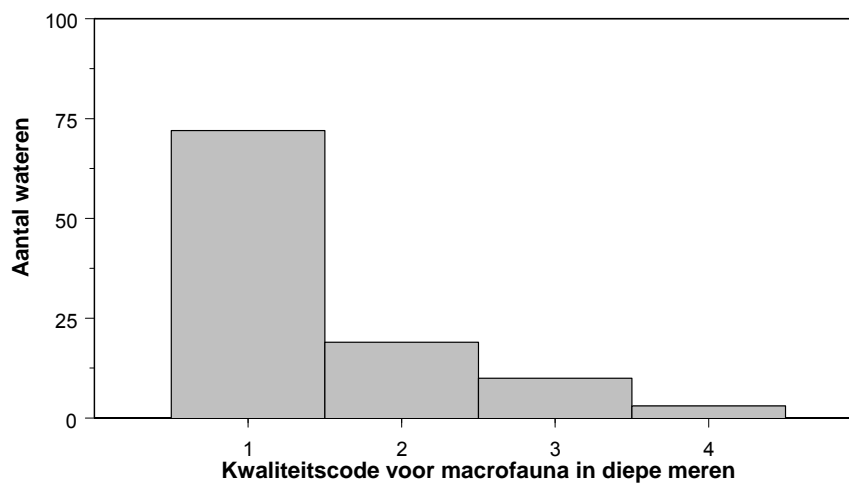
* denotes terminal node

```

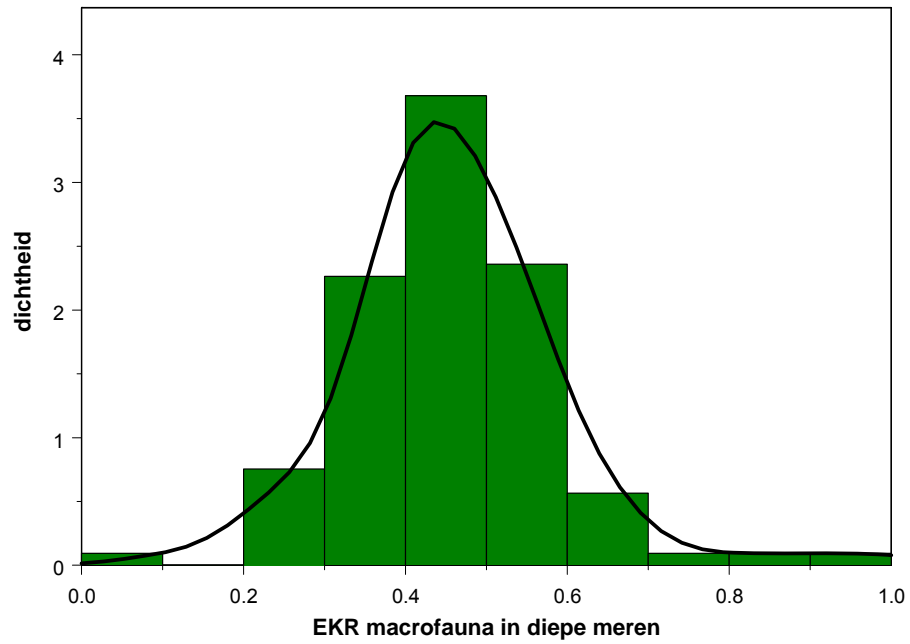
1) root 106 1.73300 0.4604
  2) Oeverinrichting<2.75 93 0.85940 0.4364
    4) TotaalP<0.0420536 26 0.20330 0.4948 *
    5) TotaalP>0.0420536 67 0.53300 0.4137 *
  3) Oeverinrichting>2.75 13 0.43540 0.6323
    6) TotaalP<0.0865 7 0.13930 0.7529 *
    7) TotaalP>0.0865 6 0.07568 0.4917 *

```

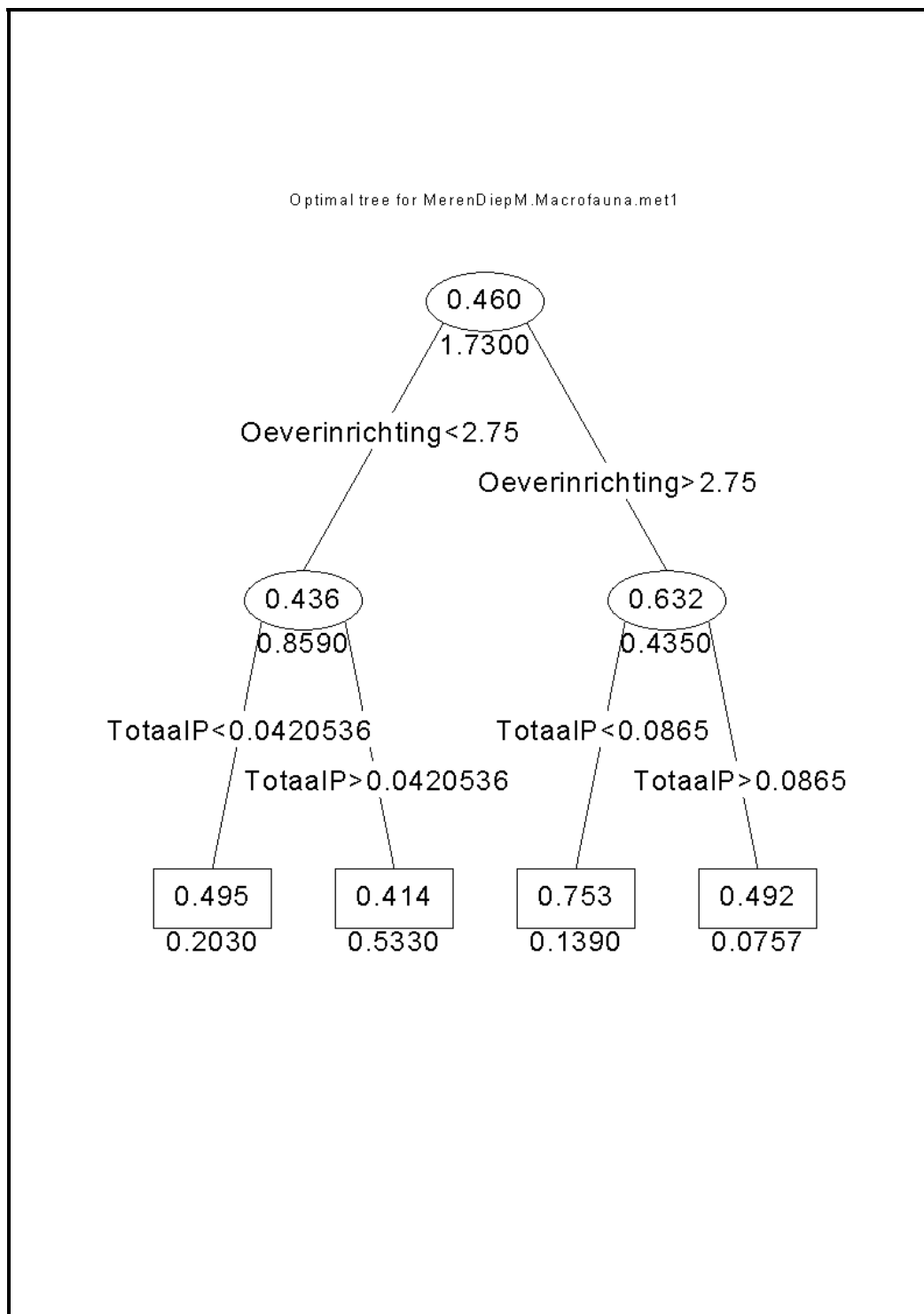
Figuur B2.44: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.45: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 106

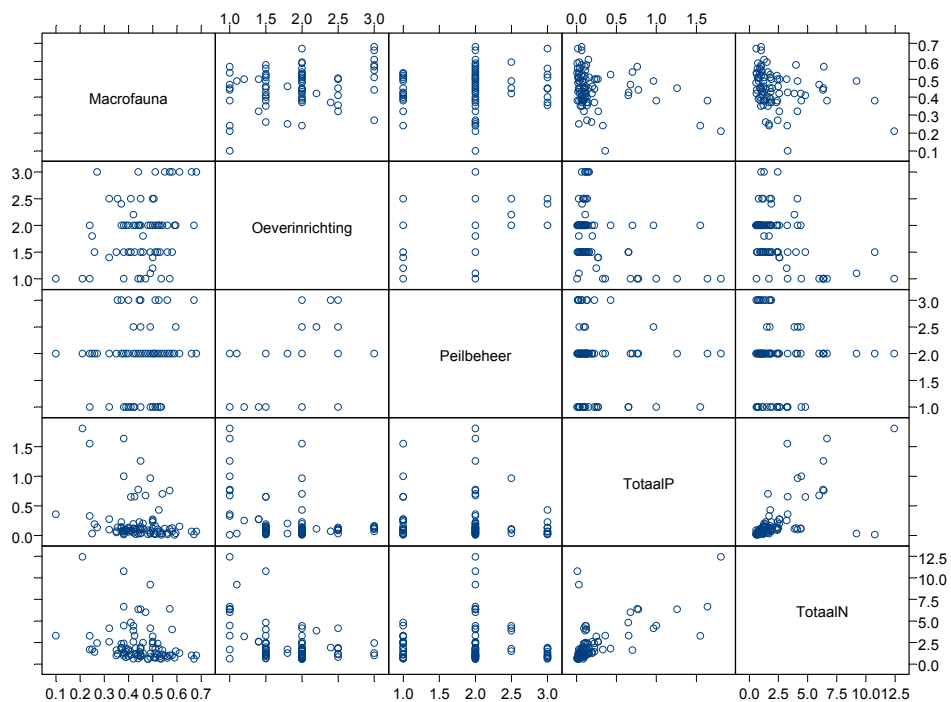


Figuur B2.46: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 106



Regressieboom voor macrofauna, codes 1 en 2

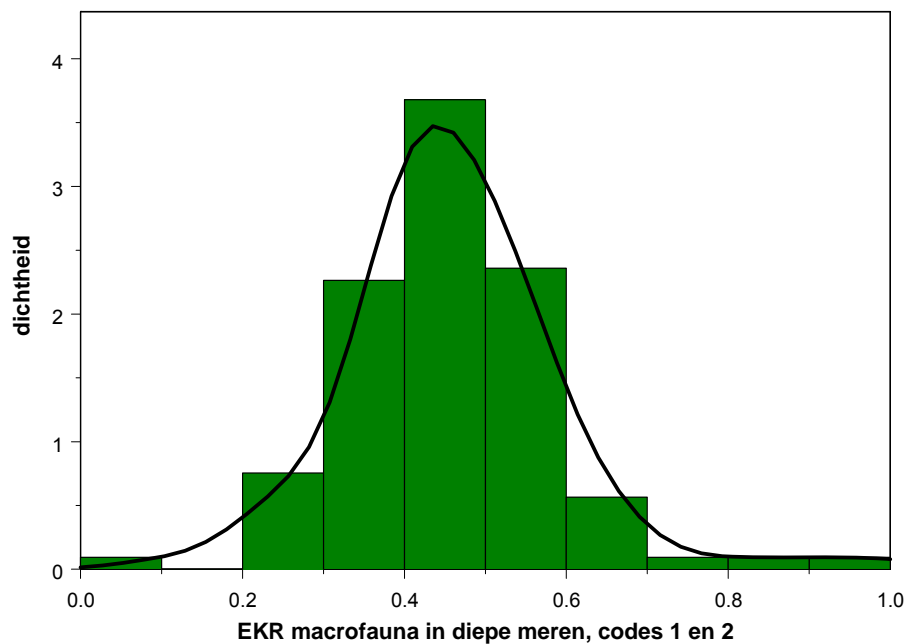
Figuur B2.47: Scatterplot-matrix voor macrofauna en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: MerenDiepMa12 ***

	Macrofauna	Oeverinrichting	Peilbeheer	TotaalP	TotaalN
Macrofauna	1.0000000	0.3007760	0.08628964	-0.2801719	
Oeverinrichting	0.30077602	1.0000000	0.28473531	-0.3955437	
Peilbeheer	0.08628964	0.2847353	1.0000000	-0.1104798	
TotaalP	-0.28017186	-0.3955437	-0.11047976	1.0000000	
TotaalN	-0.27031809	-0.4656100	-0.03595659	0.6277240	1.0000000

Figuur B2.48: EKR's voor macrofauna, codes 1 en 2, N= 91



De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **38 %**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalN" "Oeverinrichting" "TotaalP"

Number of terminal nodes: 7

Residual mean deviance: 0.006745 = 0.5666 / 84

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.320e-001	-4.465e-002	-3.140e-003	1.312e-017	4.622e-002	1.869e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

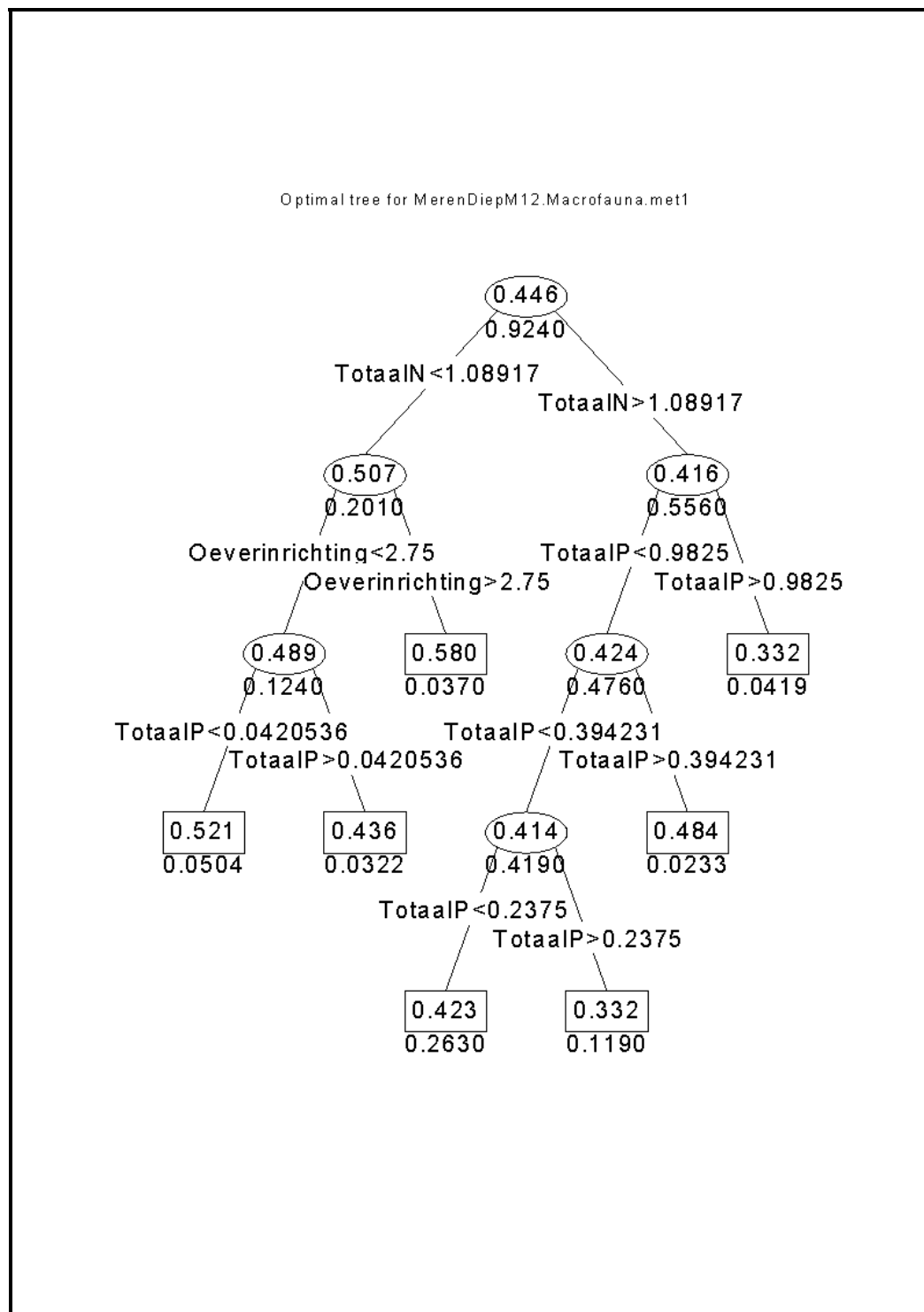
* denotes terminal node

```

1) root 91 0.92430 0.4462
  2) TotaalN<1.08917 30 0.20060 0.5073
    4) Oeverinrichting<2.75 24 0.12400 0.4892
      8) TotaalP<0.0420536 15 0.05042 0.5213 *
      9) TotaalP>0.0420536 9 0.03222 0.4356 *
    5) Oeverinrichting>2.75 6 0.03700 0.5800 *
  3) TotaalN>1.08917 61 0.55640 0.4161
    6) TotaalP<0.9825 56 0.47600 0.4237
      12) TotaalP<0.394231 48 0.41890 0.4136
        24) TotaalP<0.2375 43 0.26290 0.4231 *
        25) TotaalP>0.2375 5 0.11890 0.3320 *
      13) TotaalP>0.394231 8 0.02334 0.4837 *
    7) TotaalP>0.9825 5 0.04188 0.3320 *

```


Figuur B2.49: EKR's voor macrofauna, codes 1 en 2, N= 91



Regressieboom voor vis, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **75 %**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalN"      "TotaalP"      "Oeverinrichting"
```

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: 0.008853 = 0.8676 / 98

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.324e-001	-5.463e-002	-3.333e-003	-4.556e-017	4.867e-002	3.287e-001

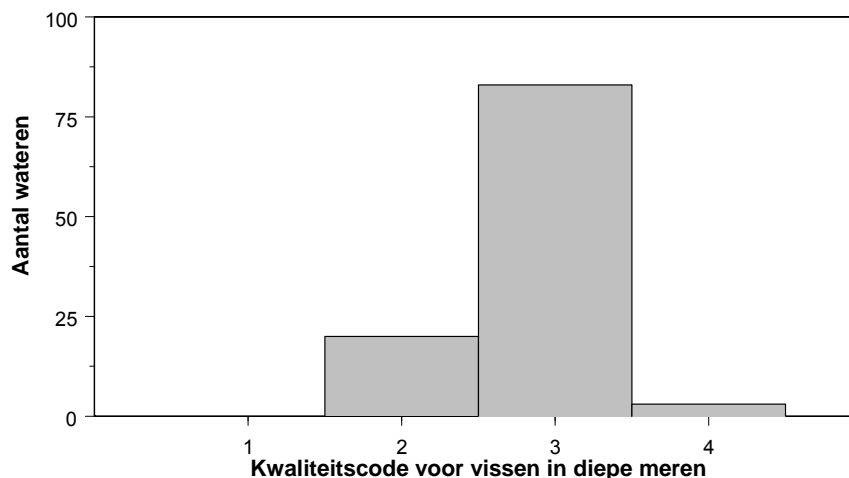
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

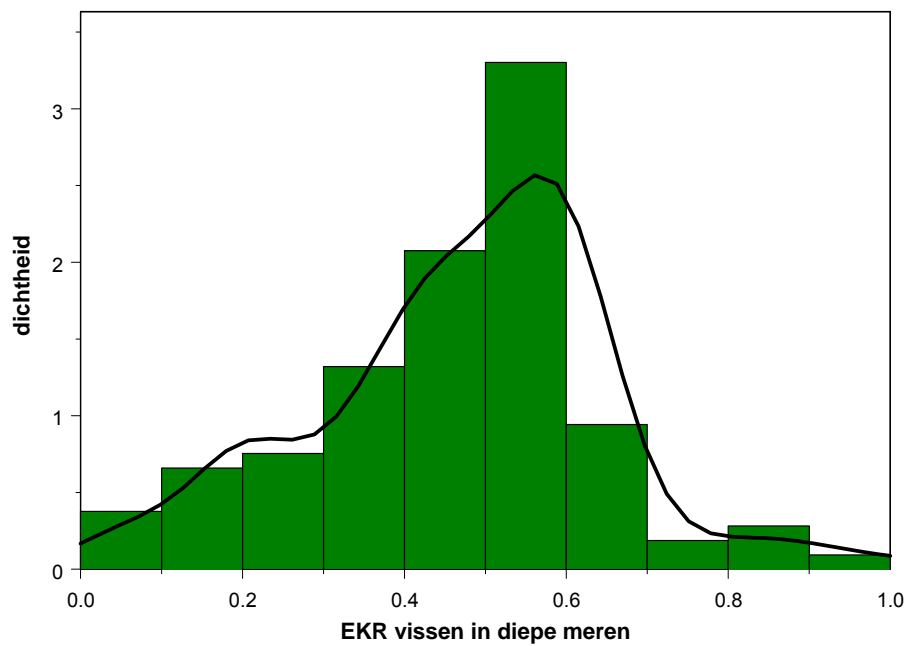
* denotes terminal node

```
1) root 106 3.452000 0.4718
  2) TotaalN<2.45937 78 1.423000 0.5431
    4) TotaalP<0.0308333 18 0.308100 0.6622
      8) Oeverinrichting<2.25 13 0.073720 0.6054 *
      9) Oeverinrichting>2.25 5 0.083200 0.8100 *
    5) TotaalP>0.0308333 60 0.783100 0.5073
      10) TotaalN<1.50719 37 0.271600 0.5513 *
      11) TotaalN>1.50719 23 0.324800 0.4366
        22) TotaalP<0.122917 11 0.060960 0.4958 *
        23) TotaalP>0.122917 12 0.190100 0.3824 *
  3) TotaalN>2.45937 28 0.528000 0.2732
    6) TotaalP<0.55 17 0.178400 0.3559 *
    7) TotaalP>0.55 11 0.053870 0.1455
      14) TotaalP<0.9825 6 0.001133 0.2033 *
      15) TotaalP>0.9825 5 0.008520 0.0760 *
```

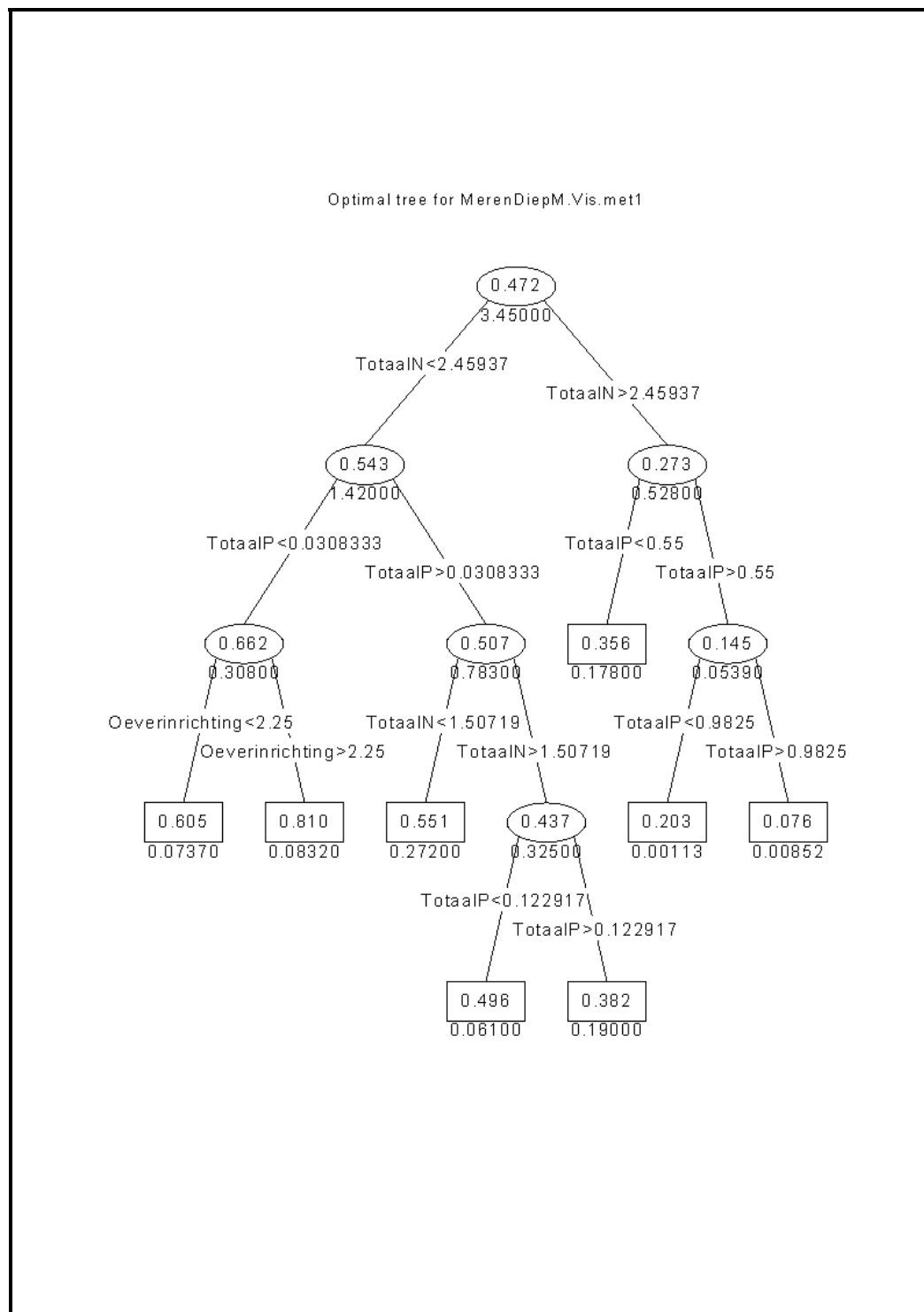
Figuur B2.50: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.51: EKR's voor vissen, alle codes, N= 106



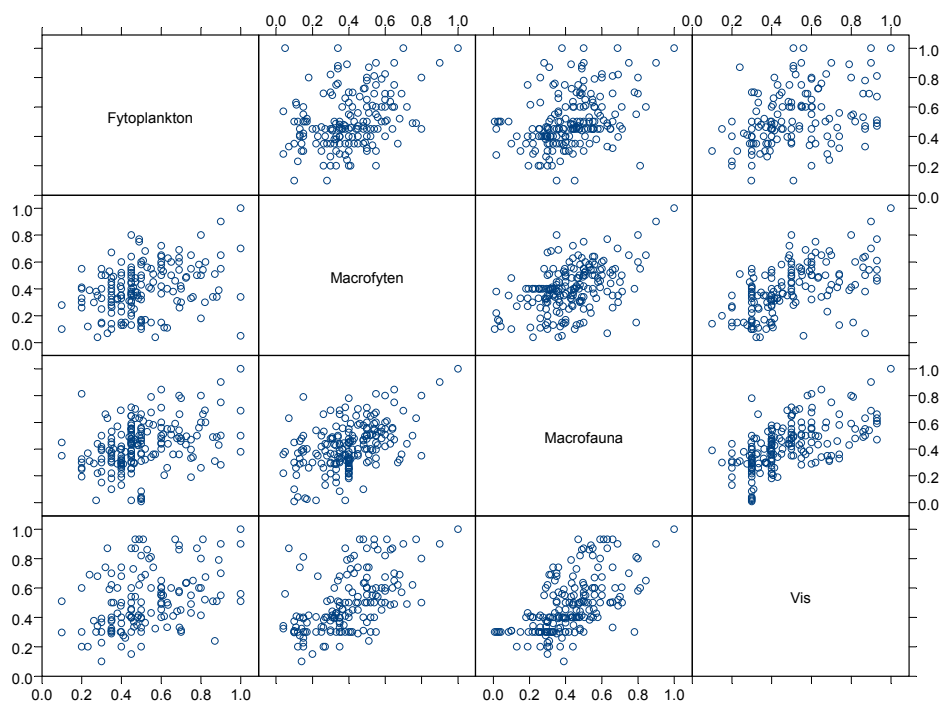
Figuur B2.52: EKR's voor vissen, alle codes, N= 106



ANALYSE KANALEN (M3, M6A/B, M7A/B EN M10)

Scatterplot-matrices

Figuur B2.53: Scatterplot-matrix voor vier kwaliteitselementen: fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen

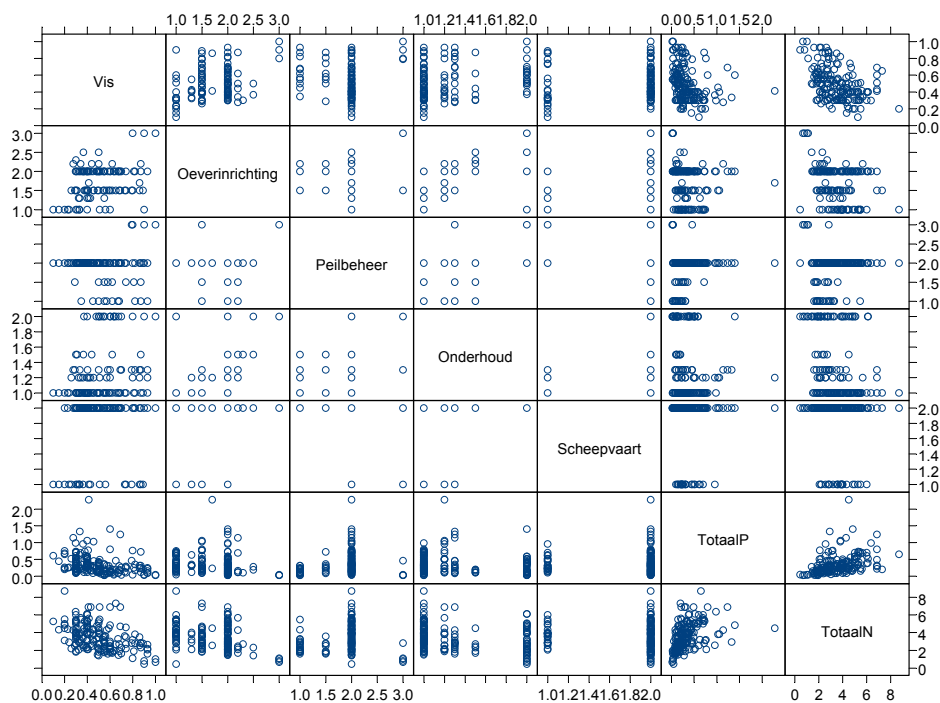


*** Correlations for data in: KanalenMa ***

	Fytoplankton	Macrofyten	Macrofauna	Vis
Fytoplankton	1.0000000	0.4022024	0.4043118	0.4618041
Macrofyten	0.4022024	1.0000000	0.5015988	0.5777087
Macrofauna	0.4043118	0.5015988	1.0000000	0.5997568
Vis	0.4618041	0.5777087	0.5997568	1.0000000

Regressieboom voor fytoplankton, alle codes

Figuur B2.54: Scatterplot-matrix voor fytoplankton en alle stuurvariabelen in de kanalen dataset



De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is 63 %.

```
Fytoplankton ~ Oeverinrichting + Peilbeheer + Onderhoud + Scheepvaart +
  TotaalP + TotaalN
```

```
[1] "start pruning"
[1] "ready pruning"
[[1]]:
```

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(14., 4., 15., 11., 13., 24.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalP" "Oeverinrichting" "Scheepvaart" "TotaalN"
```

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: 0.01294 = 2.548 / 197

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.048e-001	-7.560e-002	-5.597e-003	1.246e-016	6.584e-002	3.044e-001

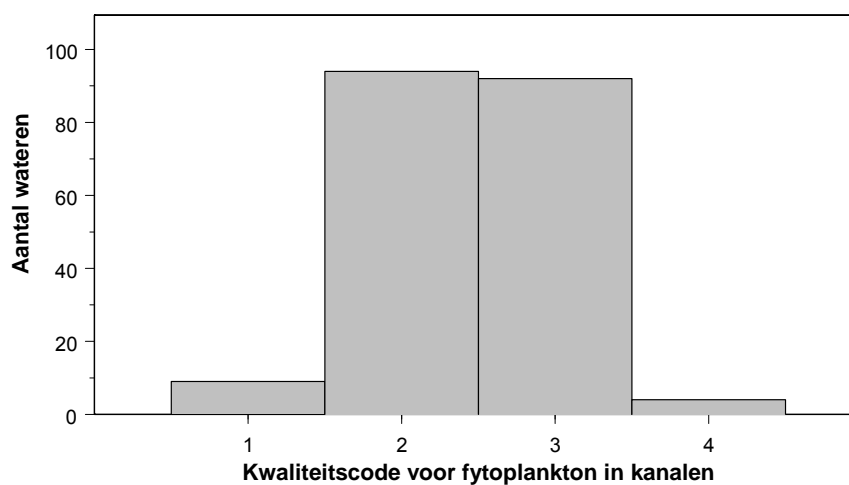
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

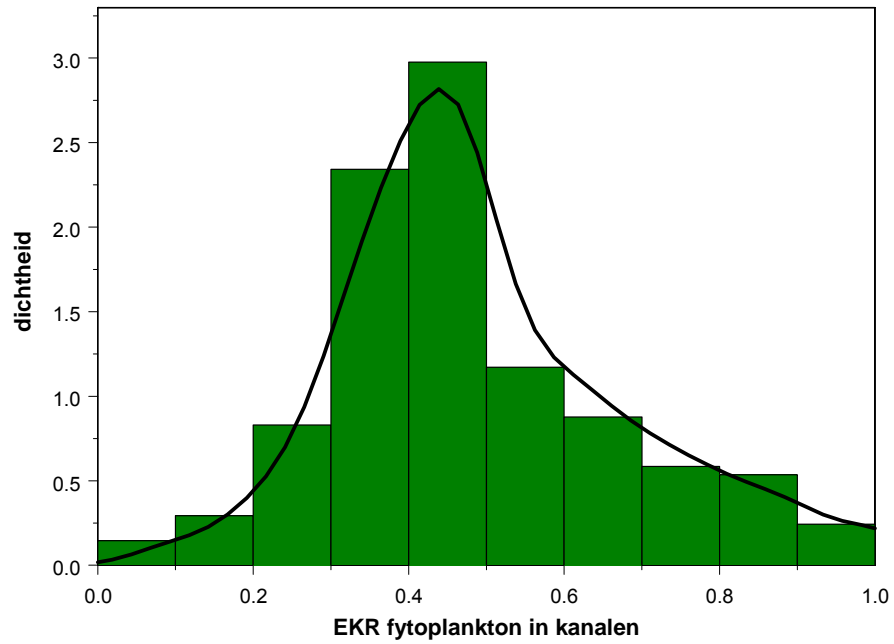
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 205 6.97700 0.4986
- 2) TotaalP<0.1625 57 1.90700 0.6529
- 4) TotaalP<0.0783333 13 0.13060 0.8593 *
- 5) TotaalP>0.0783333 44 1.05900 0.5920
- 10) Oeverinrichting<1.4 5 0.09632 0.7960 *
- 11) Oeverinrichting>1.4 39 0.72810 0.5658 *
- 3) TotaalP>0.1625 148 3.19000 0.4392
- 6) TotaalP<0.475 99 1.82100 0.4858
- 12) Scheepvaart<1.5 16 0.58130 0.6426
- 24) TotaalN<3.955 11 0.38880 0.7048 *
- 25) TotaalN>3.955 5 0.05672 0.5060 *
- 13) Scheepvaart>1.5 83 0.77020 0.4556 *
- 7) TotaalP>0.475 49 0.71870 0.3450
- 14) TotaalN<4.575 17 0.13410 0.4594 *
- 15) TotaalN>4.575 32 0.24360 0.2842 *

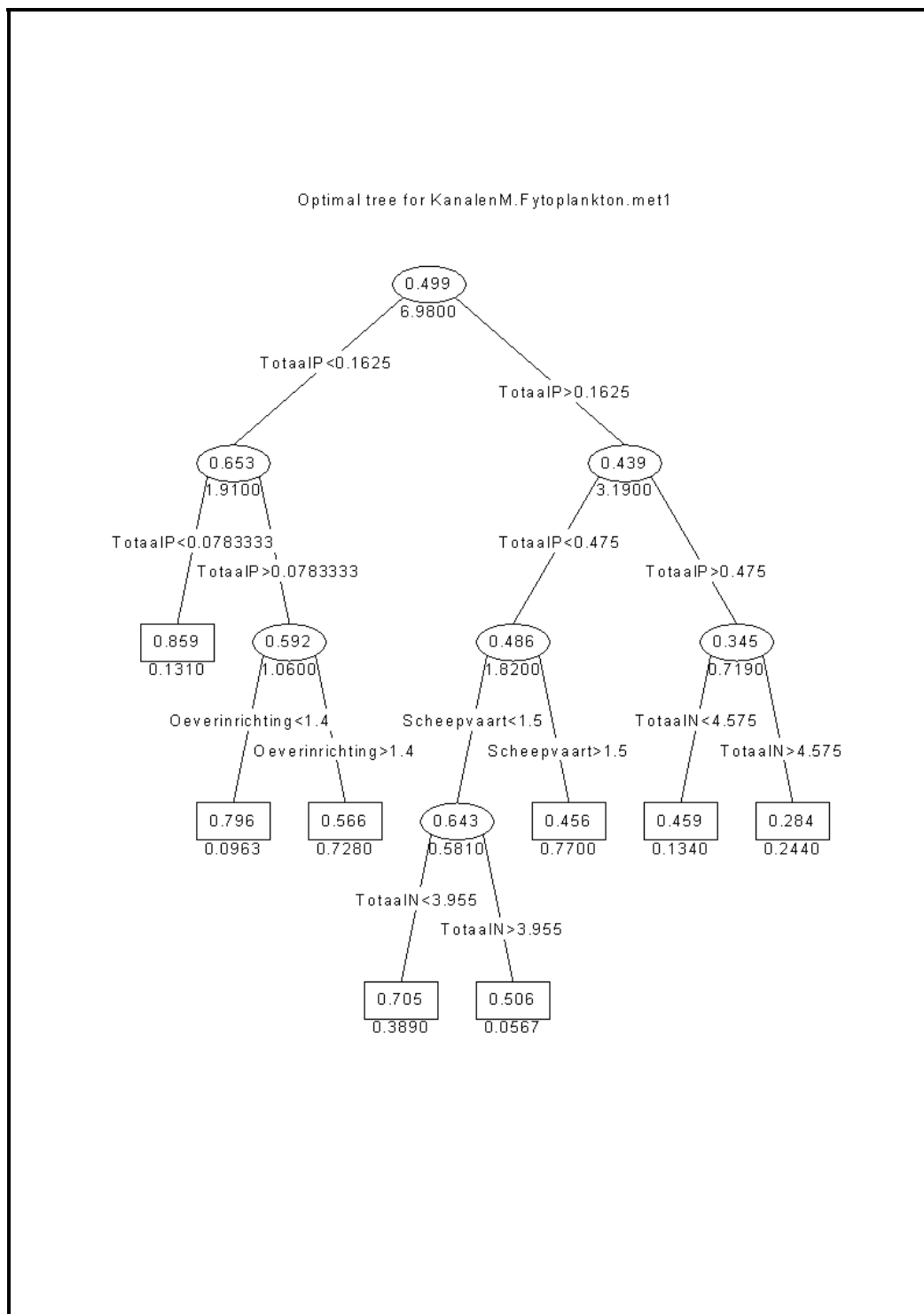
Figuur B2.55: Herkomst EKR's fytoplankton



Figuur B2.56: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 205

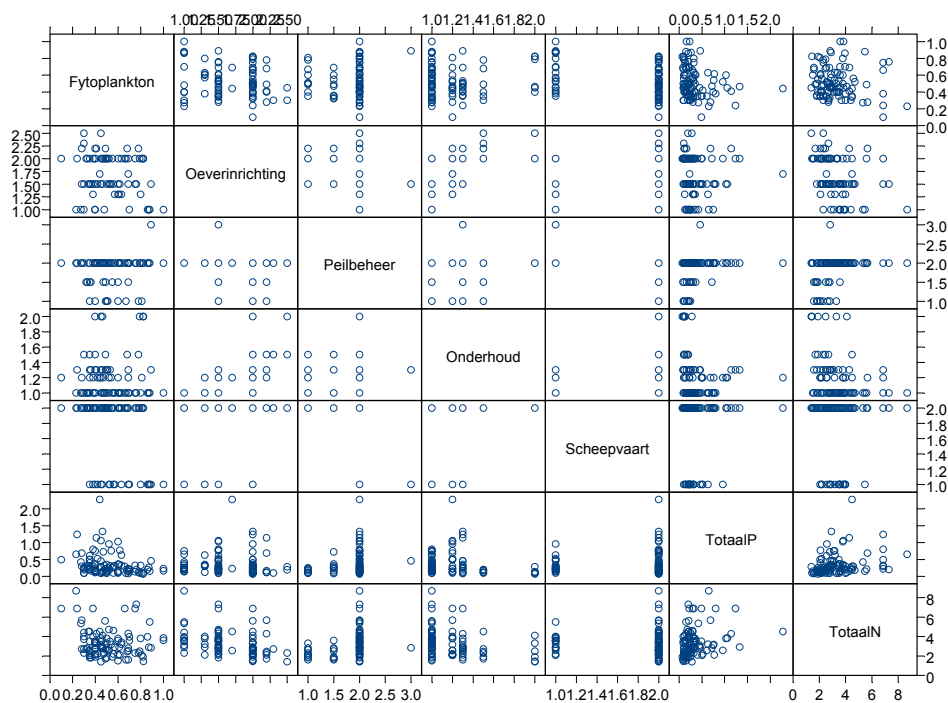


Figuur B2.57: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 205



Regressieboom voor fytoplankton, codes 1 en 2

Figuur B2.58: Scatterplot-matrix voor fytoplankton en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: KanalenMal2 ***

	Fytoplankton	Oeverinrichting	Peilbeheer	Onderhoud
Fytoplankton	1.0000000	-0.21235906	0.01566385	0.04529086
Oeverinrichting	-0.21235906	1.0000000	-0.28527786	0.49514369
Peilbeheer	0.01566385	-0.28527786	1.0000000	0.06383169
Onderhoud	0.04529086	0.49514369	0.06383169	1.0000000
Scheepvaart	-0.38734618	0.41954317	-0.27085219	0.17031599
TotaalP	-0.21767034	-0.03559613	0.20738734	-0.07653432
TotaalN	-0.13699728	-0.22367275	0.28202718	-0.22983882

	Scheepvaart	TotaalP	TotaalN
Fytoplankton	-0.38734618	-0.21767034	-0.13699728
Oeverinrichting	0.41954317	-0.03559613	-0.22367275
Peilbeheer	-0.27085219	0.20738734	0.28202718
Onderhoud	0.17031599	-0.07653432	-0.22983882
Scheepvaart	1.0000000	0.04553216	0.01740016
TotaalP	0.04553216	1.0000000	0.27353735
TotaalN	0.01740016	0.27353735	1.0000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **59%**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "Scheepvaart" "Oeverinrichting" "TotaalP" "TotaalN"

Number of terminal nodes: 9

Residual mean deviance: 0.01495 = 1.405 / 94

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.081e-001	-8.988e-002	-1.068e-002	-8.111e-017	7.425e-002	3.436e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

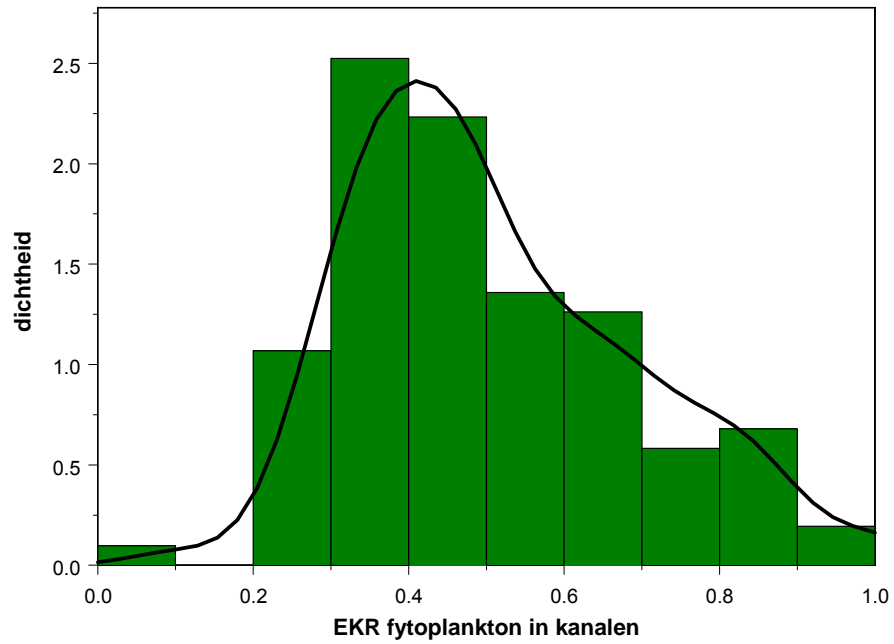
* denotes terminal node

```

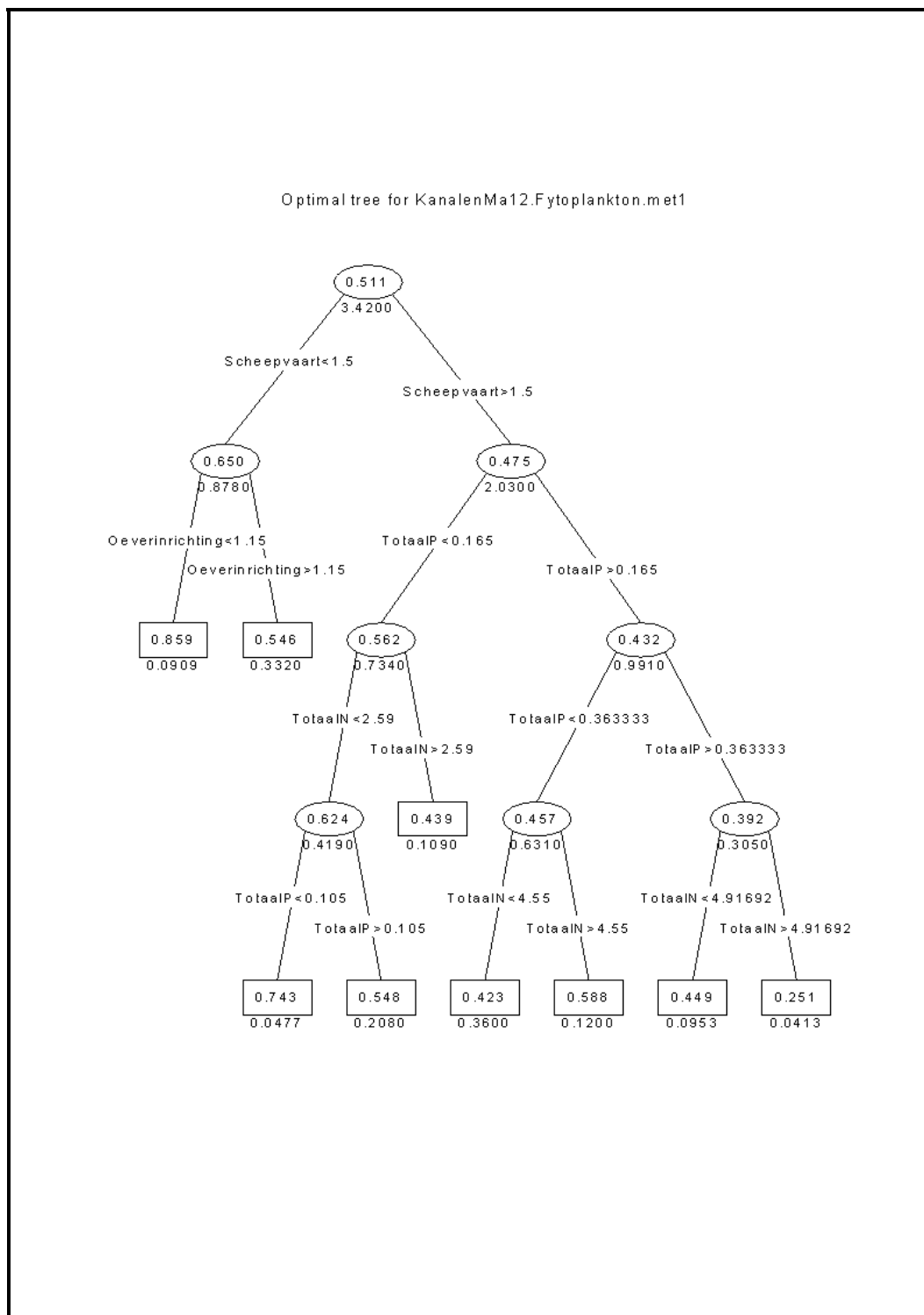
1) root 103 3.42100 0.5110
 2) Scheepvaart<1.5 21 0.87770 0.6505
   4) Oeverinrichting<1.15 7 0.09089 0.8586 *
   5) Oeverinrichting>1.15 14 0.33210 0.5464 *
 3) Scheepvaart>1.5 82 2.03000 0.4752
   6) TotaalP<0.165 27 0.73430 0.5624
     12) TotaalN<2.59 18 0.41900 0.6241
       24) TotaalP<0.105 7 0.04769 0.7434 *
       25) TotaalP>0.105 11 0.20840 0.5482 *
     13) TotaalN>2.59 9 0.10950 0.4389 *
   7) TotaalP>0.165 55 0.99060 0.4325
     14) TotaalP<0.363333 34 0.63070 0.4573
       28) TotaalN<4.55 27 0.35980 0.4233 *
       29) TotaalN>4.55 7 0.11990 0.5881 *
     15) TotaalP>0.363333 21 0.30530 0.3924
       30) TotaalN<4.91692 15 0.09533 0.4491 *
       31) TotaalN>4.91692 6 0.04132 0.2507 *

```

Figuur B2.59: EKR's voor fytoplankton, codes 1 en 2, N= 103



Figuur B2.60: EKR's voor fytoplankton, codes 1 en 2, N= 103



Regressieboom voor macrofyten, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is 57%.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(111., 108., 109., 26., 14., 12.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalN"          "Oeverinrichting" "TotaalP"          "Onderhoud"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.01392 = 2.714 / 195

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-3.494e-001	-8.158e-002	7.049e-003	2.491e-017	8.080e-002	2.878e-001

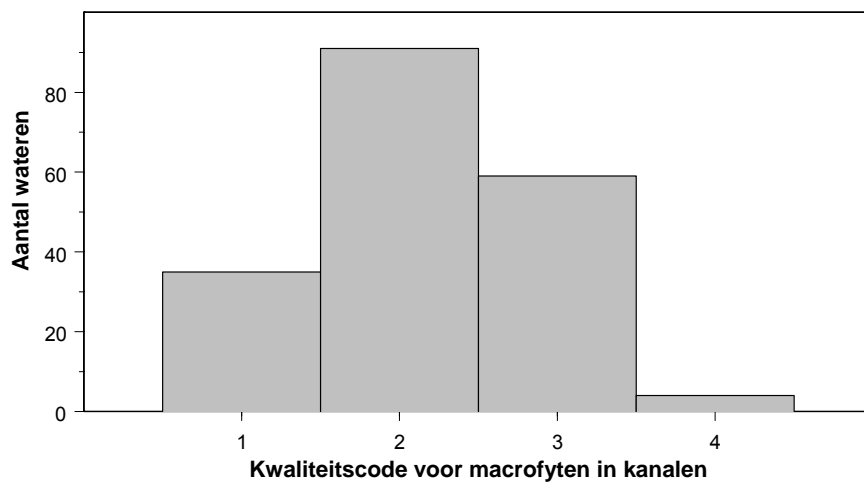
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

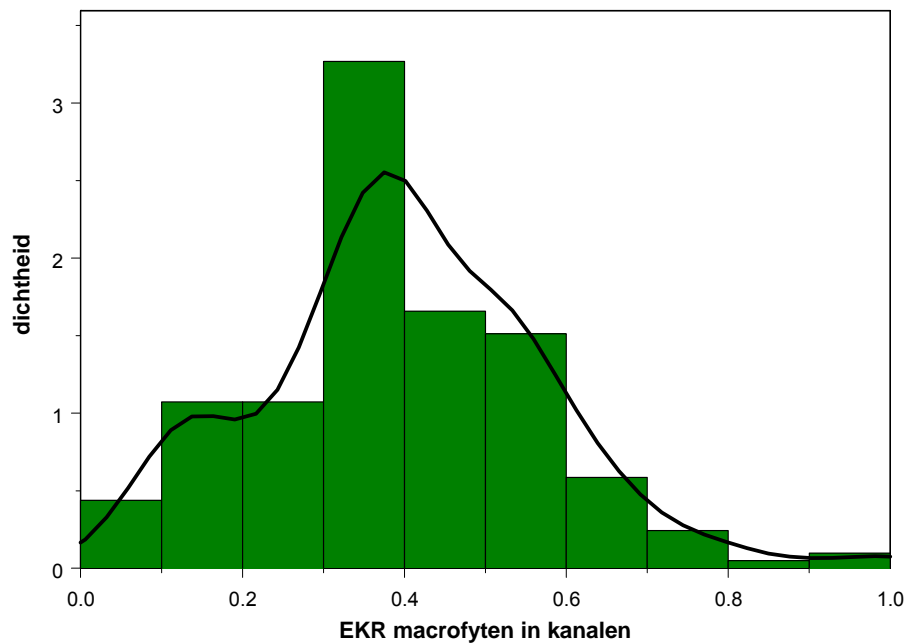
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 205 6.30300 0.4003
 - 2) TotaalN<1.795 14 0.34770 0.7236
 - 4) Oeverinrichting<2.35 9 0.06562 0.6256 *
 - 5) Oeverinrichting>2.35 5 0.04000 0.9000 *
 - 3) TotaalN>1.795 191 4.38500 0.3766
 - 6) TotaalP<0.475 142 3.13900 0.4081
 - 12) Oeverinrichting<1.4 37 0.54860 0.2992 *
 - 13) Oeverinrichting>1.4 105 1.99700 0.4465
 - 26) TotaalP<0.2075 50 0.72800 0.4816 *
 - 27) TotaalP>0.2075 55 1.15100 0.4145
 - 54) Onderhoud<1.1 33 0.63420 0.3809
 - 108) TotaalP<0.2675 10 0.25840 0.2922 *
 - 109) TotaalP>0.2675 23 0.26310 0.4194 *
 - 55) Onderhoud>1.1 22 0.42320 0.4650
 - 110) TotaalN<2.97 9 0.14320 0.5544 *
 - 111) TotaalN>2.97 13 0.15810 0.4031 *
 - 7) TotaalP>0.475 49 0.69860 0.2855
 - 14) Onderhoud<1.65 40 0.48880 0.2560 *
 - 15) Onderhoud>1.65 9 0.02000 0.4167 *

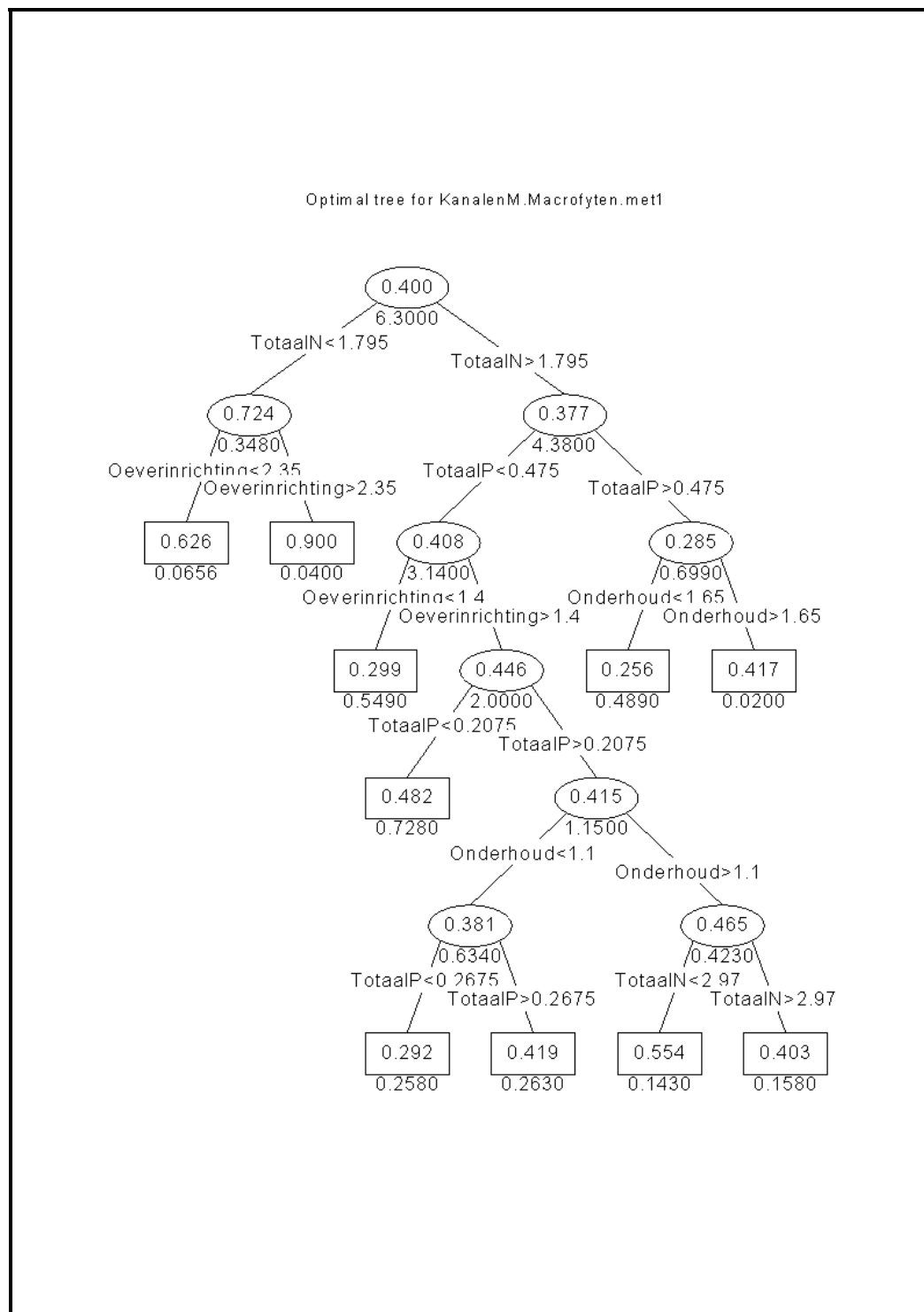
Figuur B2.61: Herkomst EKR's macrofyten



Figuur B2.62: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 205

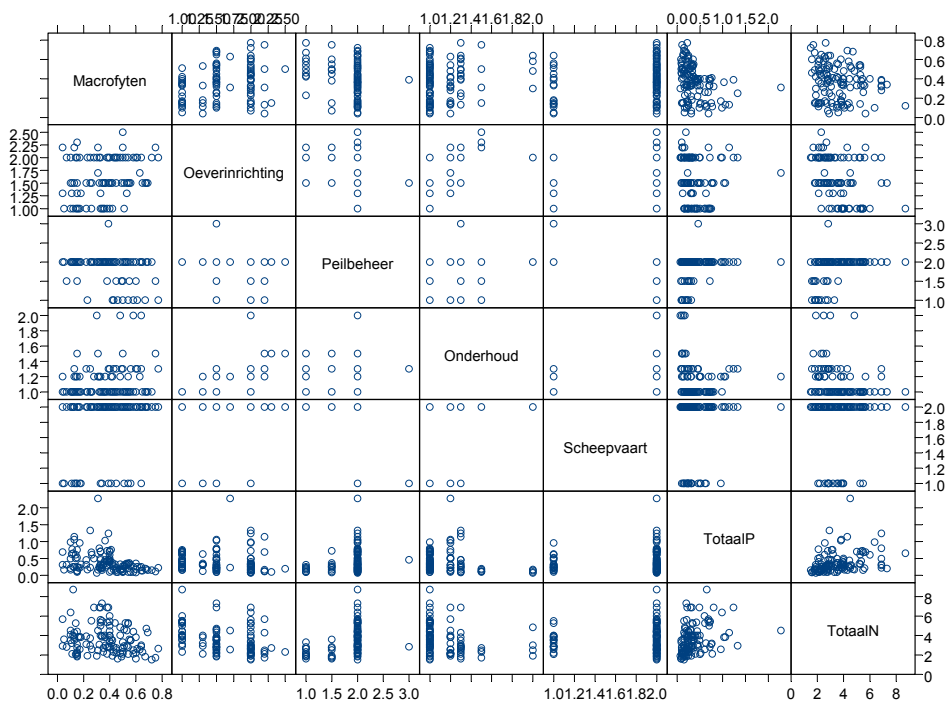


Figuur B2.63: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 205



Regressieboom voor macrofyten, codes 1 en 2

Figuur B2.64: Scatterplot-matrix voor macrofyten en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: KanalenMal2 ***

	Macrofyten	Oeverinrichting	Peilbeheer	Onderhoud
Macrofyten	1.0000000	0.27816828	-0.27650530	0.20361236
Oeverinrichting	0.2781683	1.0000000	-0.28959335	0.43259187
Peilbeheer	-0.2765053	-0.28959335	1.0000000	-0.02741223
Onderhoud	0.2036124	0.43259187	-0.02741223	1.0000000
Scheepvaart	0.1741613	0.21668724	-0.22692196	0.06163906
TotaalP	-0.3443259	-0.08803876	0.23541345	-0.08287261
TotaalN	-0.2027224	-0.20463286	0.34858445	-0.24361900

	Scheepvaart	TotaalP	TotaalN
Macrofyten	0.17416134	-0.34432591	-0.20272240
Oeverinrichting	0.21668724	-0.08803876	-0.20463286
Peilbeheer	-0.22692196	0.23541345	0.34858445
Onderhoud	0.06163906	-0.08287261	-0.24361900
Scheepvaart	1.00000000	0.05426776	0.09630759
TotaalP	0.05426776	1.00000000	0.34492585
TotaalN	0.09630759	0.34492585	1.00000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **30%**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalP" "Oeverinrichting"

Number of terminal nodes: 3

Residual mean deviance: 0.02236 = 2.751 / 123

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.841e-001	-1.136e-001	3.093e-002	-2.599e-017	1.114e-001	3.159e-001

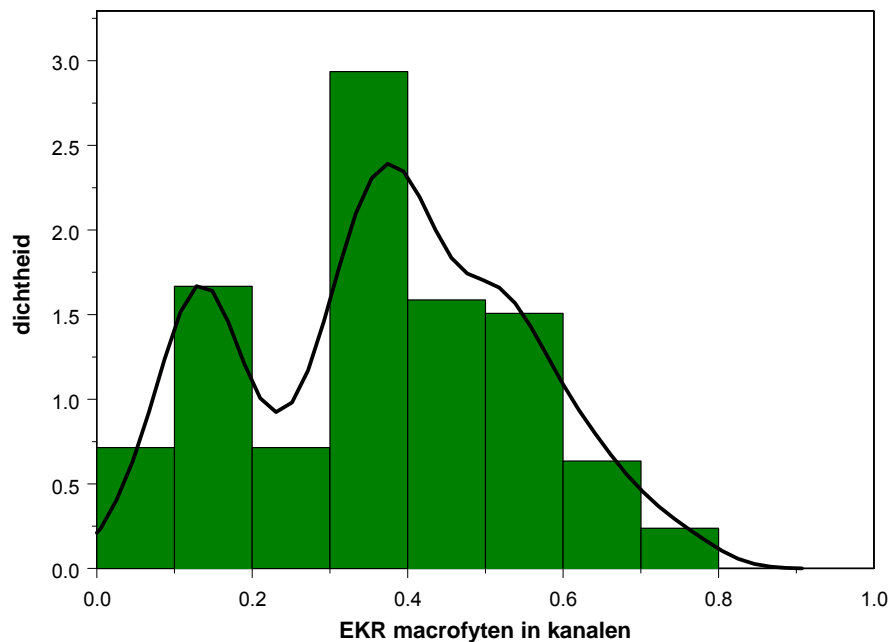
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

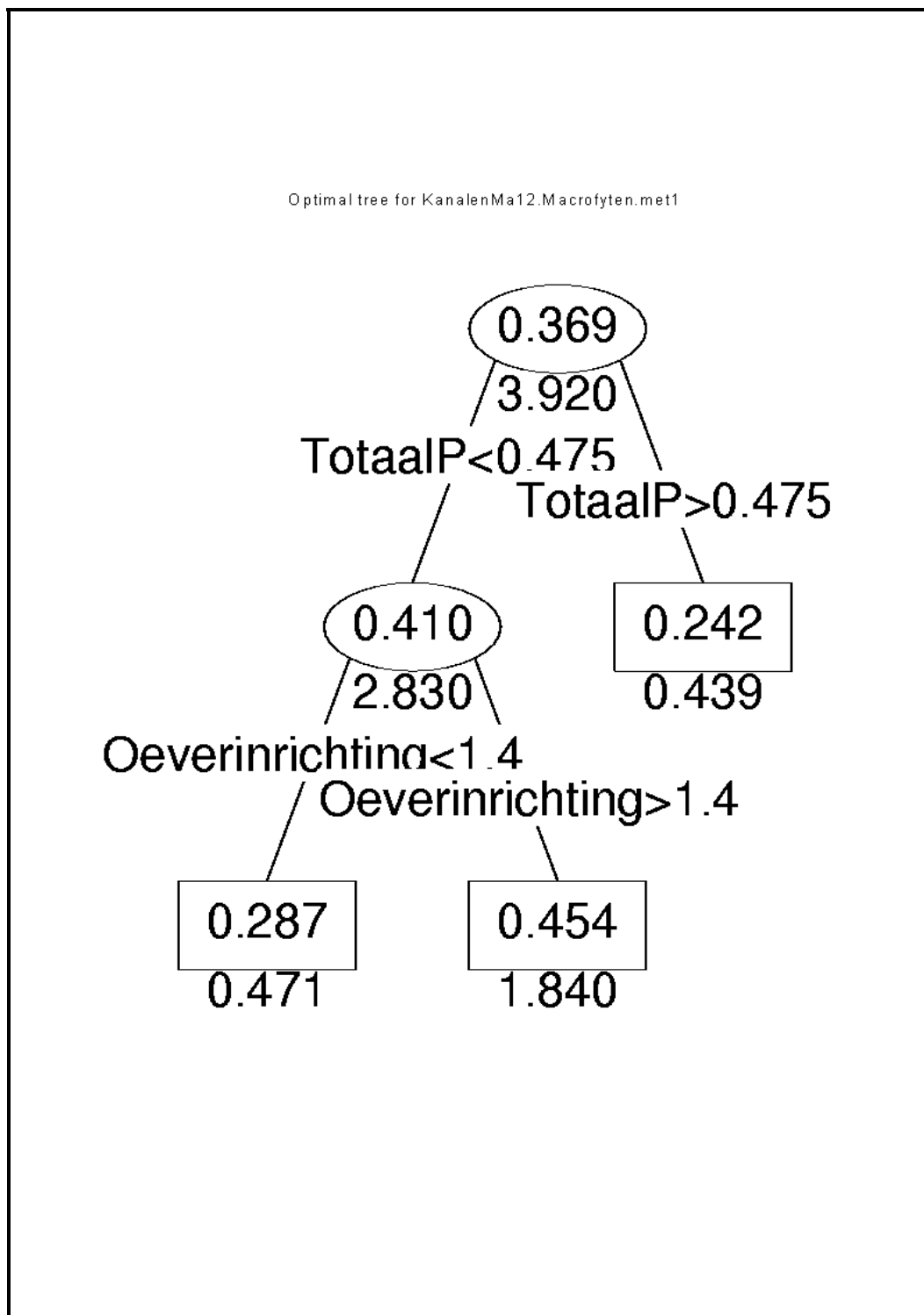
* denotes terminal node

- 1) root 126 3.9250 0.3688
- 2) TotaalP<0.475 95 2.8280 0.4101
- 4) Oeverinrichting<1.4 25 0.4709 0.2868 *
- 5) Oeverinrichting>1.4 70 1.8410 0.4541 *
- 3) TotaalP>0.475 31 0.4386 0.2422 *

Figuur B2.65: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 126



Figuur B2.66: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 126



Regressieboom voor macrofauna

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is 51%.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(115., 114., 12., 56., 15., 13.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalN"          "Oeverinrichting" "Scheepvaart"     "TotaalP"
[5] "Onderhoud"
```

Number of terminal nodes: 8

Residual mean deviance: 0.01579 = 3.112 / 197

Distribution of residuals:

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	-3.675e-001	-7.736e-002	2.460e-003	6.377e-017	7.857e-002	4.458e-001

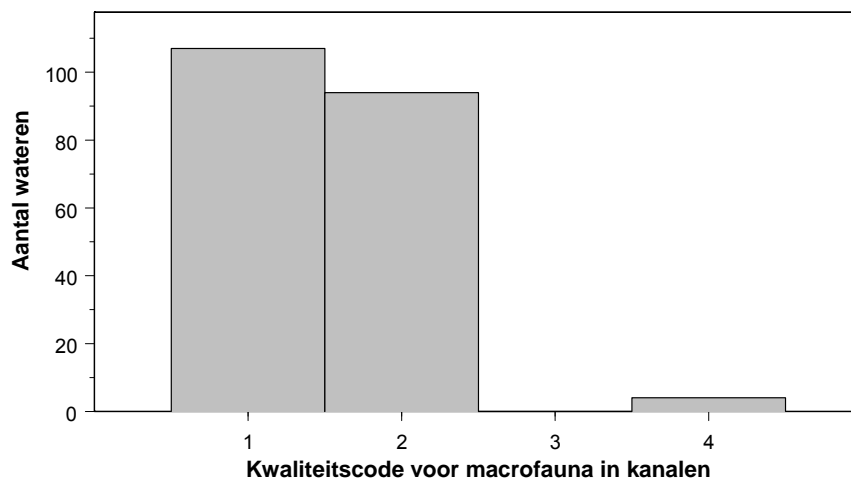
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

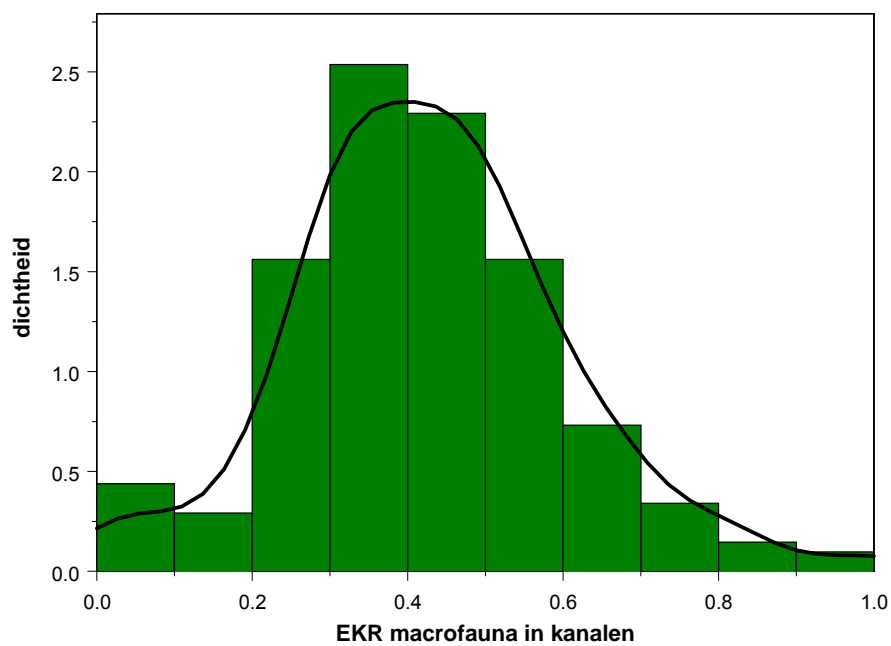
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 205 6.25300 0.4295
- 2) TotaalN<1.25 5 0.07289 0.8774 *
- 3) TotaalN>1.25 200 5.15200 0.4183
 - 6) Oeverinrichting<1.15 44 1.28300 0.2999
 - 12) Scheepvaart<1.5 13 0.23010 0.4576 *
 - 13) Scheepvaart>1.5 31 0.59410 0.2337 *
 - 7) Oeverinrichting>1.15 156 3.07700 0.4518
 - 14) TotaalP<0.475 119 2.04900 0.4782
 - 28) TotaalN<5.8 113 1.84600 0.4872
 - 56) Onderhoud<1.75 84 1.20600 0.4675 *
 - 57) Onderhoud>1.75 29 0.51330 0.5442
 - 114) TotaalN<3.5675 19 0.24750 0.6049 *
 - 115) TotaalN>3.5675 10 0.06295 0.4289 *
 - 29) TotaalN>5.8 6 0.02094 0.3084 *
 - 15) TotaalP>0.475 37 0.67700 0.3667 *

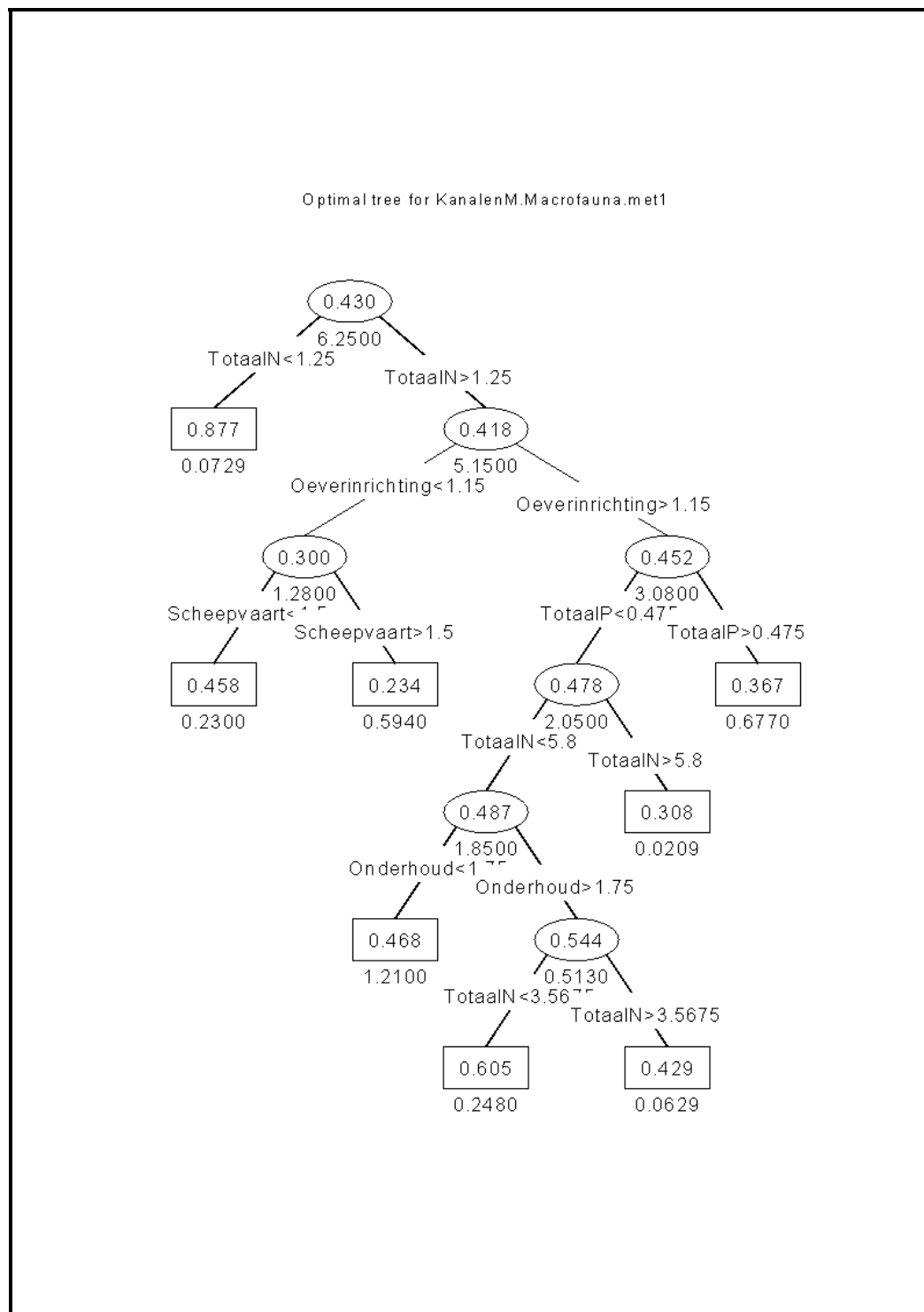
Figuur B2.67: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.68: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 205



Figuur B2.69: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 205



Regressieboom voor vissen, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **48%**.

```

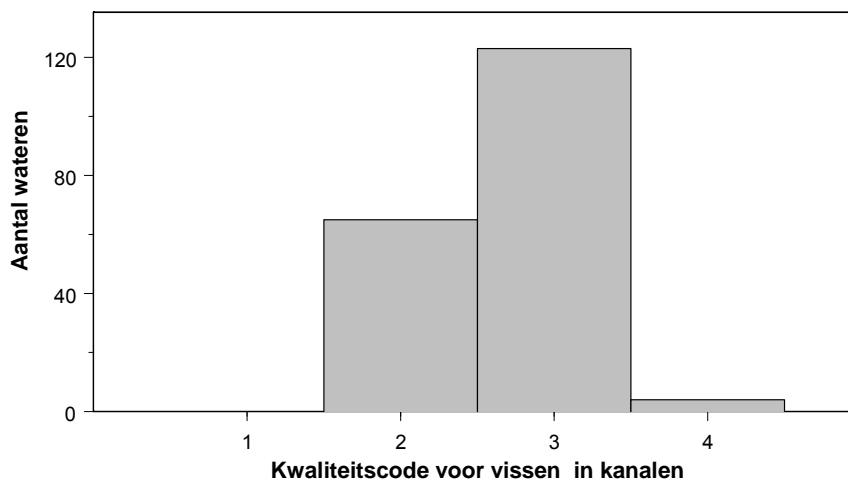
Regression tree:
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(6., 10., 7., 11.))
Variables actually used in tree construction:
[1] "TotaalN"          "Peilbeheer"       "Oeverinrichting"
Number of terminal nodes: 5
Residual mean deviance: 0.01938 = 3.877 / 200
Distribution of residuals:
      Min.      1st Qu.      Median      Mean      3rd Qu.      Max.
-4.036e-001 -9.466e-002 -7.449e-003  8.097e-017  5.678e-002  4.026e-001

[[2]]:
node), split, n, deviance, yval
  * denotes terminal node

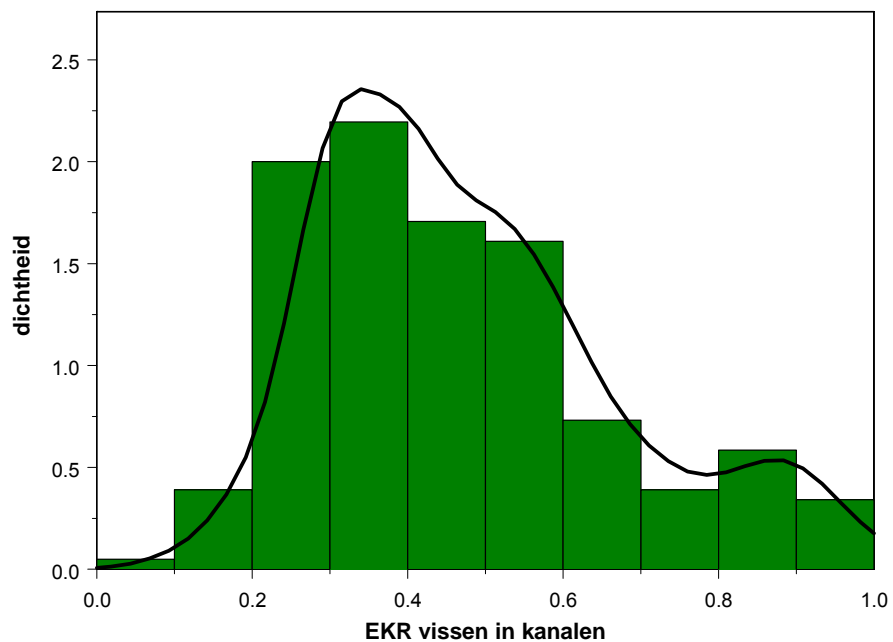
1) root 205 7.4910 0.4812
 2) TotaalN<2.89833 74 2.8730 0.6134
 4) TotaalN<1.25 5 0.0280 0.9200 *
 5) TotaalN>1.25 69 2.3410 0.5912
 10) Peilbeheer<1.75 22 0.7081 0.6936 *
 11) Peilbeheer>1.75 47 1.2940 0.5432 *
 3) TotaalN>2.89833 131 2.5940 0.4065
 6) Oeverinrichting<1.15 41 0.3422 0.2947 *
 7) Oeverinrichting>1.15 90 1.5050 0.4574 *

```

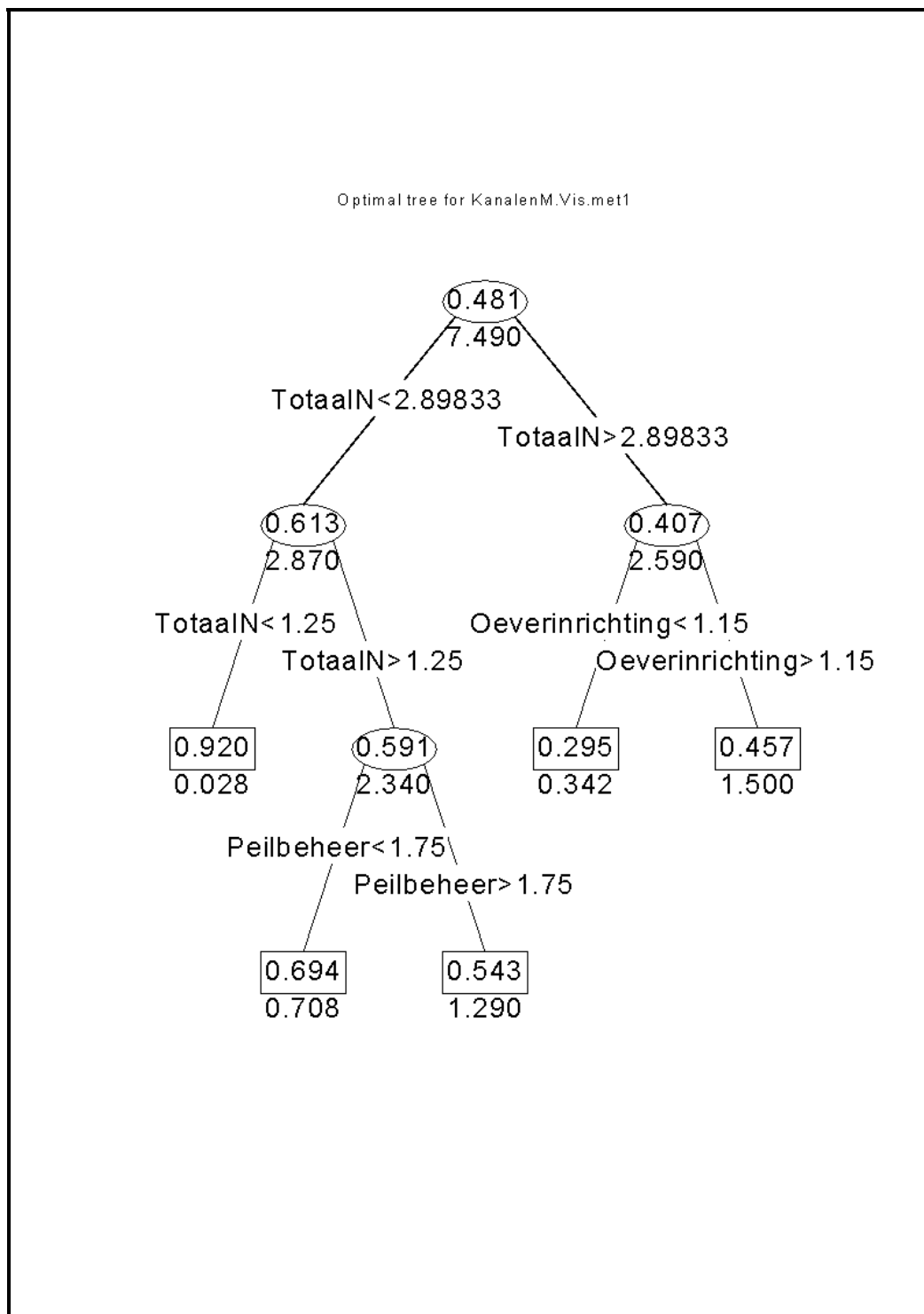
Figuur B2.70: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.71: EKR's voor vissen, alle codes, N= 205

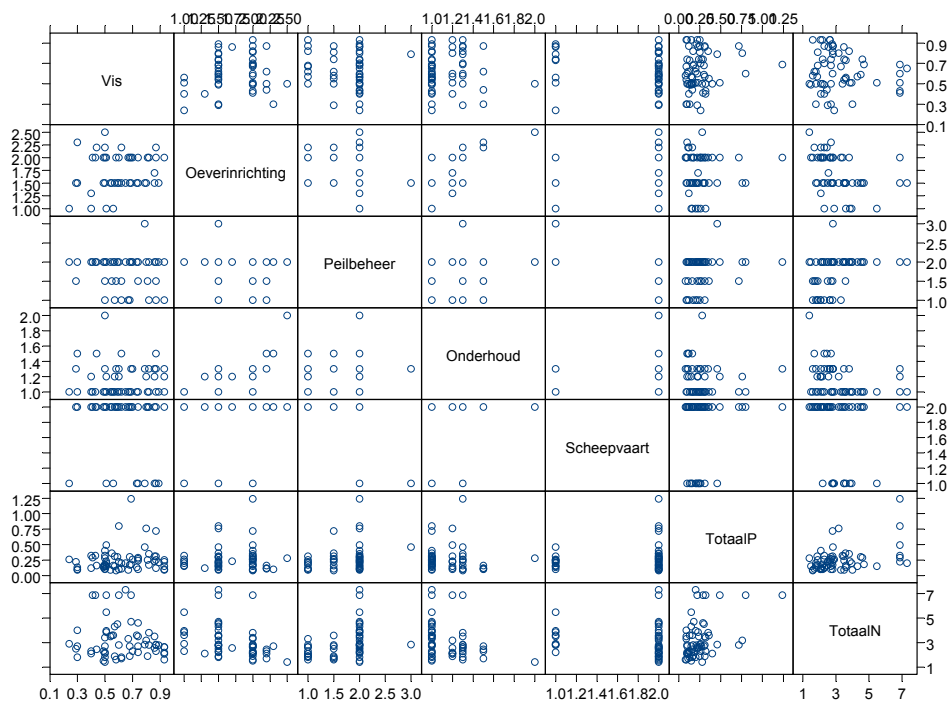


Figuur B2.72: EKR's voor vissen, alle codes, N= 205



Regressieboom voor vissen, codes 1 en 2

Figuur B2.73: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



*** Correlations for data in: KanalenMal2 ***

	Vis	Oeverinrichting	Peilbeheer	Onderhoud
Vis	1.00000000	0.24600471	-0.3024951494	0.0539474407
Oeverinrichting	0.24600471	1.00000000	-0.3043576194	0.4771077353
Peilbeheer	-0.30249515	-0.30435762	1.0000000000	-0.0007514131
Onderhoud	0.05394744	0.47710774	-0.0007514131	1.0000000000
Scheepvaart	-0.09203500	0.52740321	-0.3541708649	0.1387253900
TotaalP	0.14841817	0.01473477	0.2035090259	0.0269632983
TotaalN	-0.11182071	-0.16963357	0.3397827860	-0.2352852259

	Scheepvaart	TotaalP	TotaalN
Vis	-0.09203500	0.14841817	-0.11182071
Oeverinrichting	0.52740321	0.01473477	-0.16963357
Peilbeheer	-0.35417086	0.20350903	0.33978279
Onderhoud	0.13872539	0.02696330	-0.23528523
Scheepvaart	1.00000000	0.06589928	-0.05758929
TotaalP	0.06589928	1.00000000	0.43031345
TotaalN	-0.05758929	0.43031345	1.00000000

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **33%**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "Peilbeheer" "Oeverinrichting" "Scheepvaart"

Number of terminal nodes: 4

Residual mean deviance: 0.02394 = 1.46 / 61

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.990e-001	-8.900e-002	-9.000e-003	4.782e-017	1.010e-001	3.410e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

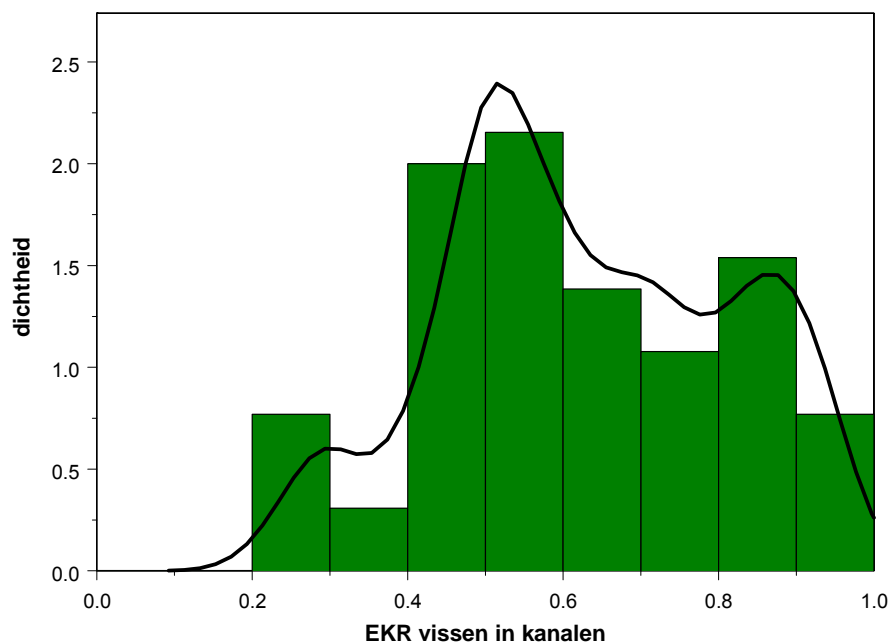
* denotes terminal node

```

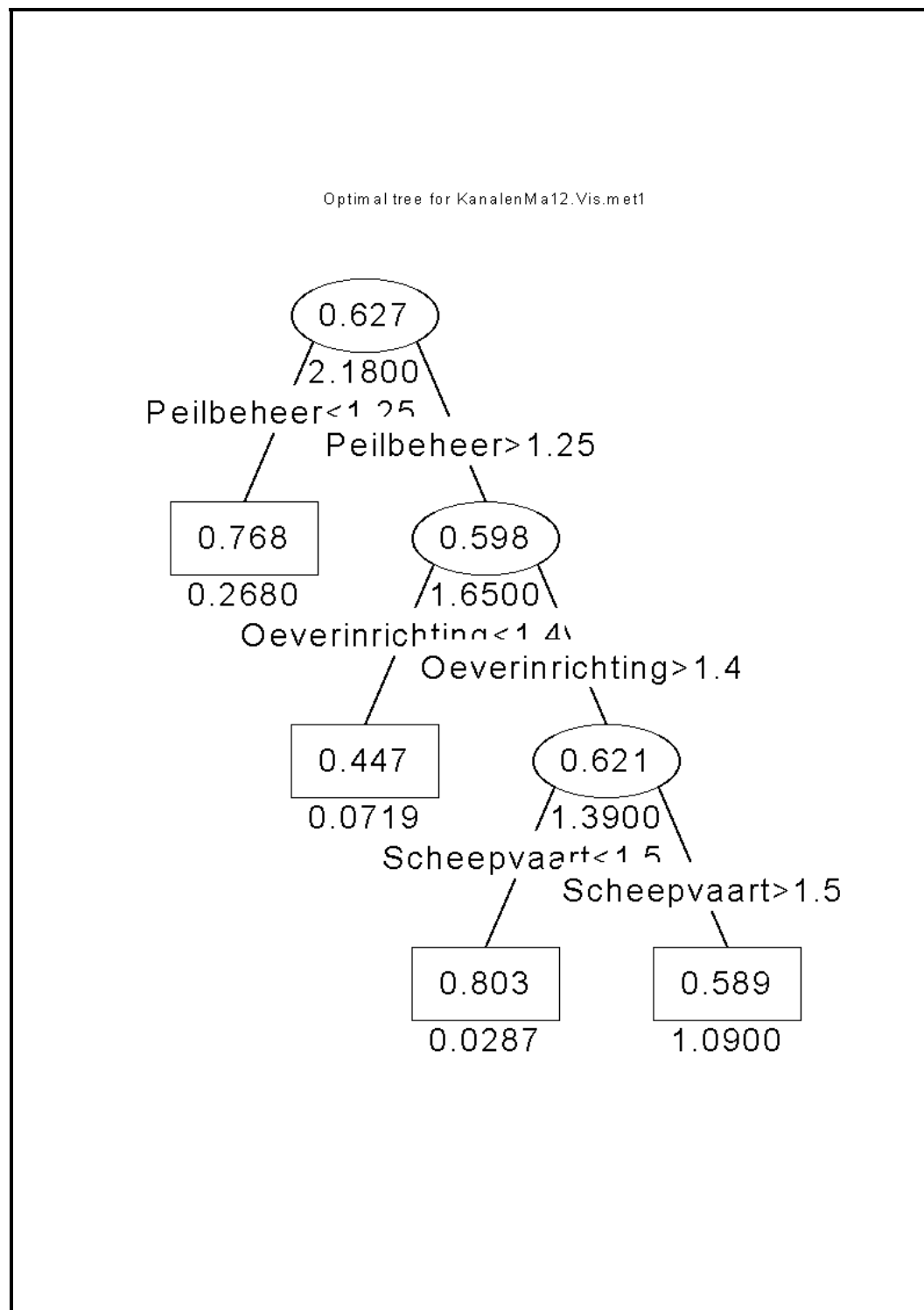
1) root 65 2.18000 0.6271
 2) Peilbeheer<1.25 11 0.26840 0.7682 *
 3) Peilbeheer>1.25 54 1.64800 0.5983
   6) Oeverinrichting<1.4 7 0.07194 0.4471 *
   7) Oeverinrichting>1.4 47 1.39200 0.6209
  14) Scheepvaart<1.5 7 0.02874 0.8029 *
  15) Scheepvaart>1.5 40 1.09100 0.5890 *

```

Figuur B2.74: EKR's voor vissen, codes 1 en 2, N= 65



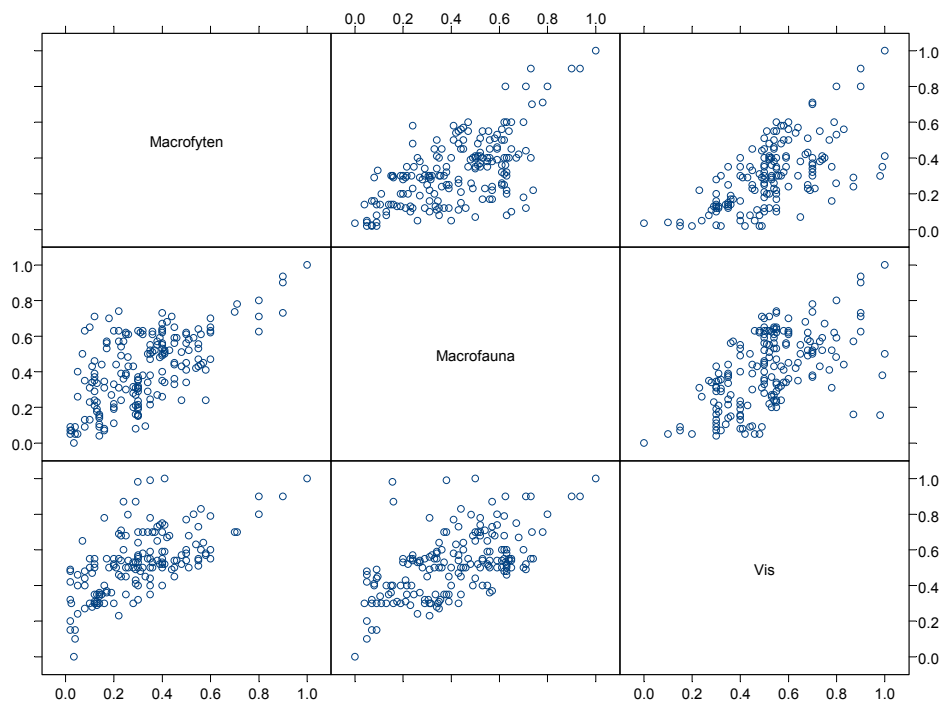
Figuur B2.75: EKR's voor vissen, codes 1 en 2, N= 65



ANALYSE SLOTEN (M01A/B, M02 EN M08)

Scatterplot-matrices

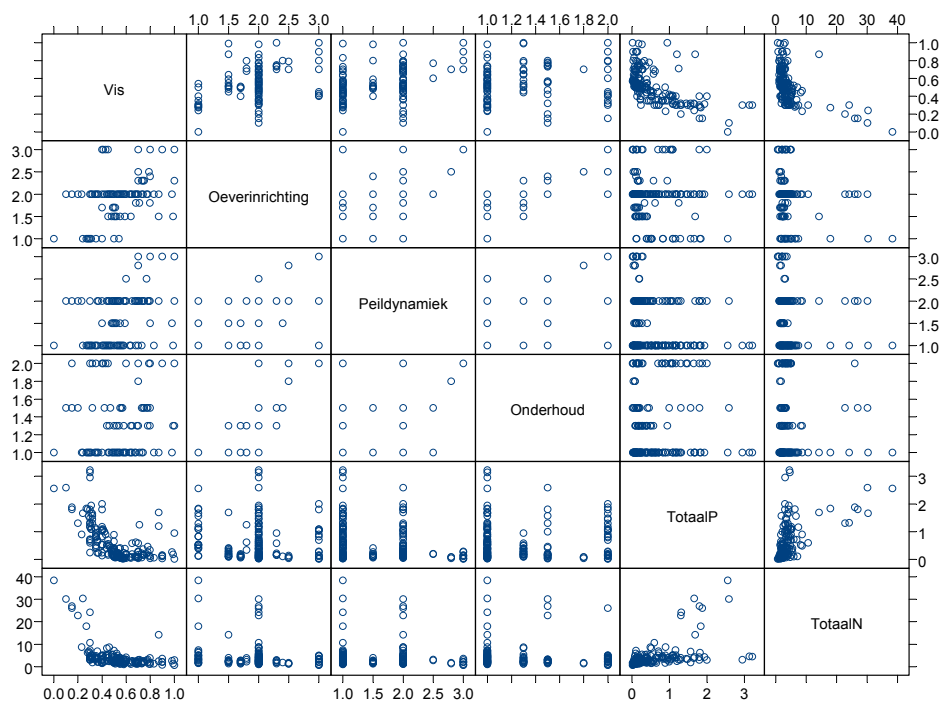
Figuur B2.76: Scatterplot-matrix voor drie kwaliteitselementen: macrofyten, macrofauna en vissen



*** Correlations for data in: SlotenM ***

	Macrofyten	Macrofauna	Vis
Macrofyten	1.000000	0.6436529	0.6434973
Macrofauna	0.6436529	1.000000	0.5721973
Vis	0.6434973	0.5721973	1.000000

Figuur B2.77: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



Regressieboom voor macrofyten, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **70 %**.

Regression tree:

snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(38., 39., 11., 41., 17.))

Number of terminal nodes: 11

Residual mean deviance: 0.01126 = 2.095 / 186

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-3.145e-001	-5.000e-002	-1.667e-003	-2.466e-017	6.500e-002	2.383e-001

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

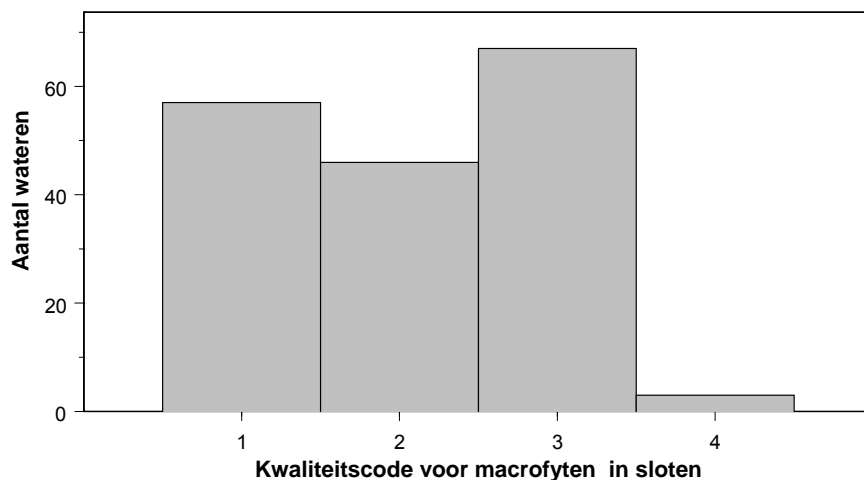
* denotes terminal node

```

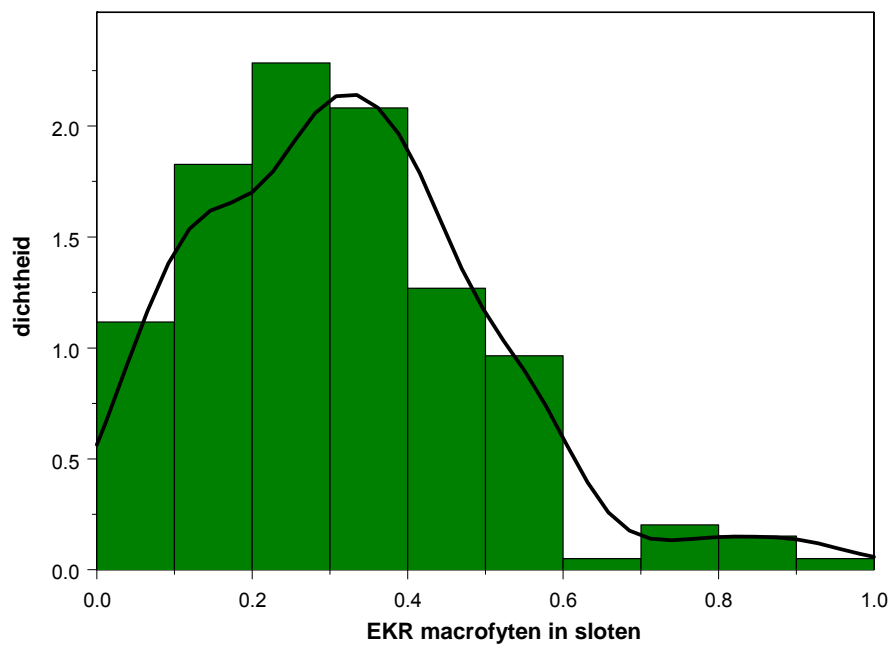
1) root 197 7.016000 0.3224
  2) Peildynamiek<2.9 188 4.466000 0.2979
    4) TotaalN<2.53125 88 1.798000 0.3833
      8) TotaalP<0.185 60 1.071000 0.4177
        16) Oeverinrichting<1.6 7 0.102800 0.2900 *
        17) Oeverinrichting>1.6 53 0.838900 0.4345 *
      9) TotaalP>0.185 28 0.504500 0.3096
        18) TotaalN<1.82292 7 0.005486 0.4186 *
        19) TotaalN>1.82292 21 0.388300 0.2733
          38) TotaalN<2.16 10 0.136800 0.2000 *
          39) TotaalN>2.16 11 0.148800 0.3400 *
    5) TotaalN>2.53125 100 1.462000 0.2228
      10) TotaalN<5.25 77 0.887600 0.2559
        20) TotaalP<1.0675 55 0.627700 0.2818
          40) Oeverinrichting<1.75 12 0.046100 0.1950 *
          41) Oeverinrichting>1.75 43 0.466000 0.3060 *
        21) TotaalP>1.0675 22 0.131500 0.1914
          42) Onderhoud<1.5 12 0.011770 0.1417 *
          43) Onderhoud>1.5 10 0.054490 0.2510 *
      11) TotaalN>5.25 23 0.206000 0.1117 *
    3) Peildynamiek>2.9 9 0.077420 0.8344 *

```

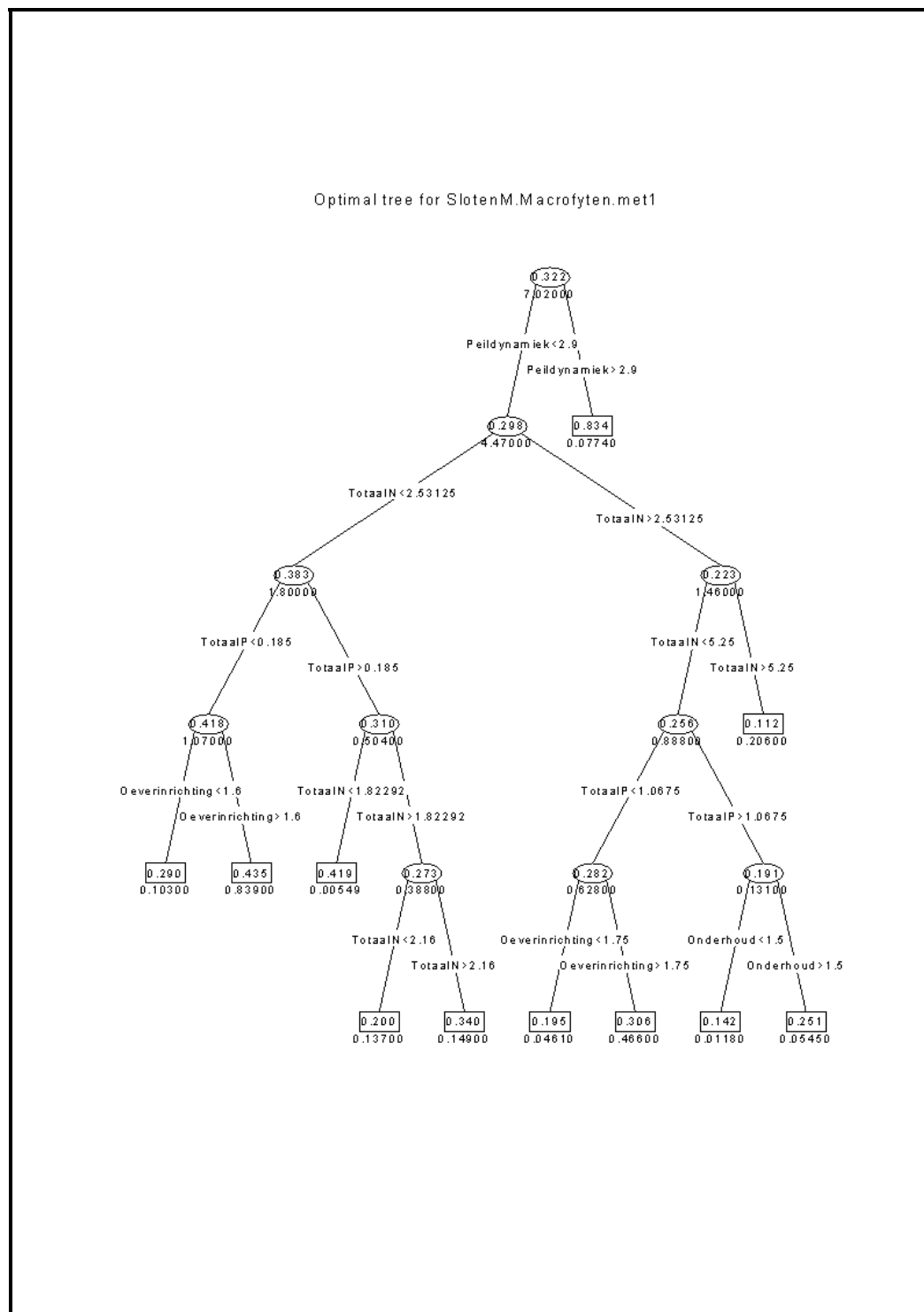
Figuur B2.78: Herkomst EKR's macrofyten



Figuur B2.79: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 197

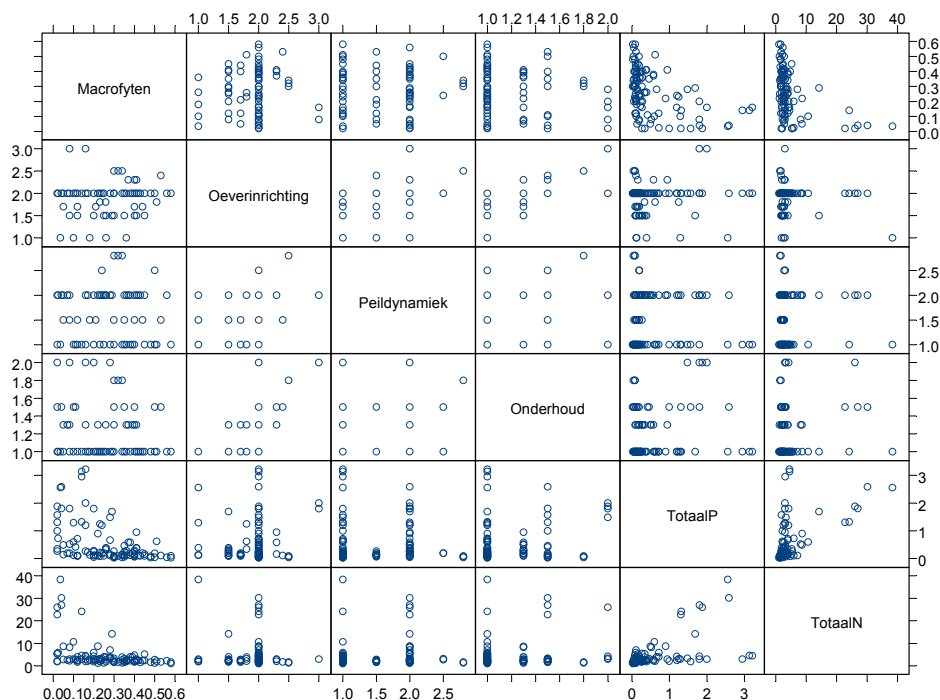


Figuur B2.80: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 197



Regressieboom voor macrofyten, codes 1 en 2

Figuur B2.81: Scatterplot-matrix voor macrofyten en alle stuurvariabelen



De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **43 %**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalN" "TotaalP"
```

Number of terminal nodes: 4

Residual mean deviance: 0.01295 = 1.282 / 99

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-2.759e-001	-6.900e-002	-5.854e-003	1.078e-018	8.127e-002	2.310e-001

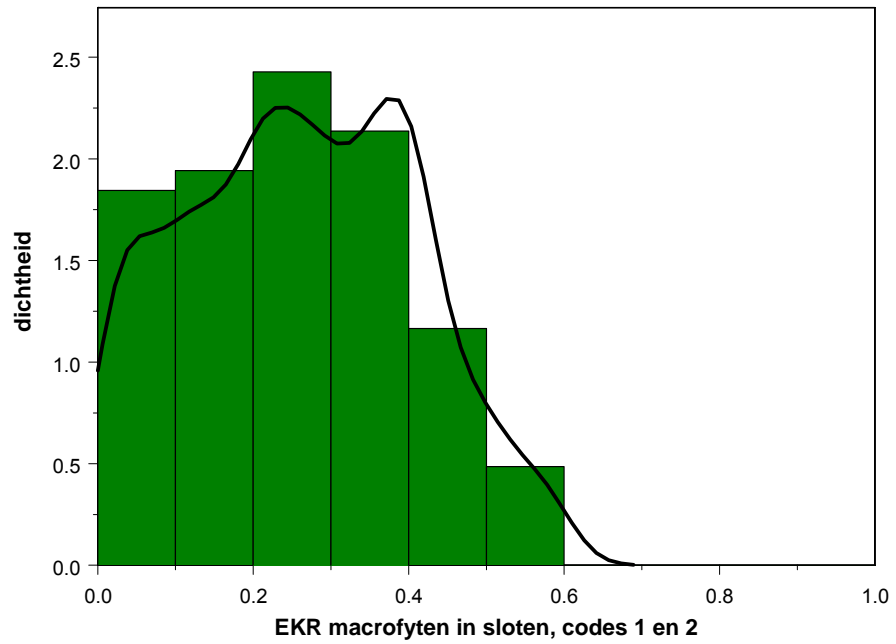
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

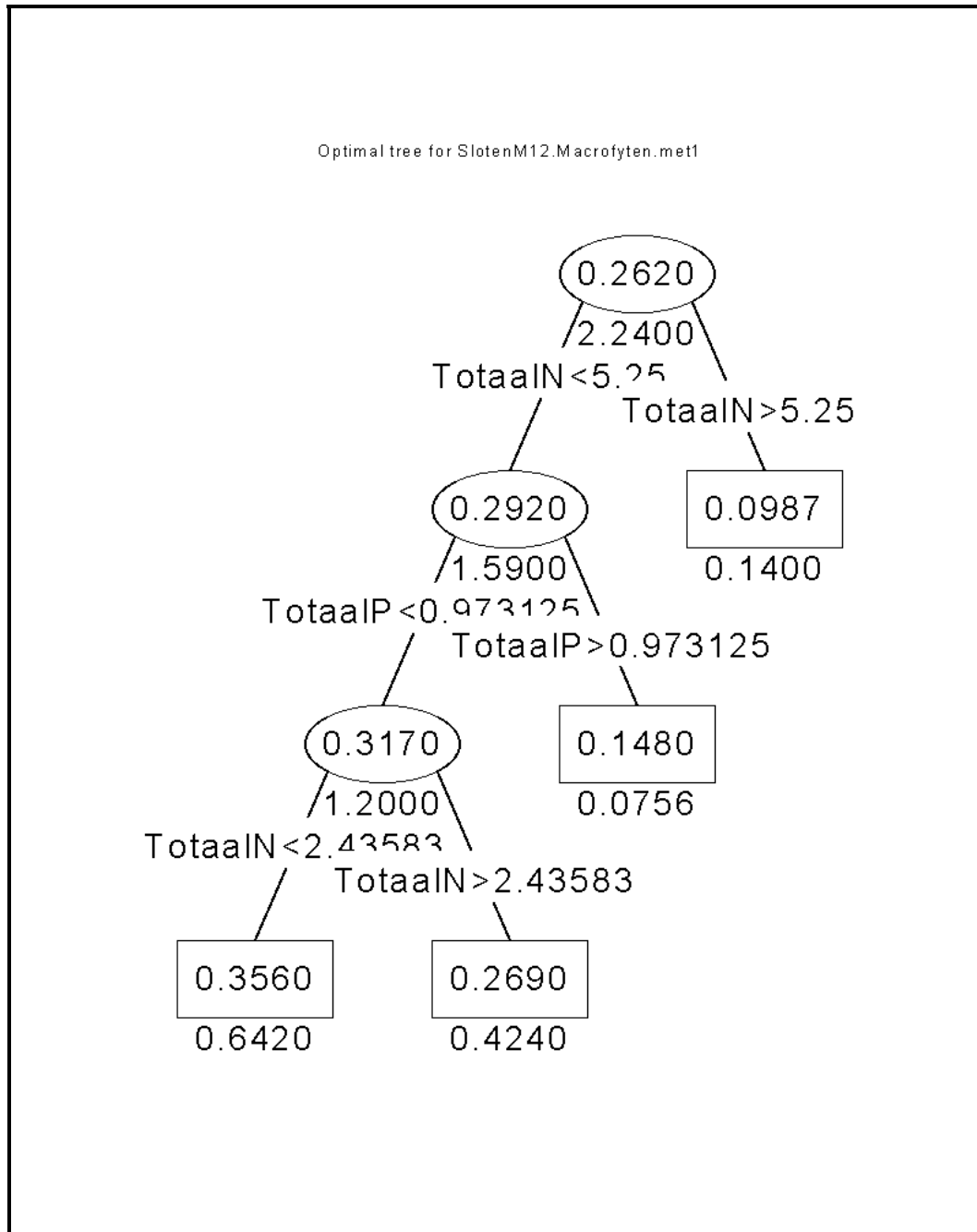
```
* denotes terminal node
```

- ```
1) root 103 2.23900 0.26190
 2) TotaalN<5.25 87 1.59400 0.29190
 4) TotaalP<0.973125 74 1.20400 0.31710
 8) TotaalN<2.43583 41 0.64200 0.35590 *
 9) TotaalN>2.43583 33 0.42410 0.26900 *
 5) TotaalP>0.973125 13 0.07557 0.14850 *
 3) TotaalN>5.25 16 0.14020 0.09869 *
```

Figuur B2.82: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 103



Figuur B2.83: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 103



## Regressieboom voor macrofauna, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **64%**.

```
Macrofauna ~ Oeverinrichting + Peildynamiek + Onderhoud + TotaalP +
 TotaalN
```

```
[1] "start pruning"
```

```
[1] "ready pruning"
```

```
[[1]]:
```

```
Regression tree:
```

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(12., 9., 5., 13., 16., 7.))
```

```
Variables actually used in tree construction:
```

```
[1] "TotaalN" "Onderhoud" "Peildynamiek" "TotaalP"
```

```
Number of terminal nodes: 7
```

```
Residual mean deviance: 0.01525 = 2.897 / 190
```

```
Distribution of residuals:
```

|  | Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|--|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
|  | -3.853e-001 | -8.389e-002 | 1.769e-003 | -1.138e-016 | 9.242e-002 | 3.246e-001 |

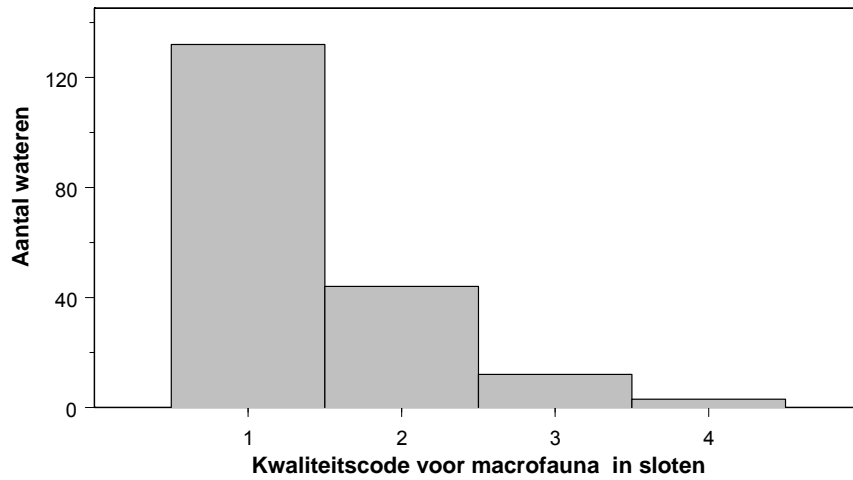
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

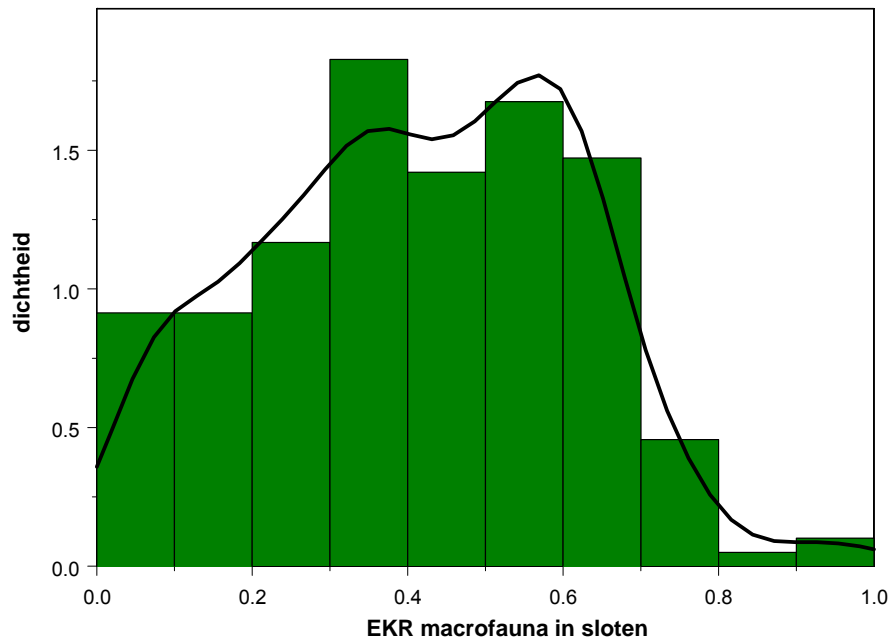
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 197 8.1200 0.4130
- 2) TotaalN<2.985 111 2.8850 0.5219
  - 4) Onderhoud<1.9 100 1.9430 0.4939
    - 8) Peildynamiek<1.25 36 0.7393 0.4096
      - 16) Onderhoud<1.4 31 0.4520 0.4376 \*
      - 17) Onderhoud>1.4 5 0.1123 0.2360 \*
    - 9) Peildynamiek>1.25 64 0.8045 0.5413 \*
  - 5) Onderhoud>1.9 11 0.1510 0.7764 \*
- 3) TotaalN>2.985 86 2.2210 0.2725
  - 6) TotaalP<0.47625 31 0.8416 0.3738
    - 12) Onderhoud<1.15 18 0.2524 0.2839 \*
    - 13) Onderhoud>1.15 13 0.2424 0.4982 \*
  - 7) TotaalP>0.47625 55 0.8824 0.2154 \*

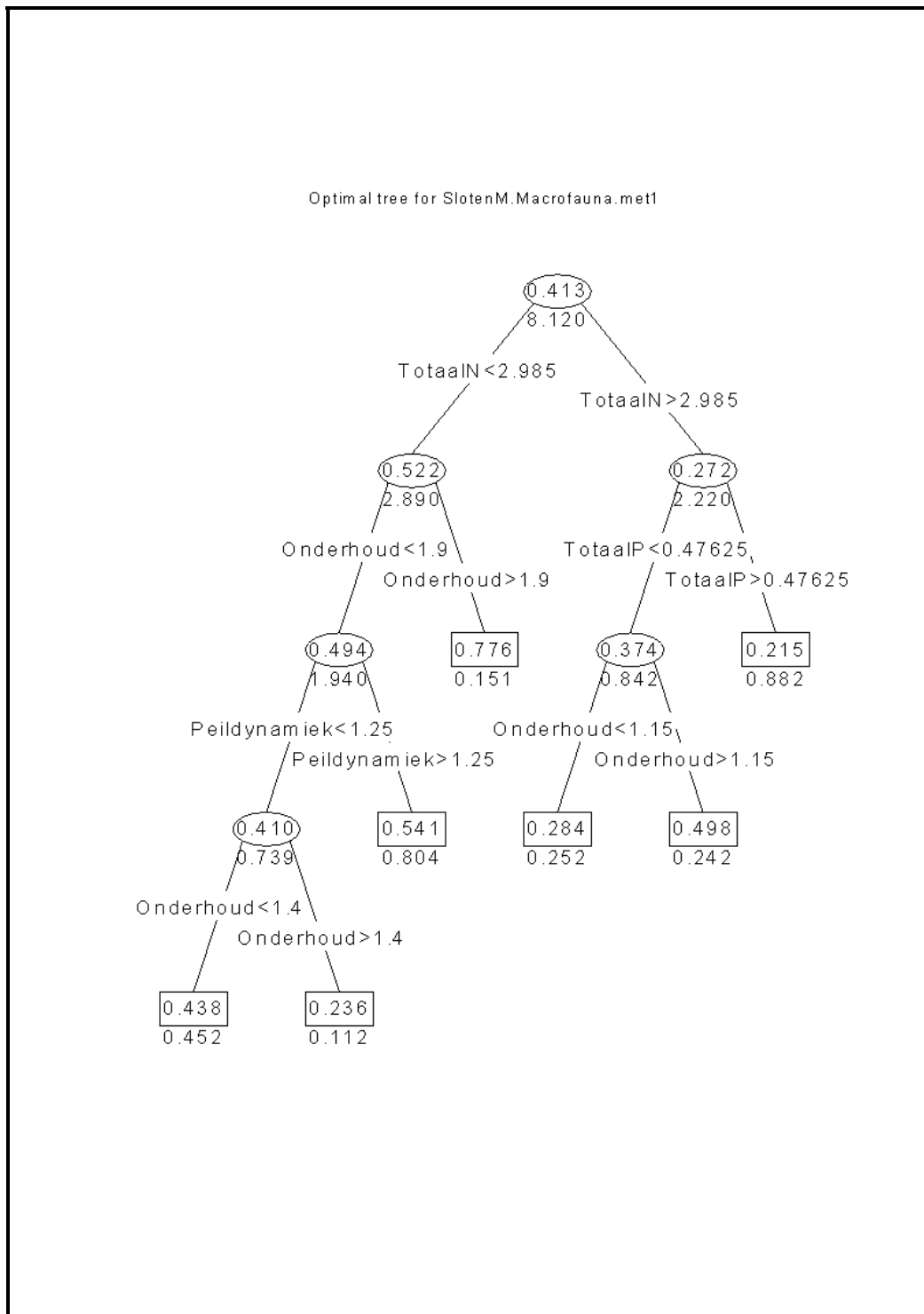
Figuur B2.84: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.85: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 197

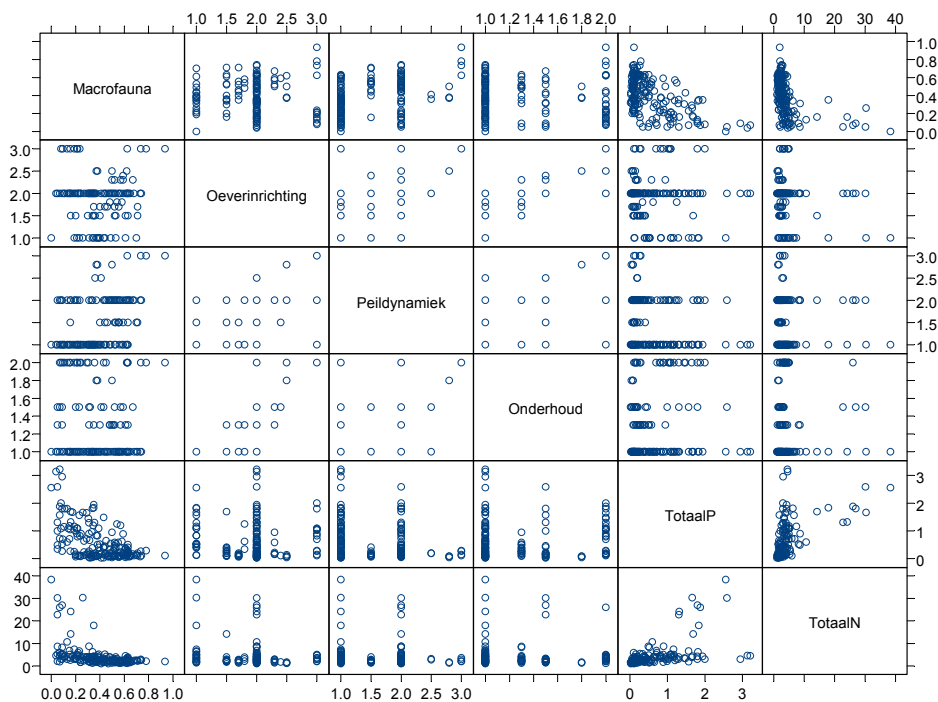


Figuur B2.86: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 197



## Regressieboom voor macrofauna, codes 1 en 2

Figuur B2.87: Scatterplot-matrix voor macrofauna en alle stuurvariabelen



\*\*\* Correlations for data in: SlotenMa12 \*\*\*

|                 | Macrofauna  | Oeverinrichting | Peildynamiek | Onderhoud   |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| Macrofauna      | 1.0000000   | -0.01877066     | 0.42155143   | -0.12823374 |
| Oeverinrichting | -0.01877066 | 1.0000000       | 0.40829436   | 0.60530833  |
| Peildynamiek    | 0.42155143  | 0.40829436      | 1.0000000    | 0.25383725  |
| Onderhoud       | -0.12823374 | 0.60530833      | 0.25383725   | 1.0000000   |
| TotaalP         | -0.57578263 | -0.05492044     | -0.28198294  | 0.17694282  |
| TotaalN         | -0.44900777 | -0.16213483     | -0.07058149  | 0.04788061  |

|                 | TotaalP     | TotaalN     |
|-----------------|-------------|-------------|
| Macrofauna      | -0.57578263 | -0.44900777 |
| Oeverinrichting | -0.05492044 | -0.16213483 |
| Peildynamiek    | -0.28198294 | -0.07058149 |
| Onderhoud       | 0.17694282  | 0.04788061  |
| TotaalP         | 1.0000000   | 0.54252794  |
| TotaalN         | 0.54252794  | 1.0000000   |



De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **59%**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalN" "Peildynamiek" "Onderhoud" "TotaalP"

Number of terminal nodes: 7

Residual mean deviance: 0.01647 = 2.783 / 169

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean       | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| -3.855e-001 | -9.270e-002 | 5.012e-003 | 4.731e-017 | 7.923e-002 | 4.236e-001 |

[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

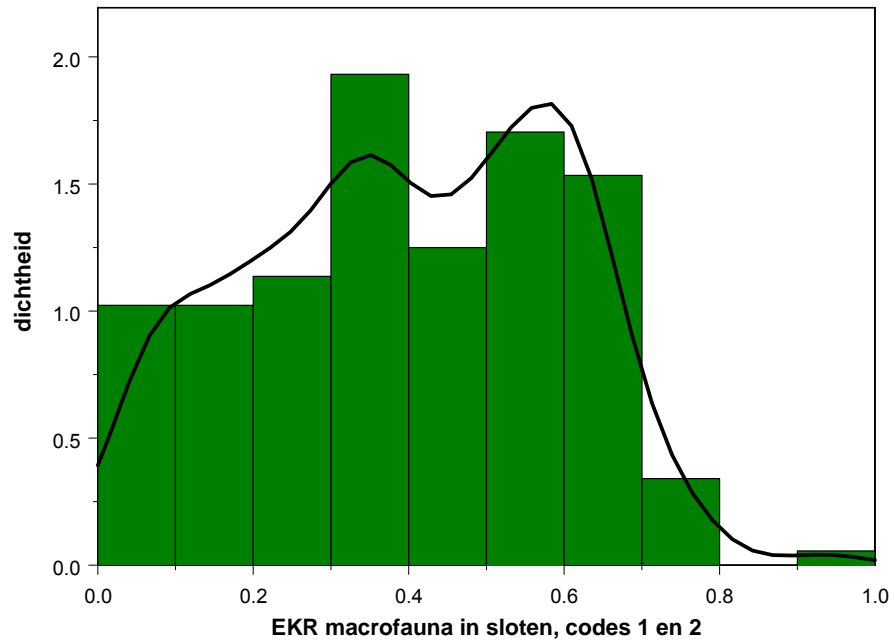
\* denotes terminal node

```

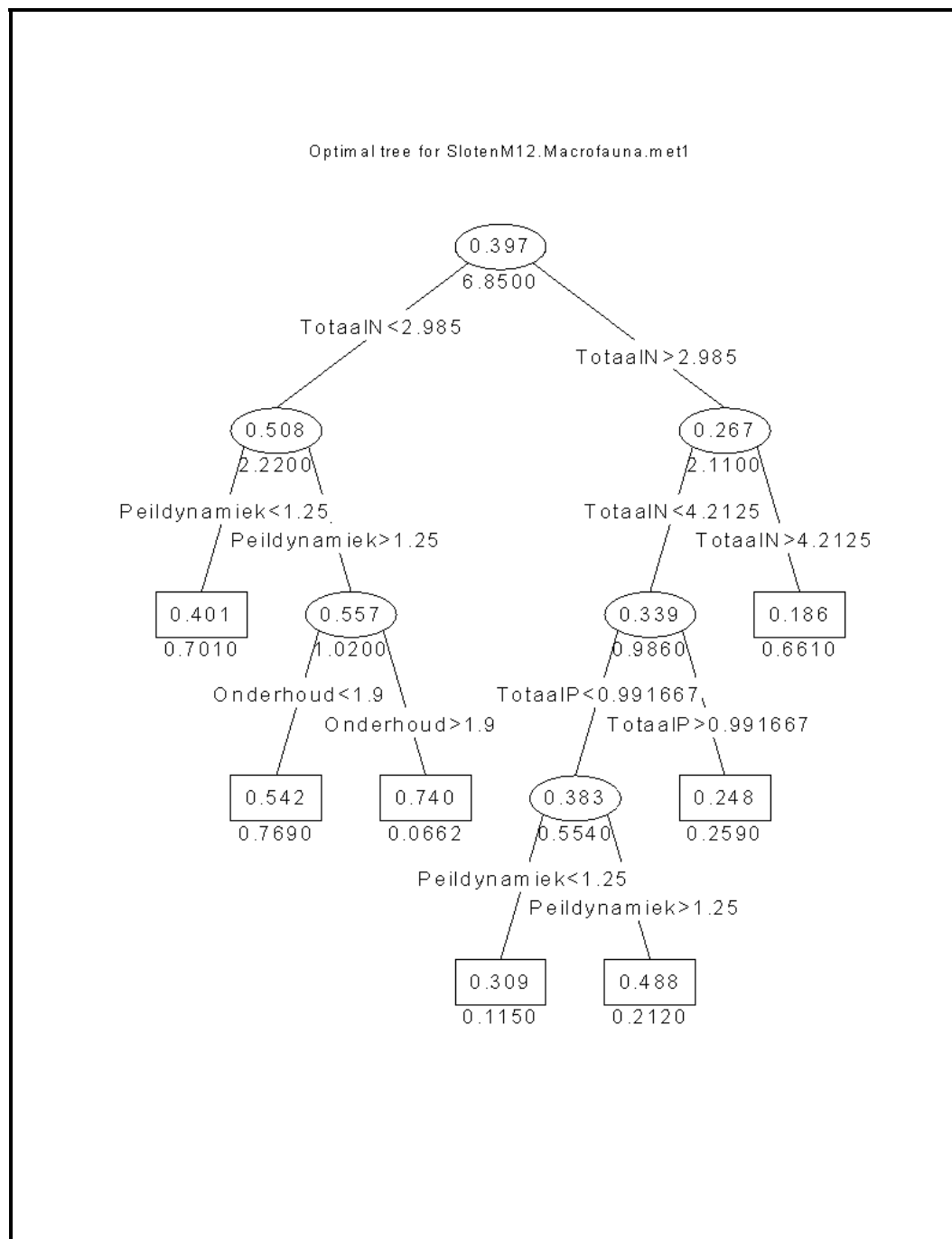
1) root 176 6.85400 0.3970
 2) TotaalN<2.985 95 2.21500 0.5076
 4) Peildynamiek<1.25 30 0.70070 0.4012 *
 5) Peildynamiek>1.25 65 1.01700 0.5568
 10) Onderhoud<1.9 60 0.76930 0.5415 *
 11) Onderhoud>1.9 5 0.06615 0.7400 *
 3) TotaalN>2.985 81 2.11400 0.2673
 6) TotaalN<4.2125 43 0.98550 0.3388
 12) TotaalP<0.991667 29 0.55390 0.3828
 24) Peildynamiek<1.25 17 0.11510 0.3085 *
 25) Peildynamiek>1.25 12 0.21190 0.4881 *
 13) TotaalP>0.991667 14 0.25900 0.2476 *
 7) TotaalN>4.2125 38 0.66060 0.1864 *

```

Figuur B2.88: EKR's voor macrofauna codes 1 en 2, N= 176



Figuur B2.89: EKR's voor macrofauna, alle codes 1 en 2, N= 176



## Regressieboom voor vissen

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **69%**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(39., 14., 5., 18.))
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.01039 = 1.944 / 187

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median      | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| -2.578e-001 | -4.744e-002 | -7.222e-003 | -6.819e-017 | 2.500e-002 | 5.226e-001 |

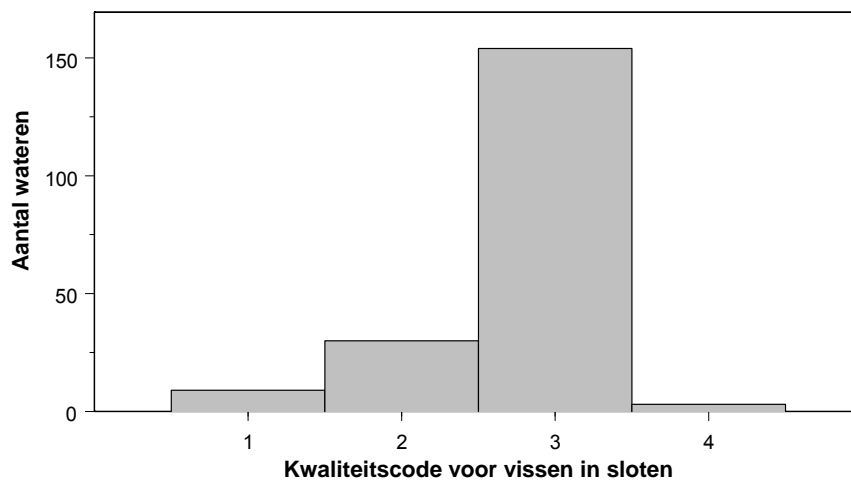
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

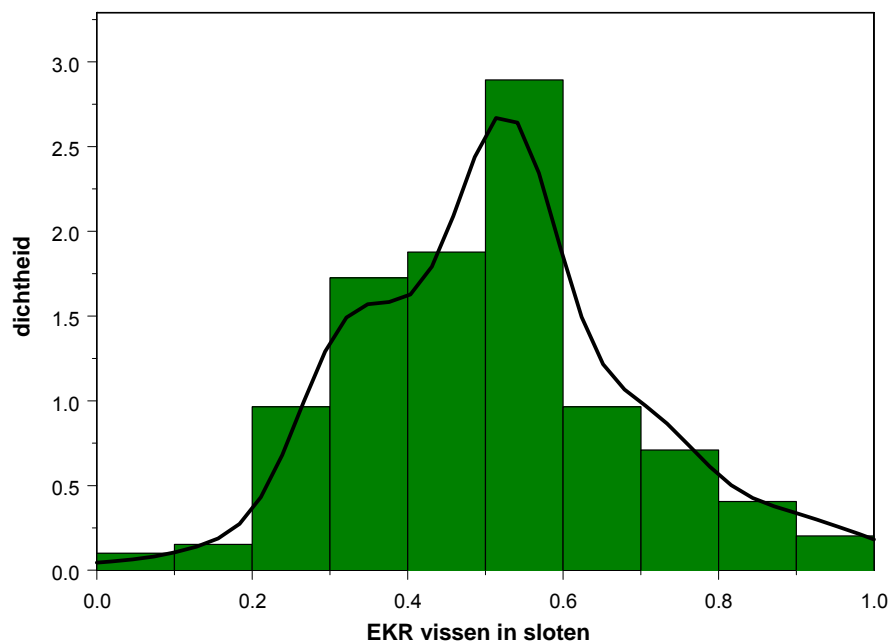
```
* denotes terminal node
```

```
1) root 197 6.19100 0.5186
 2) TotaalP<0.47625 129 2.33500 0.5916
 4) Oeverinrichting<2.15 111 1.29600 0.5583
 8) TotaalN<1.45 9 0.18560 0.6722 *
 9) TotaalN>1.45 102 0.98310 0.5482
 18) Onderhoud<1.15 77 0.63720 0.5314 *
 19) Onderhoud>1.15 25 0.25740 0.5999
 38) Peildynamiek<1.5 12 0.05530 0.5450 *
 39) Peildynamiek>1.5 13 0.13250 0.6506 *
 5) Oeverinrichting>2.15 18 0.15460 0.7972 *
 3) TotaalP>0.47625 68 1.86200 0.3800
 6) TotaalN<3.21458 20 0.70540 0.5130
 12) TotaalP<1.27 15 0.50430 0.5693
 24) TotaalN<2.16 6 0.01233 0.4367 *
 25) TotaalN>2.16 9 0.31600 0.6578 *
 13) TotaalP>1.27 5 0.01072 0.3440 *
 7) TotaalN>3.21458 48 0.65540 0.3246
 14) TotaalN<25.0667 43 0.40900 0.3474 *
 15) TotaalN>25.0667 5 0.03068 0.1280 *
```

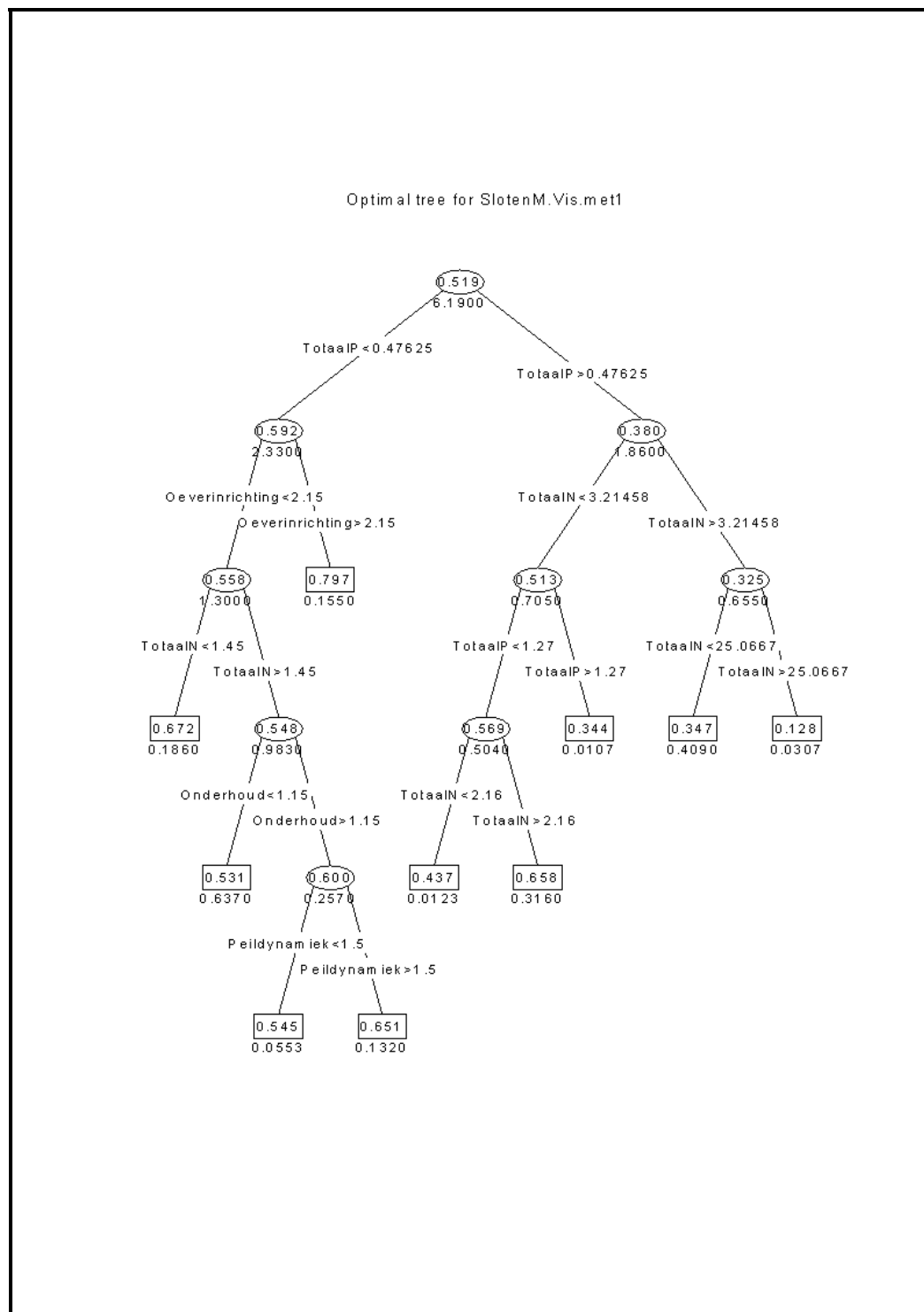
Figuur B2.90: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.91: EKR's voor vissen, alle codes, N= 197



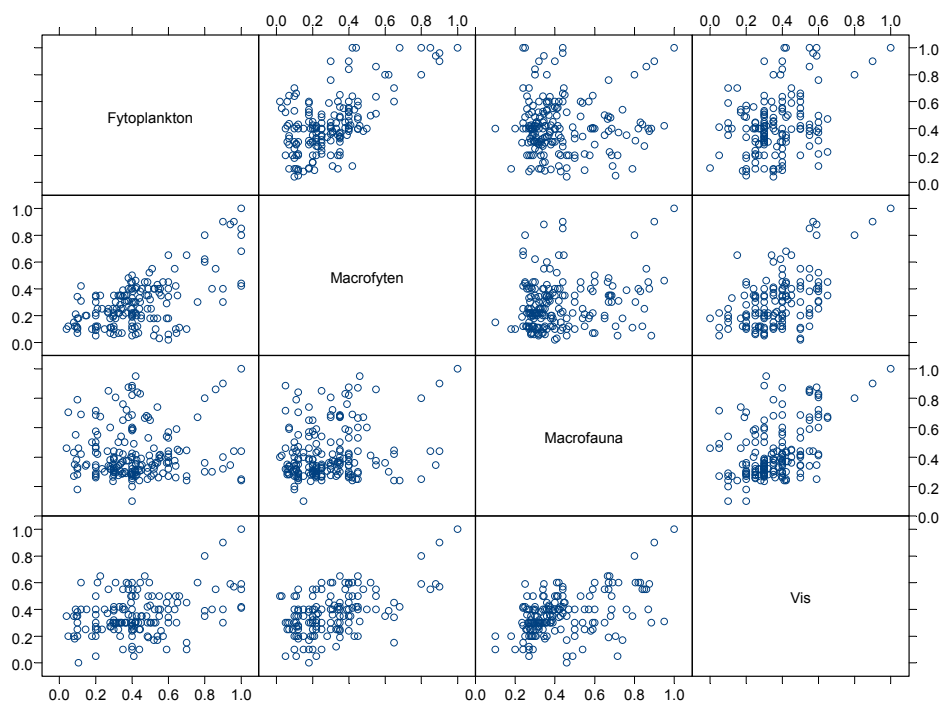
Figuur B2.92: EKR's voor vissen, alle codes, N= 197



## ANALYSE ZWAK BRAKKE WATEREN (M30)

### Scatterplot-matrices

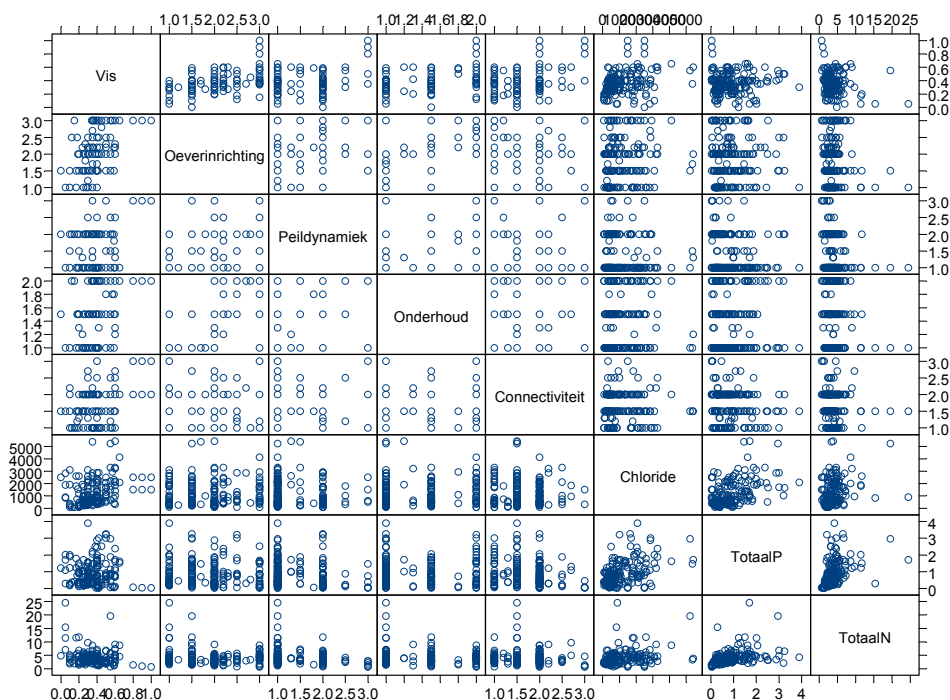
Figuur B2.93: Scatterplot-matrix voor vier kwaliteitselementen: fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen



\*\*\* Correlations for data in: M30a \*\*\*

|              | Fytoplankton | Macrofyten | Macrofauna | Vis       |
|--------------|--------------|------------|------------|-----------|
| Fytoplankton | 1.000000     | 0.6626504  | 0.1167157  | 0.4306104 |
| Macrofyten   | 0.6626504    | 1.000000   | 0.3262410  | 0.6201952 |
| Macrofauna   | 0.1167157    | 0.3262410  | 1.000000   | 0.5508414 |
| Vis          | 0.4306104    | 0.6201952  | 0.5508414  | 1.000000  |

Figuur B2.94: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



\*\*\* Correlations for data in: M30a \*\*\*

|                 | Vis          | Oeverinrichting | Peildynamiek | Onderhoud   |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|
| Vis             | 1.00000000   | 0.52487441      | 0.41188293   | 0.42638851  |
| Oeverinrichting | 0.524874413  | 1.00000000      | 0.45782977   | 0.80650577  |
| Peildynamiek    | 0.411882929  | 0.45782977      | 1.00000000   | 0.43491852  |
| Onderhoud       | 0.426388511  | 0.80650577      | 0.43491852   | 1.00000000  |
| Connectiviteit  | 0.258386816  | -0.14989177     | -0.06459345  | -0.15507743 |
| Chloride        | 0.341388556  | 0.13154781      | 0.02161135   | 0.16618733  |
| TotaalP         | 0.009069774  | -0.02340676     | -0.12448142  | 0.05038528  |
| TotaalN         | -0.200772303 | -0.13543591     | -0.18234544  | -0.04900775 |

|                 | Connectiviteit | Chloride    | TotaalP      | TotaalN     |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|
| Vis             | 0.25838682     | 0.34138856  | 0.009069774  | -0.20077230 |
| Oeverinrichting | -0.14989177    | 0.13154781  | -0.023406758 | -0.13543591 |
| Peildynamiek    | -0.06459345    | 0.02161135  | -0.124481417 | -0.18234544 |
| Onderhoud       | -0.15507743    | 0.16618733  | 0.050385276  | -0.04900775 |
| Connectiviteit  | 1.00000000     | -0.06699804 | -0.187624895 | -0.09103101 |
| Chloride        | -0.06699804    | 1.00000000  | 0.498092578  | 0.30821508  |
| TotaalP         | -0.18762489    | 0.49809258  | 1.000000000  | 0.41876101  |
| TotaalN         | -0.09103101    | 0.30821508  | 0.418761007  | 1.00000000  |



## Regressieboom voor fytoplankton, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **43%**.

```
f.ART(M30a, "M30", "Fytoplankton", explana, 1, 10, 5, 0, 0, 0)
Fytoplankton ~ Oeverinrichting + Peildynamiek + Onderhoud + Connectiviteit +
 Chloride + TotaalP + TotaalN
[1] "start pruning"
[1] "ready pruning"
[[1]]:
```

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(6., 7.))
Variables actually used in tree construction:
```

```
[1] "TotaalP" "TotaalN"
```

```
Number of terminal nodes: 3
```

```
Residual mean deviance: 0.02703 = 5.38 / 199
```

```
Distribution of residuals:
```

|  | Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|--|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
|  | -3.312e-001 | -1.026e-001 | 4.281e-003 | -1.407e-016 | 7.377e-002 | 5.288e-001 |

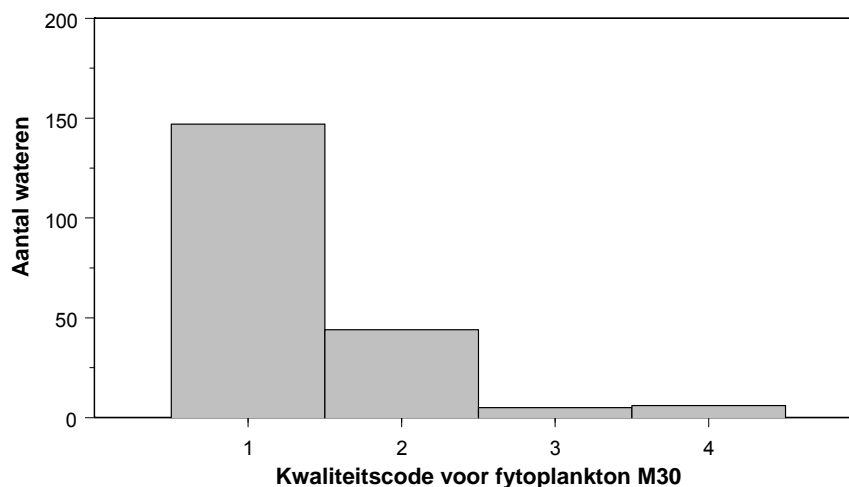
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

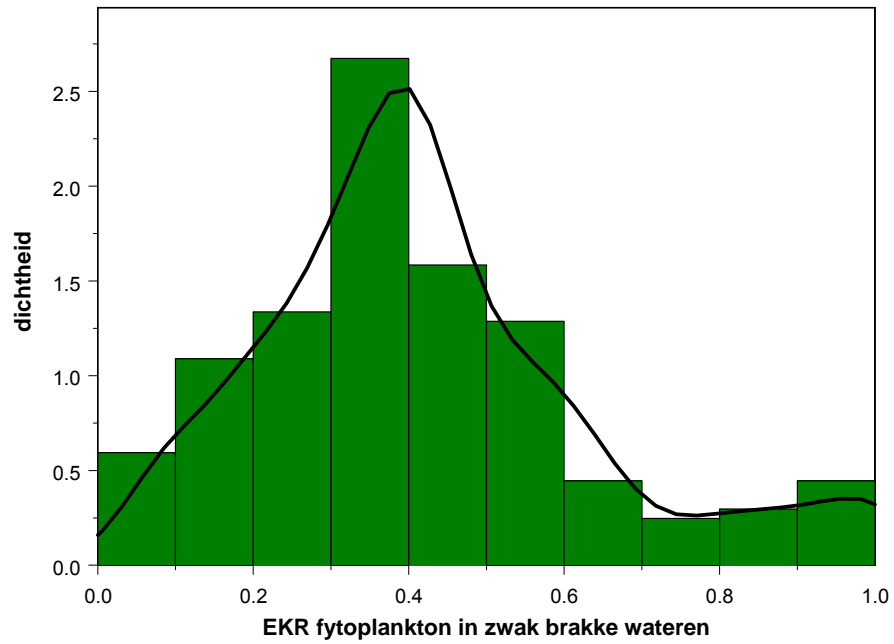
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 202 9.37700 0.4250
- 2) TotaalP<0.100595 13 0.08671 0.9338 \*
- 3) TotaalP>0.100595 189 5.69200 0.3900
- 6) TotaalN<2.3125 27 0.72350 0.5026 \*
- 7) TotaalN>2.3125 162 4.56900 0.3712 \*

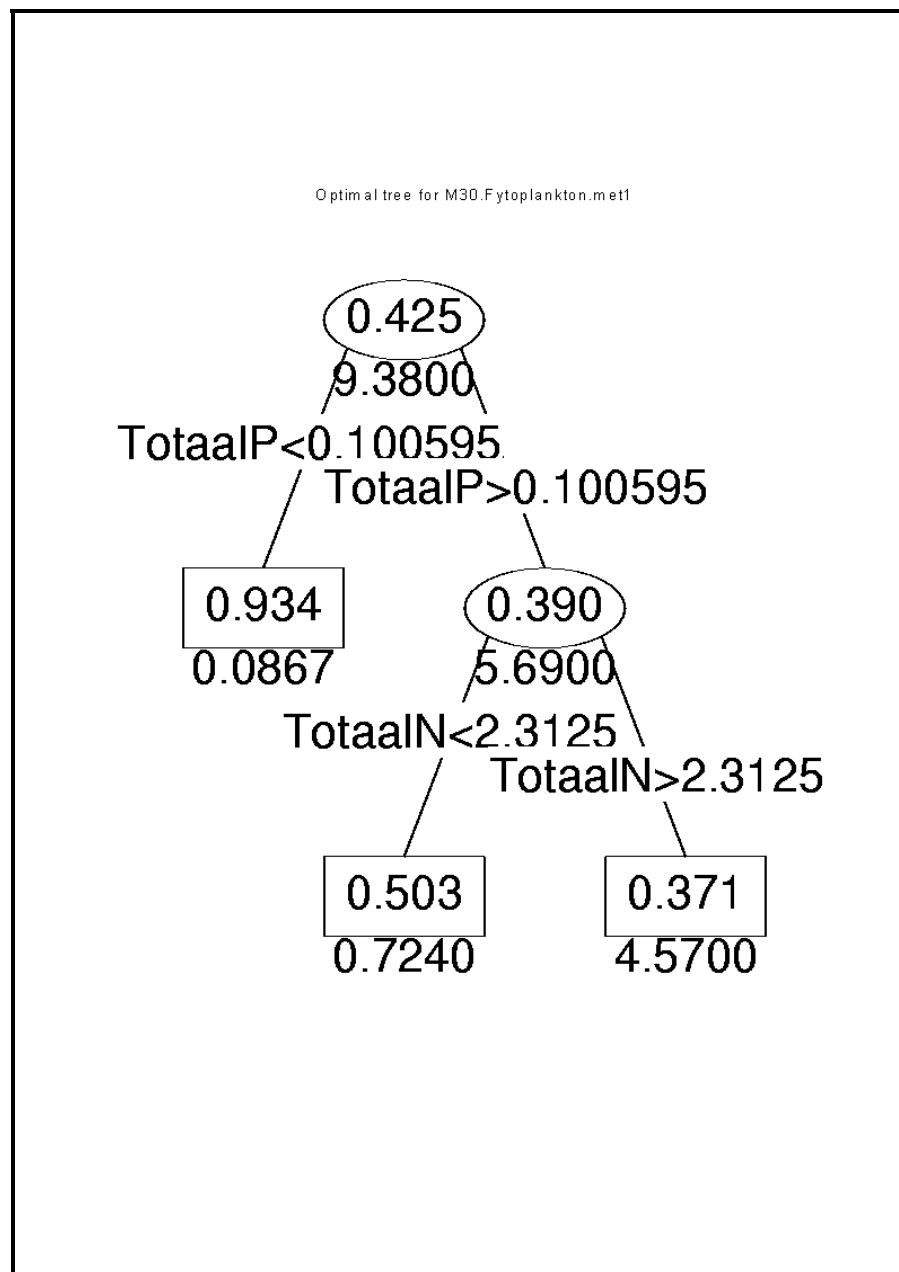
**Figuur B2.95: Herkomst EKR's fytoplankton**



Figuur B2.96: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=202



Figuur B2.97: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=202



## Regressieboom voor macrofyten, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **69%**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(31., 12., 13., 119., 57., 118., 56.,
 30.))
```

Number of terminal nodes: 11

Residual mean deviance: 0.01255 = 2.397 / 191

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median      | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| -2.410e-001 | -6.367e-002 | -1.643e-002 | -2.885e-017 | 5.905e-002 | 4.643e-001 |

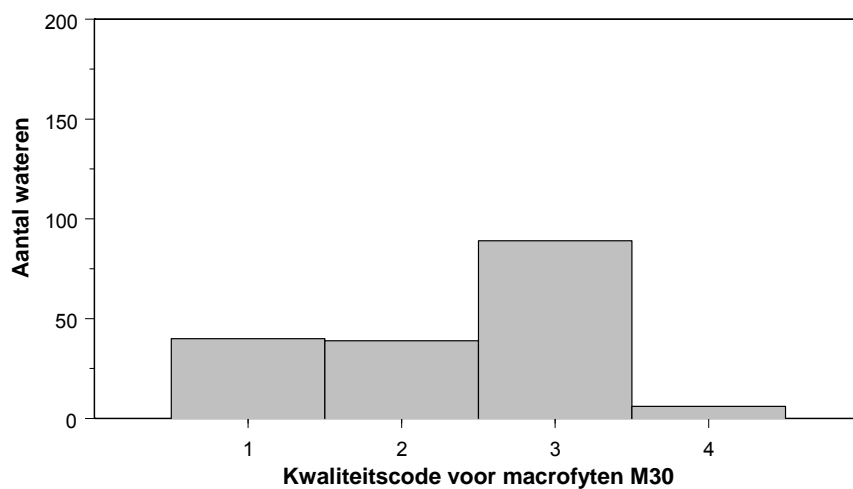
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

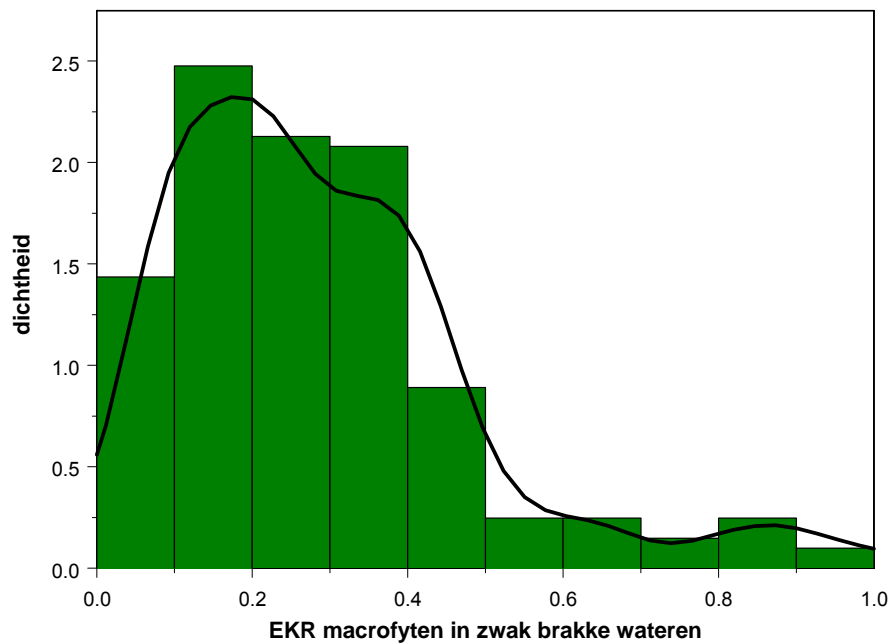
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 202 7.76100 0.2916
  - 2) TotaalP<0.100595 13 0.42230 0.7762
    - 4) Onderhoud<1.65 6 0.16000 0.6350 \*
    - 5) Onderhoud>1.65 7 0.04034 0.8971 \*
  - 3) TotaalP>0.100595 189 4.07600 0.2583
    - 6) Oeverinrichting<1.35 49 0.35550 0.1524
      - 12) TotaalN<3.00417 19 0.10760 0.2137 \*
      - 13) TotaalN>3.00417 30 0.13150 0.1137 \*
    - 7) Oeverinrichting>1.35 140 2.98000 0.2953
      - 14) Onderhoud<1.65 107 1.77700 0.2655
        - 28) Connectiviteit<1.75 47 0.59430 0.2243
          - 56) Peildynamiek<1.75 33 0.34900 0.2539 \*
          - 57) Peildynamiek>1.75 14 0.14770 0.1543 \*
        - 29) Connectiviteit>1.75 60 1.04000 0.2978
          - 58) TotaalP<0.323333 8 0.04969 0.4188 \*
          - 59) TotaalP>0.323333 52 0.85500 0.2792
            - 118) Chloride<997 31 0.41500 0.2374 \*
            - 119) Chloride>997 21 0.30580 0.3410 \*
    - 15) Onderhoud>1.65 33 0.80130 0.3918
      - 30) TotaalN<4.60833 21 0.46230 0.4357 \*
      - 31) TotaalN>4.60833 12 0.22770 0.3150 \*

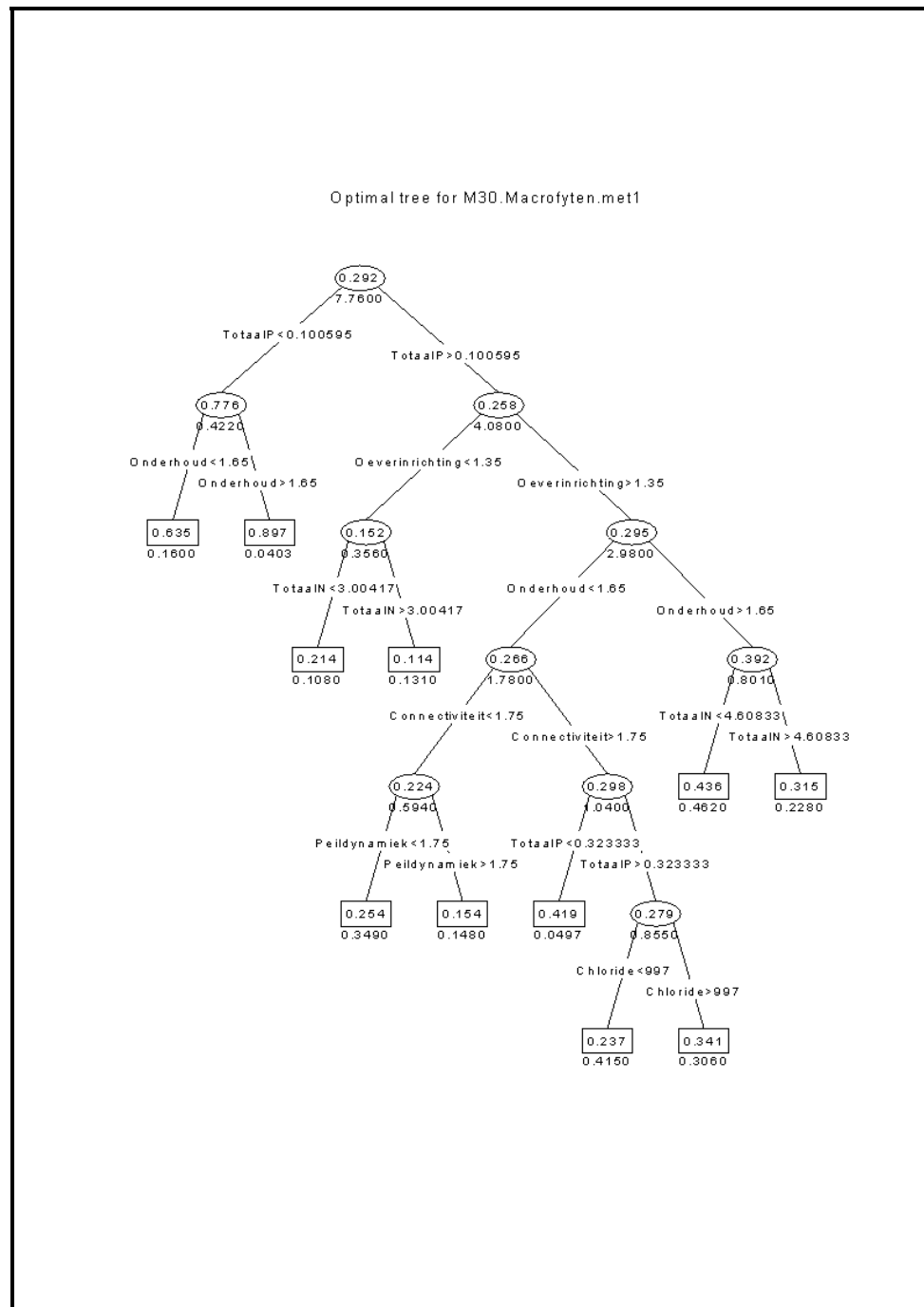
**Figuur B2.98: Herkomst EKR's macrofyten**



**Figuur B2.99: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=202**

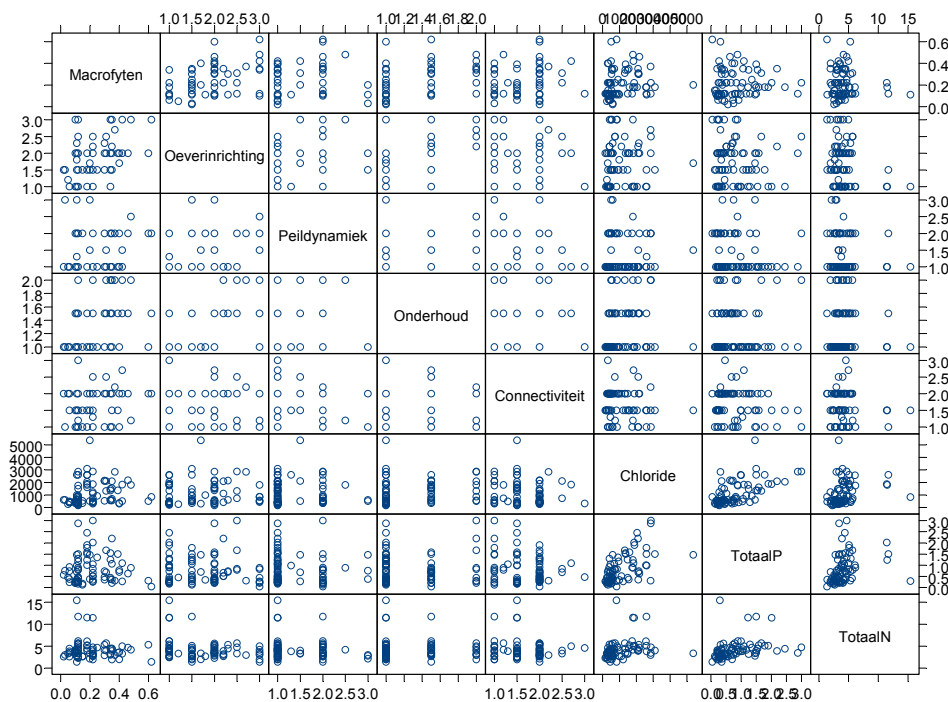


Figuur B2.100: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=202



## Regressieboom voor macrofyten, codes 1 en 2

Figuur B2.101: Scatterplot-matrix voor macrofyten en alle stuurvariabelen



\*\*\* Correlations for data in: M30a12 \*\*\*

|                 | Macrofyten  | Oeverinrichting | Peildynamiek | Onderhoud   |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| Macrofyten      | 1.0000000   | 0.47092081      | 0.09893887   | 0.42491419  |
| Oeverinrichting | 0.47092081  | 1.0000000       | 0.36772680   | 0.75792346  |
| Peildynamiek    | 0.09893887  | 0.36772680      | 1.0000000    | 0.24815813  |
| Onderhoud       | 0.42491419  | 0.75792346      | 0.24815813   | 1.0000000   |
| Connectiviteit  | 0.15536666  | -0.16217081     | -0.31740835  | -0.15481332 |
| Chloride        | 0.17220863  | 0.06444722      | -0.01696795  | 0.20139662  |
| TotaalP         | 0.02770259  | -0.04204591     | -0.11061803  | 0.07908431  |
| TotaalN         | -0.09103414 | -0.22296420     | -0.10666820  | -0.01142813 |

|                 | Connectiviteit | Chloride    | TotaalP     | TotaalN     |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Macrofyten      | 0.1553667      | 0.17220863  | 0.02770259  | -0.09103414 |
| Oeverinrichting | -0.1621708     | 0.06444722  | -0.04204591 | -0.22296420 |
| Peildynamiek    | -0.3174083     | -0.01696795 | -0.11061803 | -0.10666820 |
| Onderhoud       | -0.1548133     | 0.20139662  | 0.07908431  | -0.01142813 |
| Connectiviteit  | 1.0000000      | -0.16675112 | -0.18064628 | -0.11602465 |
| Chloride        | -0.1667511     | 1.0000000   | 0.60338848  | 0.26560073  |
| TotaalP         | -0.1806463     | 0.60338848  | 1.0000000   | 0.29893723  |
| TotaalN         | -0.1160246     | 0.26560073  | 0.29893723  | 1.0000000   |

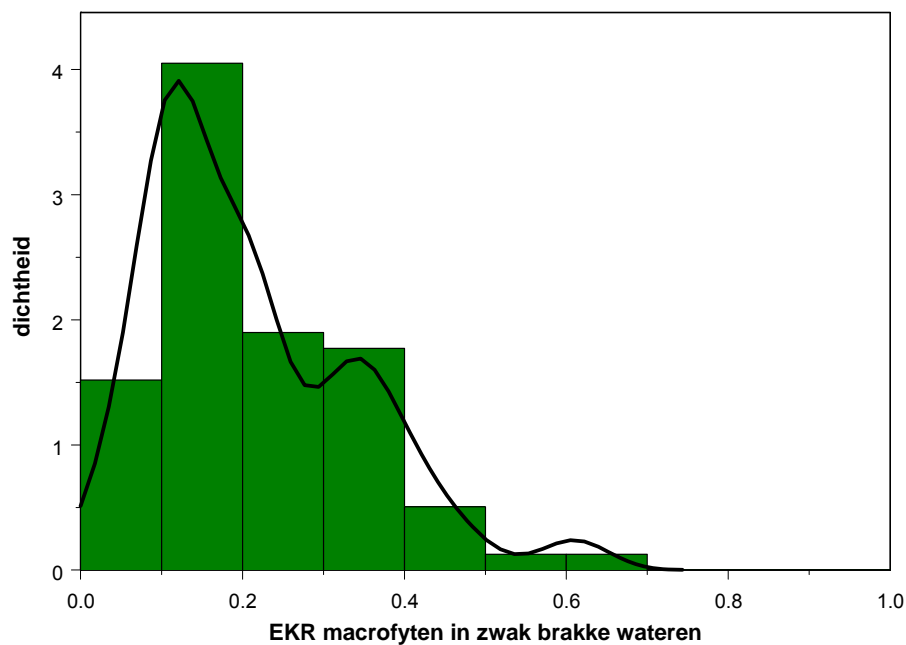
De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **35%**.

```
[1] "Oeverinrichting" "Connectiviteit" "Peildynamiek"
Number of terminal nodes: 4
Residual mean deviance: 0.01136 = 0.8523 / 75
Distribution of residuals:
 Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
-3.013e-001 -9.590e-002 -2.800e-002 -4.567e-018 6.410e-002 2.568e-001

[[2]]:
node), split, n, deviance, yval
 * denotes terminal node

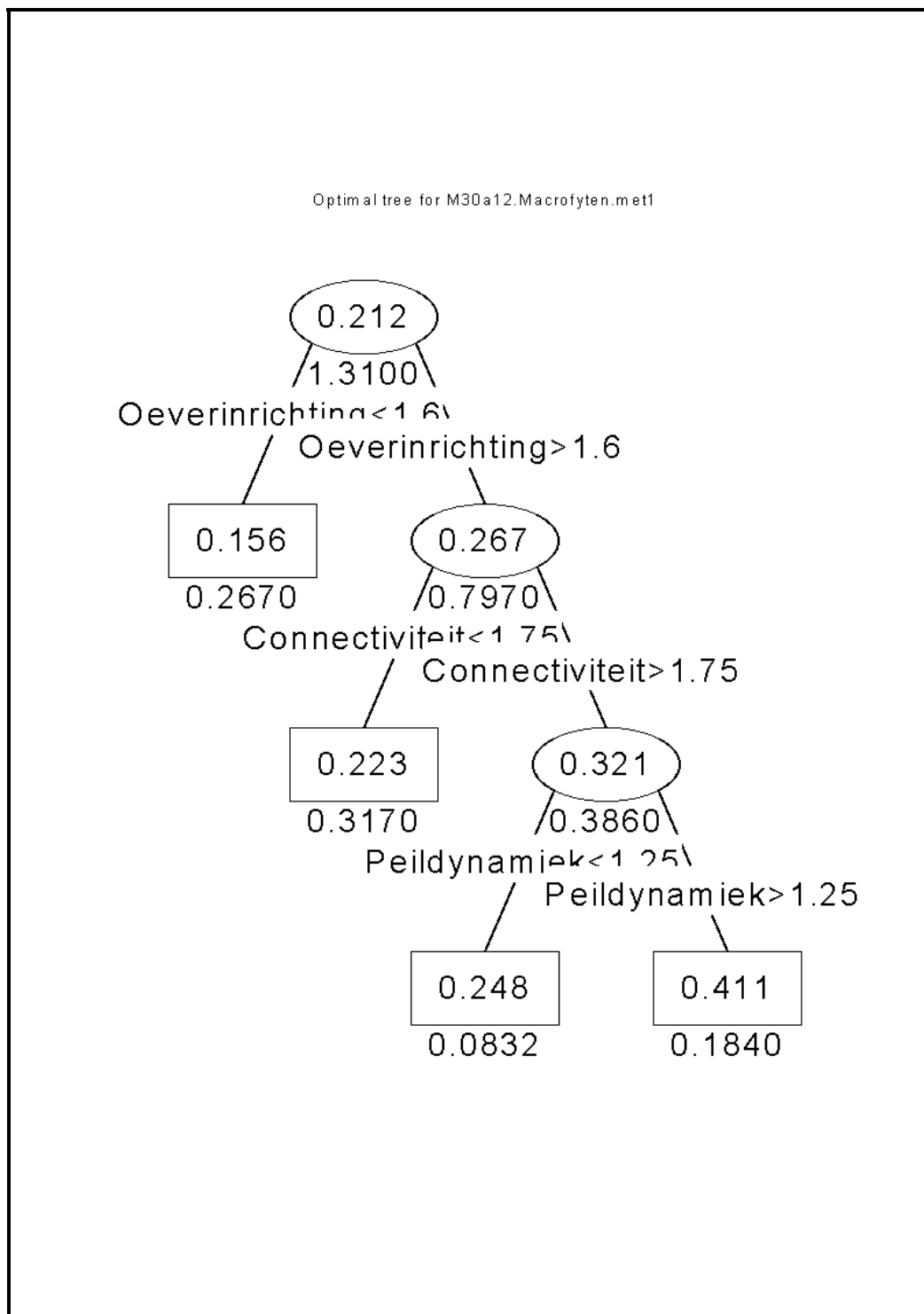
1) root 79 1.30800 0.2122
 2) Oeverinrichting<1.6 39 0.26710 0.1559 *
 3) Oeverinrichting>1.6 40 0.79740 0.2670
 6) Connectiviteit<1.75 22 0.31750 0.2232 *
 7) Connectiviteit>1.75 18 0.38610 0.3206
 14) Peildynamiek<1.25 10 0.08316 0.2480 *
 15) Peildynamiek>1.25 8 0.18450 0.4113 *
```

**Figuur B2.102: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 79**





Figuur B2.103: EKR's voor macrofyten, codes 1 en 2, N= 79



## Regressieboom voor macrofauna

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **67%**.

```
f.ART(M30a, "M30", "Macrofauna", explana, 1, 10, 5, 0, 0, 0)
Macrofauna ~ Oeverinrichting + Peildynamiek + Onderhoud + Connectiviteit +
 Chloride + TotaalP + TotaalN
[1] "start pruning"
[1] "ready pruning"
[[1]]:
```

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(26., 27., 2., 12.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "Chloride" "Peildynamiek" "TotaalP"
```

Number of terminal nodes: 5

Residual mean deviance: 0.01158 = 2.281 / 197

Distribution of residuals:

|  | Min.        | 1st Qu.     | Median      | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
|  | -5.108e-001 | -5.795e-002 | -5.448e-003 | -1.129e-016 | 5.854e-002 | 2.997e-001 |

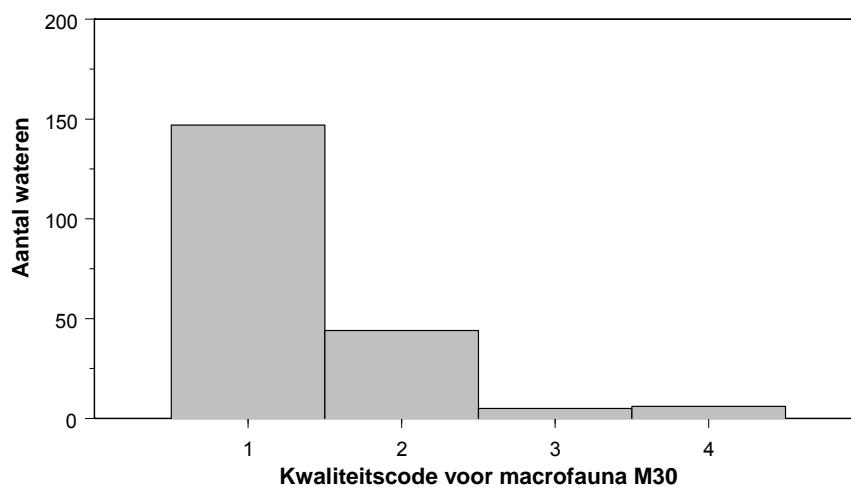
```
[[2]]:
```

```
node), split, n, deviance, yval
```

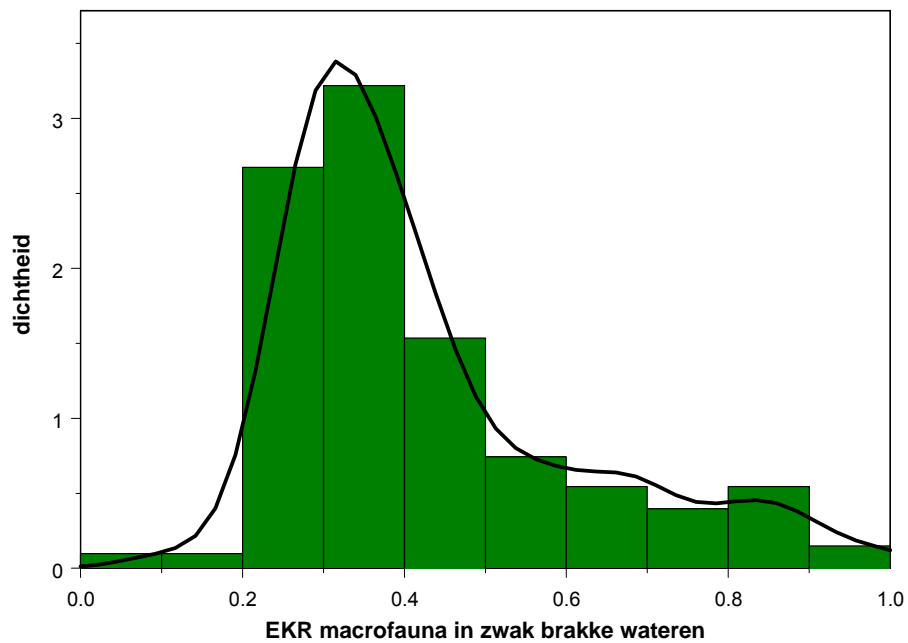
```
 * denotes terminal node
```

```
1) root 202 6.8720 0.4283
 2) Chloride<1141.67 135 0.7657 0.3329 *
 3) Chloride>1141.67 67 2.4030 0.6205
 6) Peildynamiek<2.75 61 1.8480 0.5930
 12) TotaalP<1.2075 26 0.5805 0.6560 *
 13) TotaalP>1.2075 35 1.0880 0.5463
 26) Chloride<2024.17 15 0.1502 0.4603 *
 27) Chloride>2024.17 20 0.7442 0.6108 *
 7) Peildynamiek>2.75 6 0.0400 0.9000 *
```

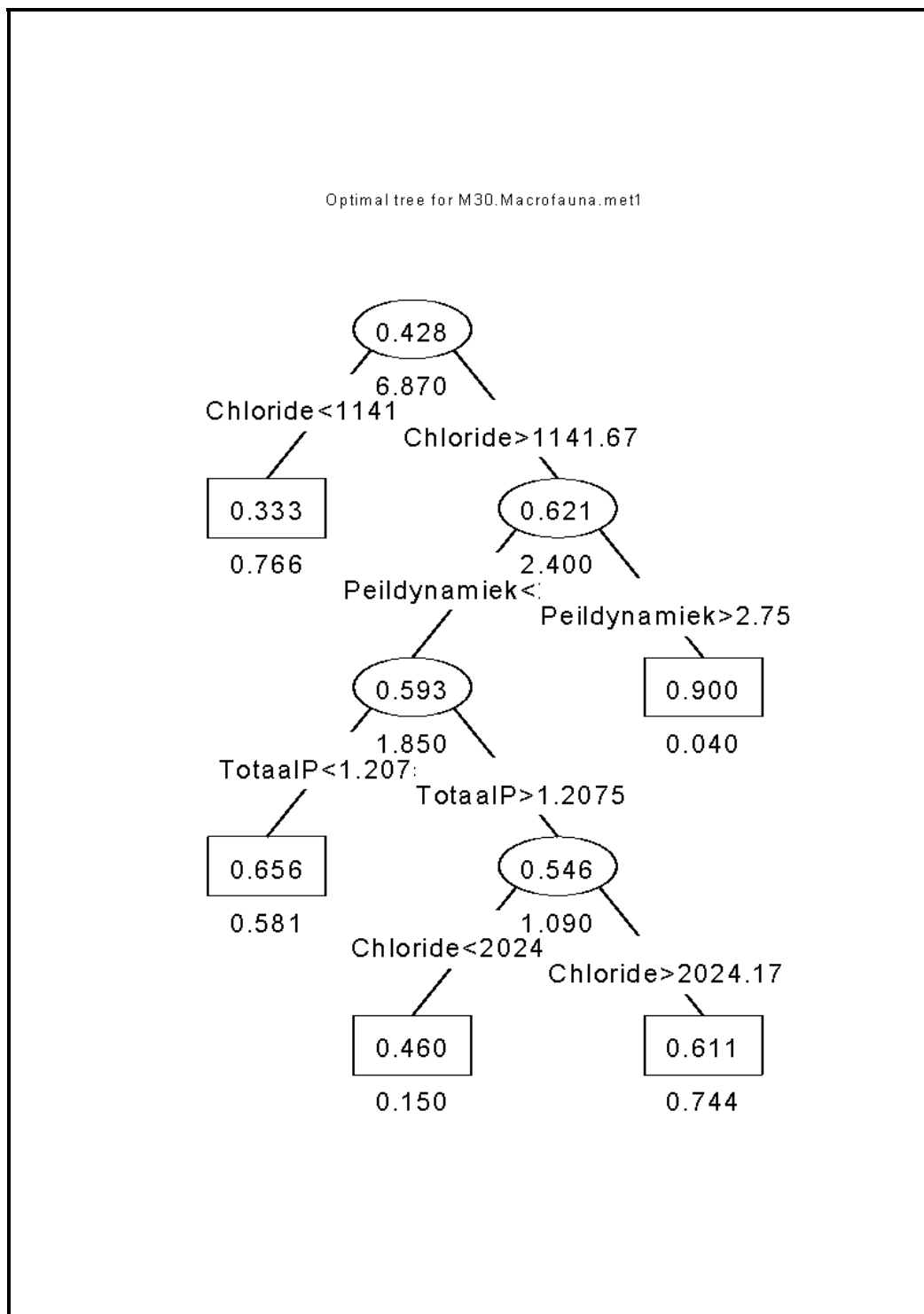
Figuur B2.104: Herkomst EKR's macrofauna



Figuur B2.105: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 202



Figuur B2.106: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 202



## Regressieboom voor vissen, alle codes

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **70%**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(124., 63., 6., 28., 30.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalP" "Chloride" "Oeverinrichting" "TotaalN"
```

```
[5] "Connectiviteit" "Onderhoud"
```

Number of terminal nodes: 10

Residual mean deviance: 0.008193 = 1.573 / 192

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| -2.611e-001 | -6.078e-002 | 0.000e+000 | -1.033e-016 | 5.560e-002 | 2.889e-001 |

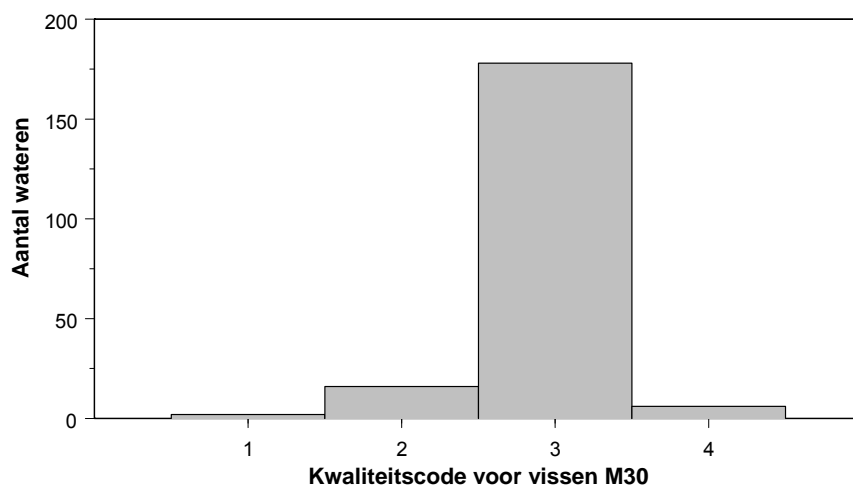
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

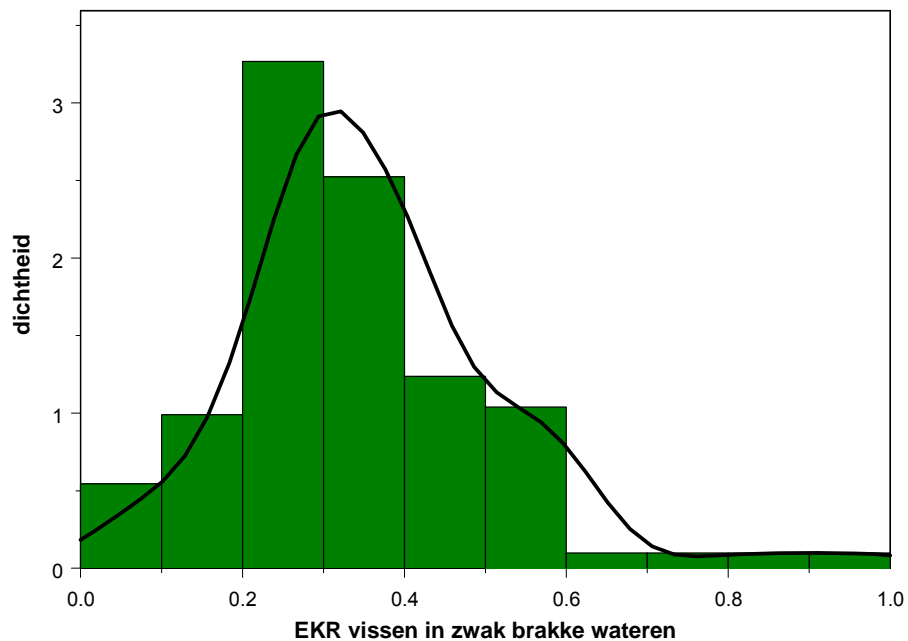
```
* denotes terminal node
```

- 1) root 202 5.27300 0.3616
  - 2) TotaalP<0.0814286 12 0.58510 0.6958
    - 4) Chloride<1186.64 6 0.04488 0.4917 \*
    - 5) Chloride>1186.64 6 0.04000 0.9000 \*
  - 3) TotaalP>0.0814286 190 3.26300 0.3405
    - 6) Chloride<293.833 25 0.10600 0.2144 \*
    - 7) Chloride>293.833 165 2.69900 0.3596
      - 14) Oeverinrichting<1.25 42 0.39120 0.2643
        - 28) TotaalN<6.59167 37 0.17420 0.2900 \*
        - 29) TotaalN>6.59167 5 0.01152 0.0740 \*
      - 15) Oeverinrichting>1.25 123 1.79600 0.3922
        - 30) Chloride<1271.5 77 0.66580 0.3608 \*
        - 31) Chloride>1271.5 46 0.92670 0.4448
          - 62) Connectiviteit<1.75 26 0.58580 0.3981
            - 124) TotaalN<3.86667 10 0.07796 0.4880 \*
            - 125) TotaalN>3.86667 16 0.37640 0.3419
              - 250) Onderhoud<1.75 9 0.19150 0.2611 \*
              - 251) Onderhoud>1.75 7 0.05077 0.4457 \*
      - 63) Connectiviteit>1.75 20 0.21050 0.5055 \*

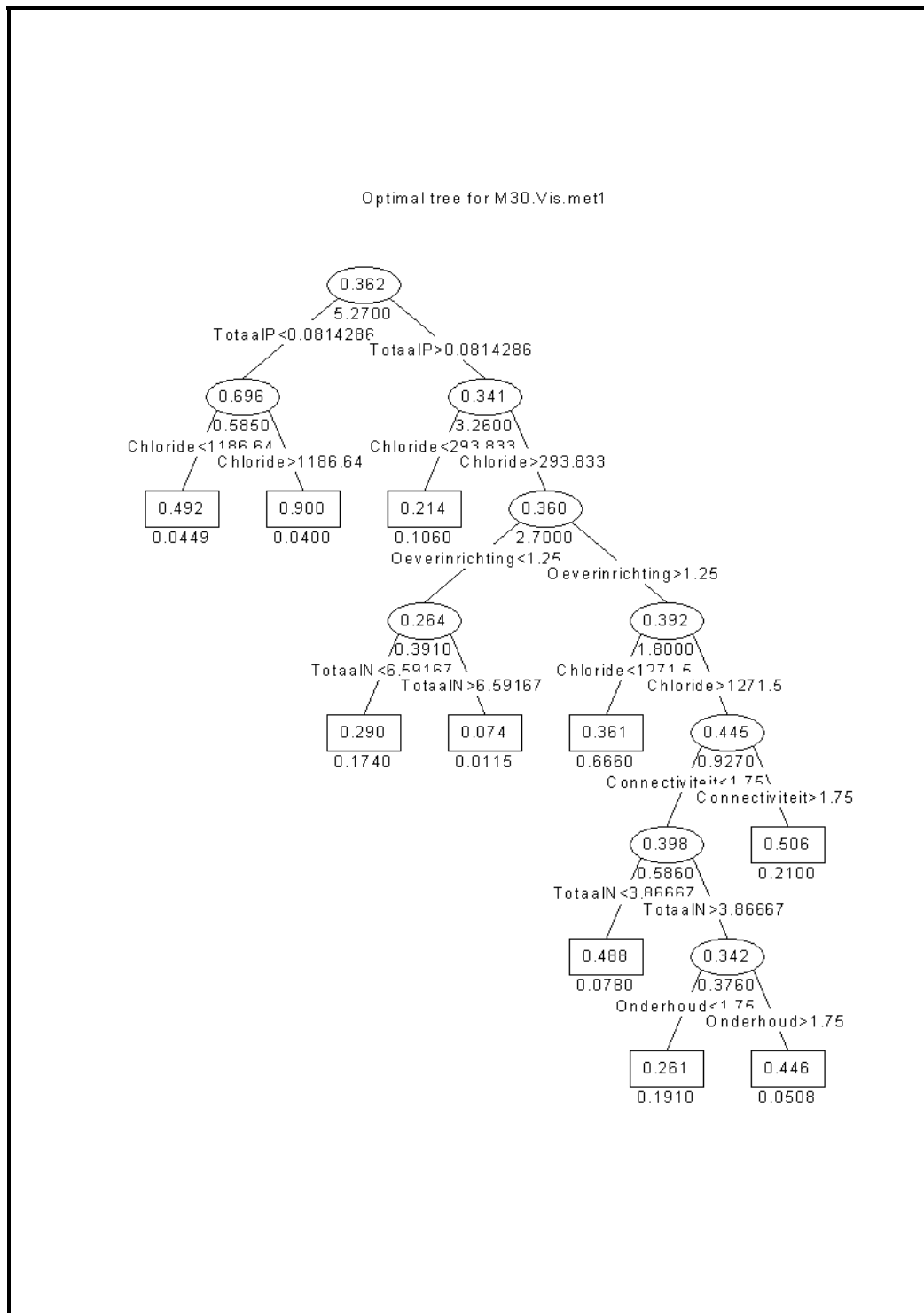
Figuur B2.107: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.108: EKR's voor vissen, alle codes, N= 202



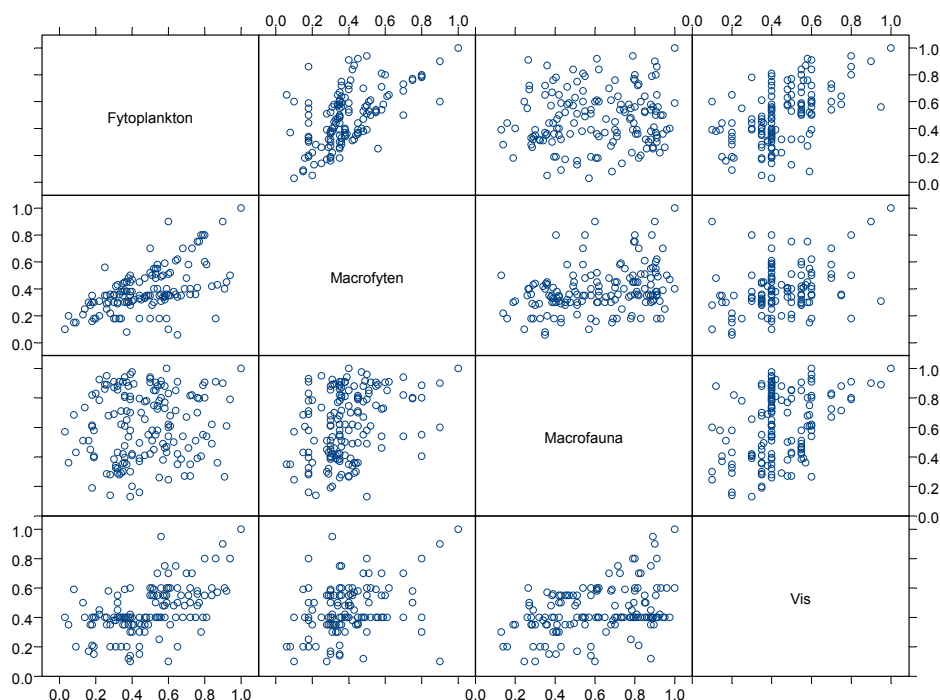
Figuur B2.109: EKR's voor vissen, alle codes, N= 202



## ANALYSE BRAKKE TOT ZOUTE WATEREN (M31)

### Scatterplot-matrices

**Figuur B2.110: Scatterplot-matrix voor vier kwaliteitselementen: fytoplankton, macrofyten, macrofauna en vissen**

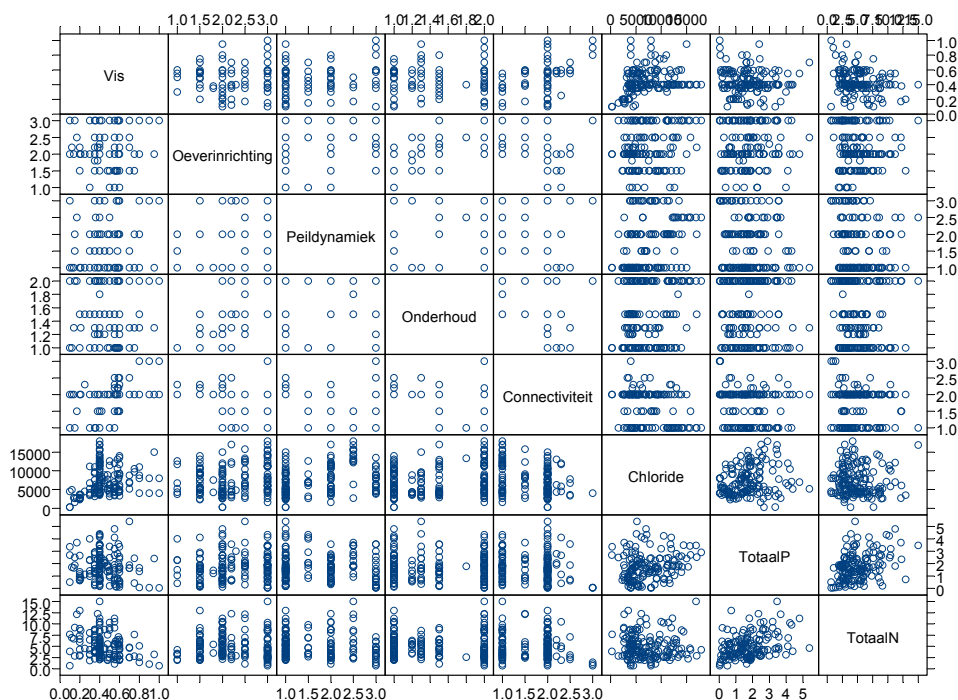


\*\*\* Correlations for data in: M31a \*\*\*

|              | Fytoplankton | Macrofyten | Macrofauna | Vis       |
|--------------|--------------|------------|------------|-----------|
| Fytoplankton | 1.0000000    | 0.6149265  | 0.1373007  | 0.5648740 |
| Macrofyten   | 0.6149265    | 1.0000000  | 0.3665465  | 0.4373499 |
| Macrofauna   | 0.1373007    | 0.3665465  | 1.0000000  | 0.3978435 |
| Vis          | 0.5648740    | 0.4373499  | 0.3978435  | 1.0000000 |



Figuur B2.111: Scatterplot-matrix voor vissen en alle stuurvariabelen



\*\*\* Correlations for data in: M31a \*\*\*

|                 | Vis         | Oeverinrichting | Peildynamiek | Onderhoud   |
|-----------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| Vis             | 1.0000000   | 0.10117841      | 0.1590071    | 0.04414286  |
| Oeverinrichting | 0.10117841  | 1.0000000       | 0.5682879    | 0.82243118  |
| Peildynamiek    | 0.15900715  | 0.56828787      | 1.0000000    | 0.58205491  |
| Onderhoud       | 0.04414286  | 0.82243118      | 0.5820549    | 1.0000000   |
| Connectiviteit  | 0.37505293  | -0.52468070     | -0.4338273   | -0.60404411 |
| Chloride        | 0.24529368  | 0.21820780      | 0.3287702    | 0.19735573  |
| TotaalP         | -0.16733181 | 0.04580450      | -0.1443704   | -0.04606333 |
| TotaalN         | -0.30674041 | -0.05172889     | -0.1997221   | -0.06253598 |

|                 | Connectiviteit | Chloride    | TotaalP     | TotaalN     |
|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Vis             | 0.37505293     | 0.24529368  | -0.16733181 | -0.30674041 |
| Oeverinrichting | -0.52468070    | 0.21820780  | 0.04580450  | -0.05172889 |
| Peildynamiek    | -0.43382728    | 0.32877023  | -0.14437040 | -0.19972210 |
| Onderhoud       | -0.60404411    | 0.19735573  | -0.04606333 | -0.06253598 |
| Connectiviteit  | 1.0000000      | -0.30930503 | -0.11490178 | -0.06968981 |
| Chloride        | -0.30930503    | 1.0000000   | 0.22878684  | -0.01854135 |
| TotaalP         | -0.11490178    | 0.22878684  | 1.0000000   | 0.40244350  |
| TotaalN         | -0.06968981    | -0.01854135 | 0.40244350  | 1.0000000   |

## Regressieboom voor fytoplankton

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **43%**.

Variables actually used in tree construction:

[1] "TotaalN" "TotaalP"

Number of terminal nodes: 6

Residual mean deviance: 0.02663 = 4.048 / 152

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median      | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| -4.533e-001 | -9.960e-002 | -2.171e-002 | -2.389e-017 | 8.384e-002 | 4.583e-001 |

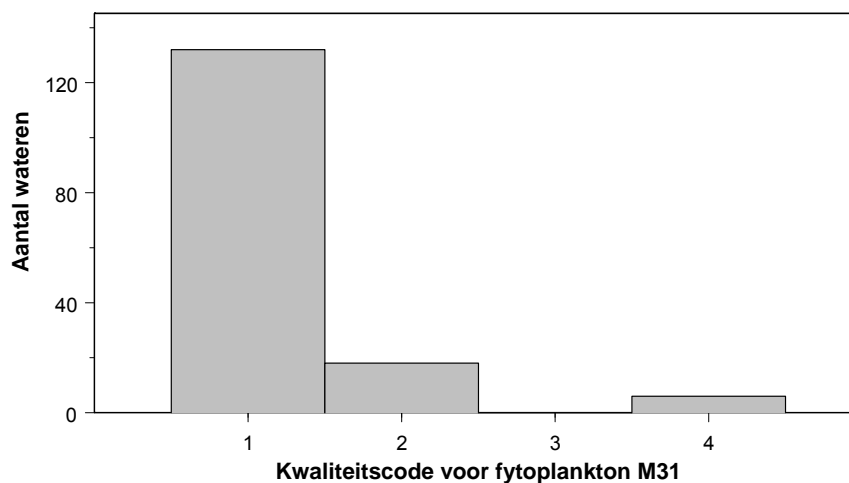
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

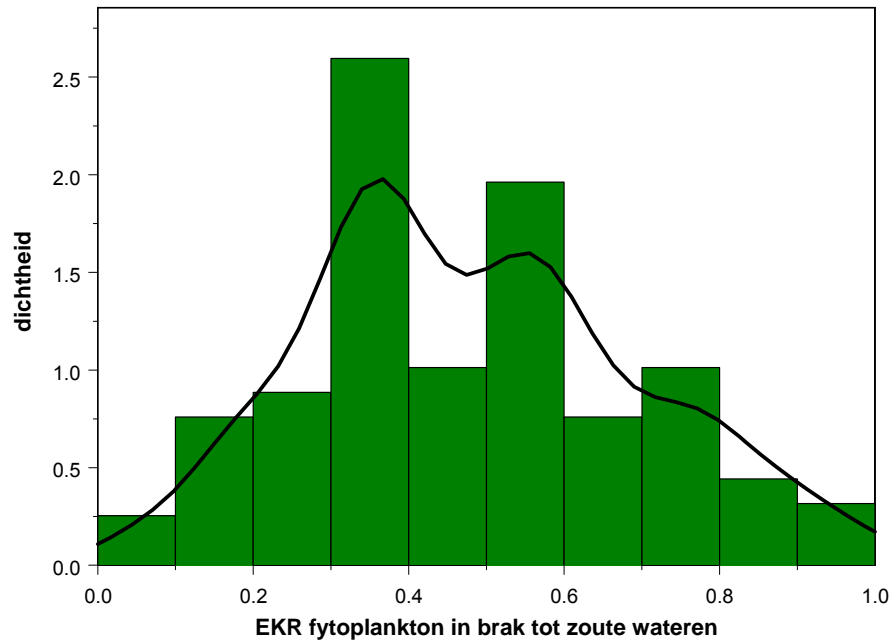
\* denotes terminal node

- 1) root 158 7.10200 0.4836
- 2) TotaalN<2.805 35 1.06000 0.6757
- 4) TotaalP<0.285 8 0.05055 0.8825 \*
- 5) TotaalP>0.285 27 0.56570 0.6144 \*
- 3) TotaalN>2.805 123 4.38300 0.4289
- 6) TotaalN<6.09838 79 2.37600 0.4801
- 12) TotaalP<0.5875 9 0.36780 0.6233 \*
- 13) TotaalP>0.5875 70 1.80000 0.4617 \*
- 7) TotaalN>6.09838 44 1.42800 0.3370
- 14) TotaalP<3.52917 38 1.12100 0.3613 \*
- 15) TotaalP>3.52917 6 0.14330 0.1833 \*

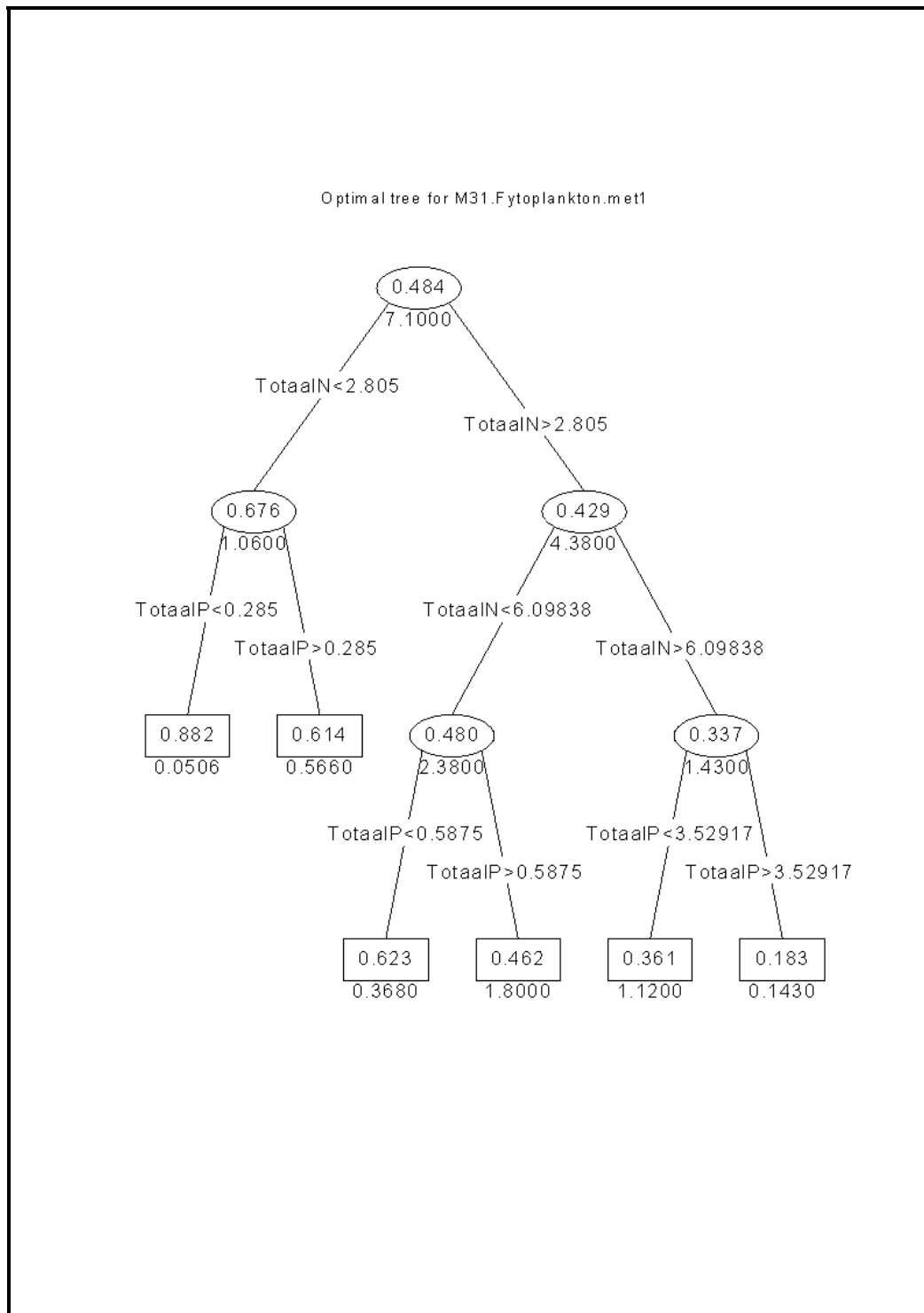
**Figuur B2.112: Herkomst EKR's fytoplankton**



Figuur B2.113: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=158



Figuur B2.114: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=158



## Regressieboom voor macrofyten

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **72%**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalN" "Oeverinrichting" "Chloride" "TotaalP"
```

Number of terminal nodes: 7

Residual mean deviance: 0.009464 = 1.429 / 151

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| -3.091e-001 | -5.556e-002 | 2.038e-003 | -5.621e-018 | 6.122e-002 | 2.609e-001 |

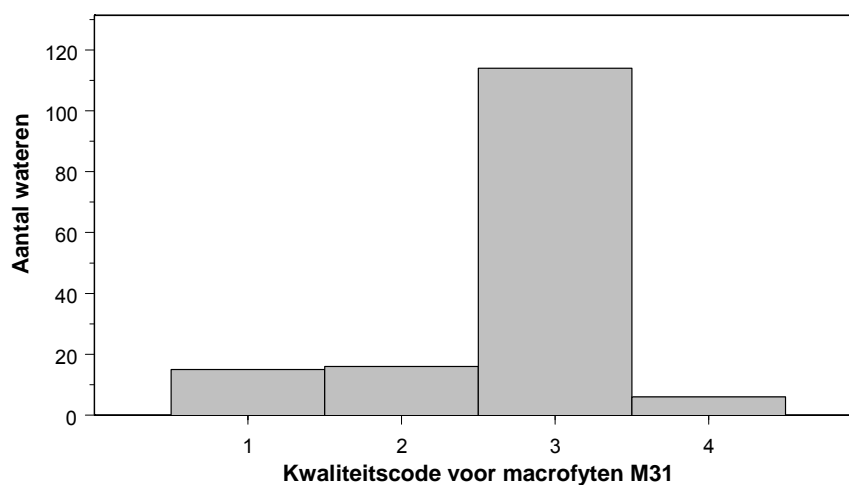
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

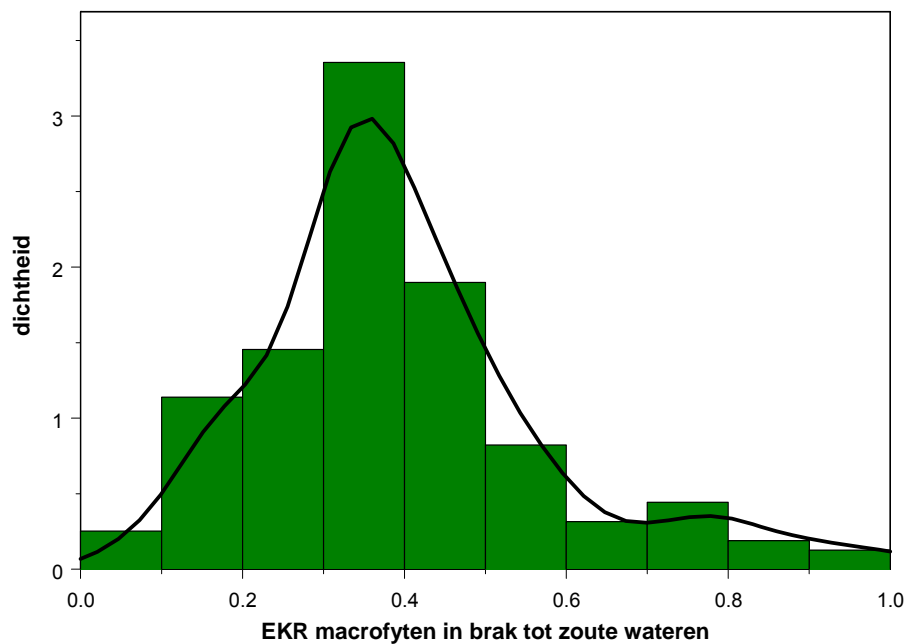
\* denotes terminal node

```
1) root 158 5.06700 0.4011
 2) TotaalN<1.85 9 0.12220 0.8556 *
 3) TotaalN>1.85 149 2.97400 0.3736
 6) Oeverinrichting<2.1 84 0.73520 0.3038
 12) Chloride<2756.5 7 0.03414 0.1471 *
 13) Chloride>2756.5 77 0.51360 0.3181
 26) Oeverinrichting<1.65 36 0.12680 0.3514 *
 27) Oeverinrichting>1.65 41 0.31160 0.2888 *
 7) Oeverinrichting>2.1 65 1.30000 0.4638
 14) TotaalP<1.89167 35 0.65220 0.5323
 28) TotaalN<2.92117 13 0.17270 0.6054 *
 29) TotaalN>2.92117 22 0.36900 0.4891 *
 15) TotaalP>1.89167 30 0.29250 0.3840 *
```

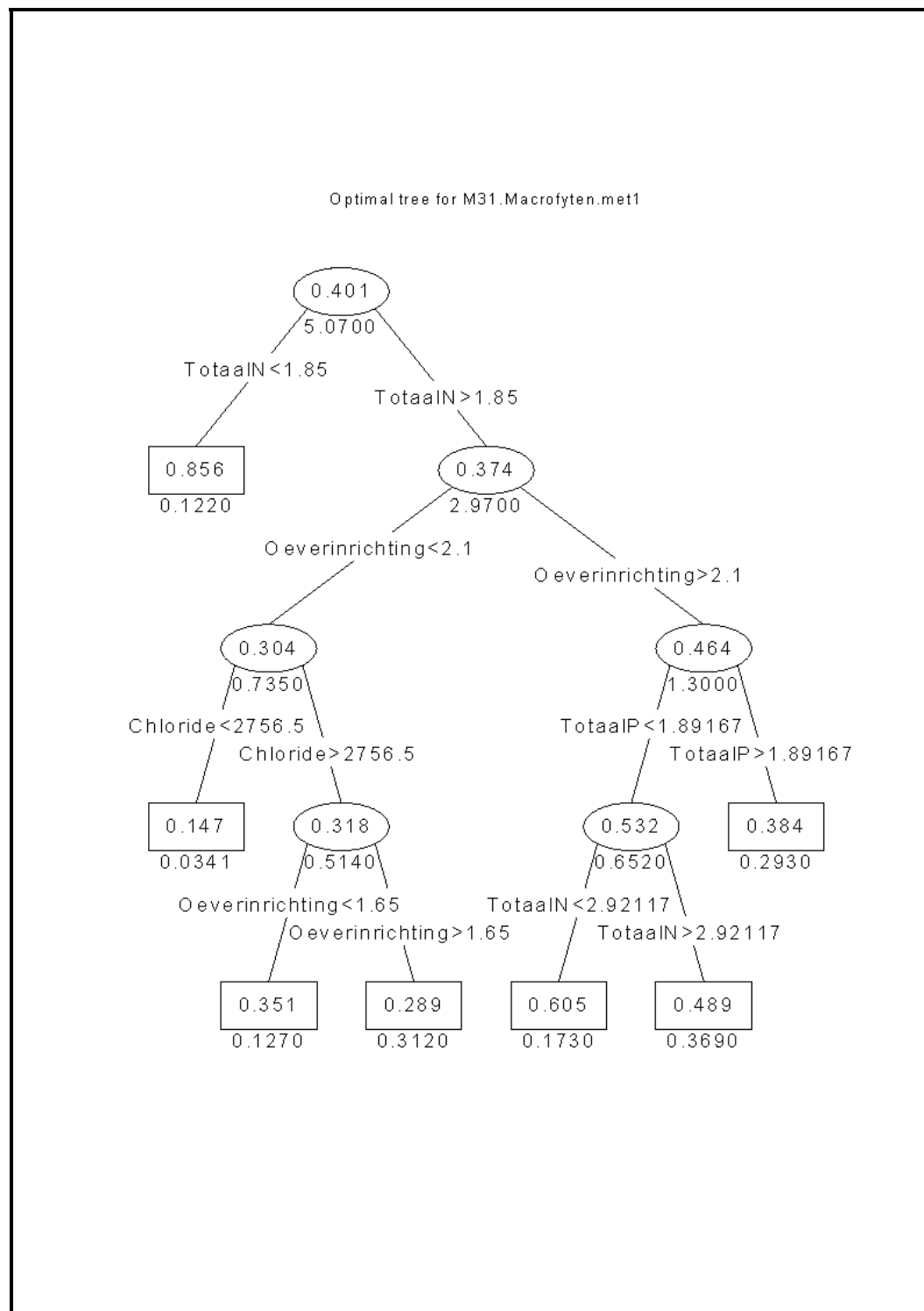
**Figuur B2.115: Herkomst EKR's macrofyten**



Figuur B2.116: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=158



Figuur B2.117: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=158



## Regressieboom voor macrofauna

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **56%**.

Regression tree:

```
snip.tree(tree = a.tree, nodes = c(12., 13., 8., 7., 9.))
```

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "Chloride" "Connectiviteit" "Onderhoud" "TotaalP"
```

Number of terminal nodes: 6

Residual mean deviance: 0.02419 = 3.676 / 152

Distribution of residuals:

|  | Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|--|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
|  | -5.333e-001 | -9.812e-002 | 1.649e-002 | -9.837e-017 | 9.324e-002 | 4.313e-001 |

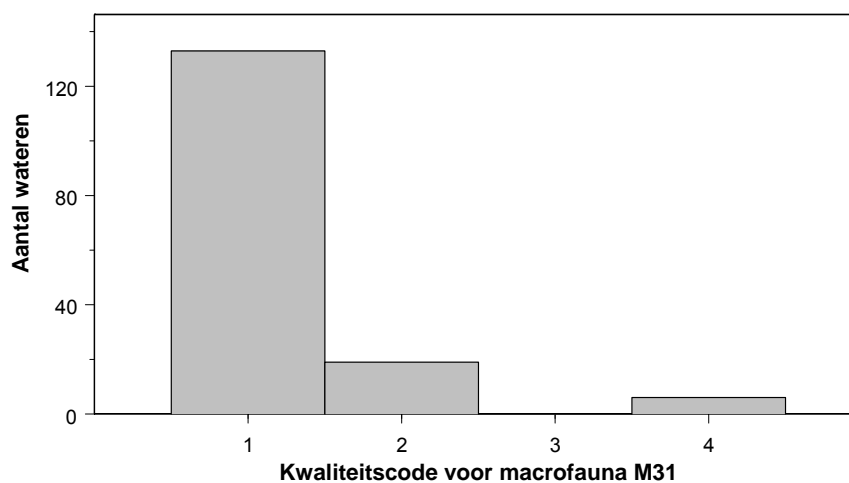
[[2]]:

```
node), split, n, deviance, yval
```

```
* denotes terminal node
```

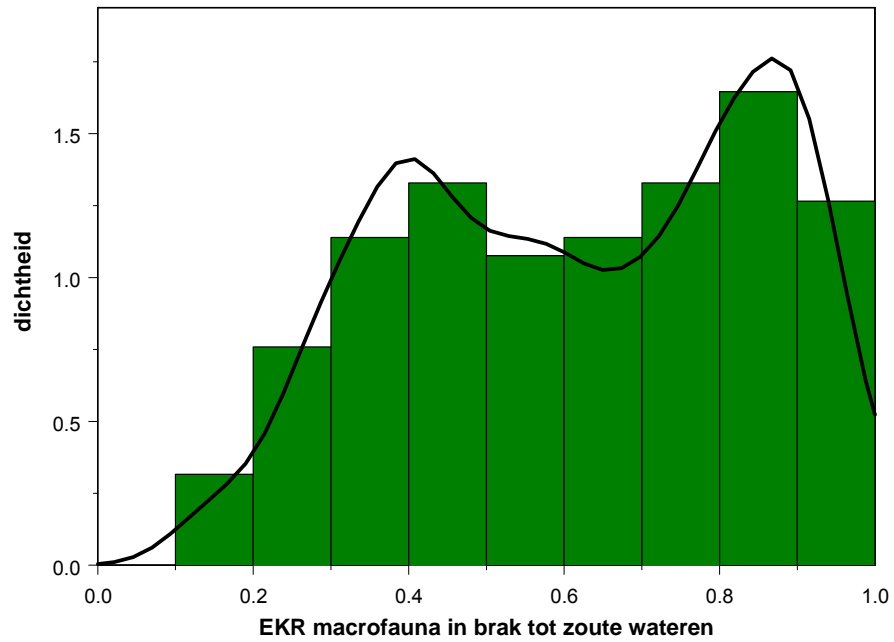
```
1) root 158 8.4260 0.6217
 2) Chloride<6240.63 79 2.8690 0.4856
 4) Connectiviteit<2.1 71 2.1720 0.4607
 8) Chloride<4164.17 32 0.6709 0.3887 *
 9) Chloride>4164.17 39 1.1990 0.5197 *
 5) Connectiviteit>2.1 8 0.2640 0.7063 *
 3) Chloride>6240.63 79 2.6300 0.7578
 6) Onderhoud<1.1 24 0.9462 0.6306
 12) TotaalP<1.76833 12 0.1784 0.7792 *
 13) TotaalP>1.76833 12 0.2382 0.4821 *
 7) Onderhoud>1.1 55 1.1260 0.8133 *
```

**Figuur B2.118: Herkomst EKR's macrofauna**

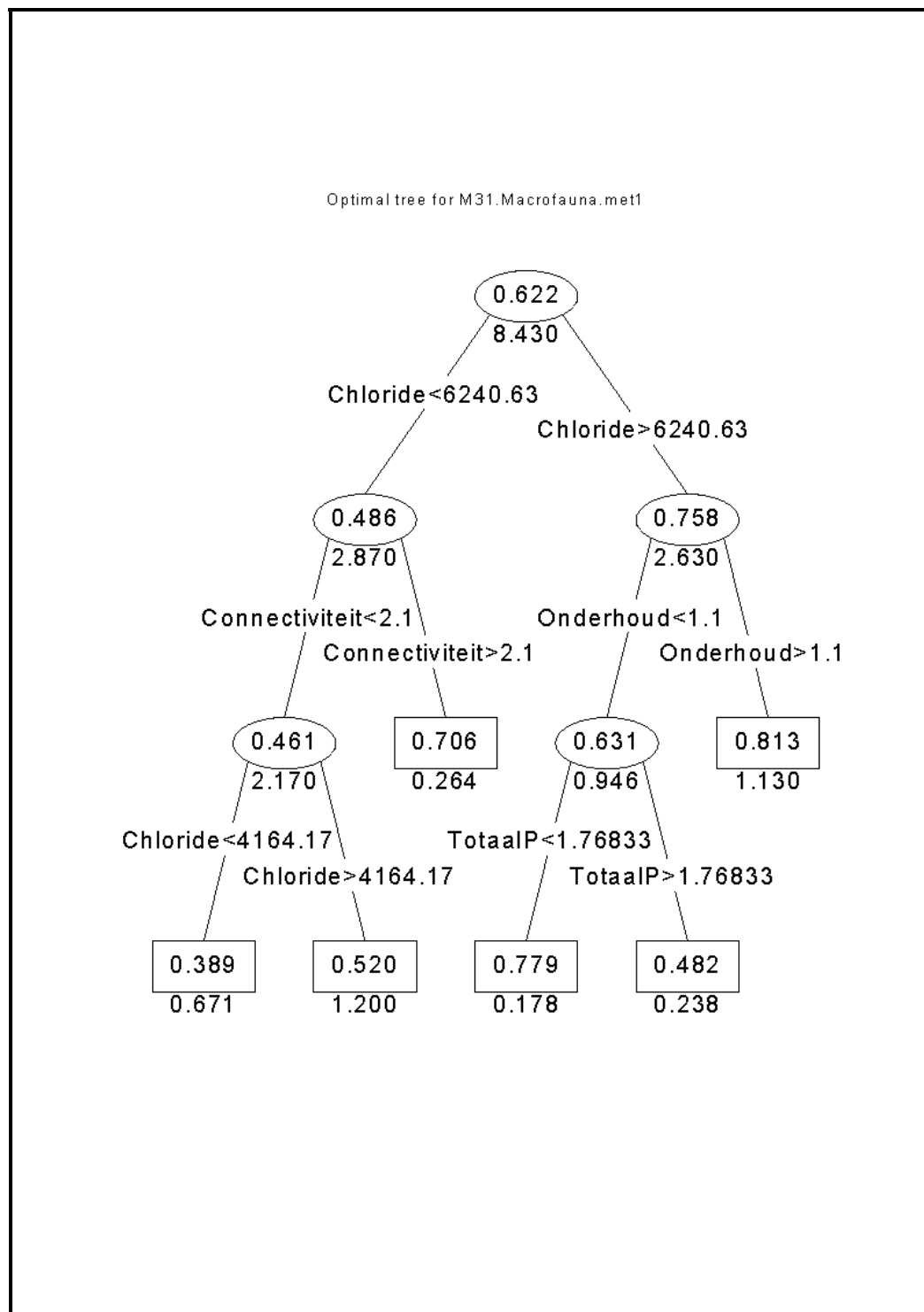




Figuur B2.119: EKR's voor macrofauna, alle codes, N=158



Figuur B2.120: EKR's voor macrofauna, alle codes, N=158



## Regressieboom voor vissen

De verklarende kracht van onderstaande regressieboom is **66%**.

Variables actually used in tree construction:

```
[1] "TotaalP" "Chloride" "Connectiviteit" "TotaalN"
```

Number of terminal nodes: 7

Residual mean deviance: 0.01024 = 1.546 / 151

Distribution of residuals:

| Min.        | 1st Qu.     | Median     | Mean        | 3rd Qu.    | Max.       |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| -3.636e-001 | -6.750e-002 | 1.311e-002 | -8.256e-017 | 4.654e-002 | 3.164e-001 |

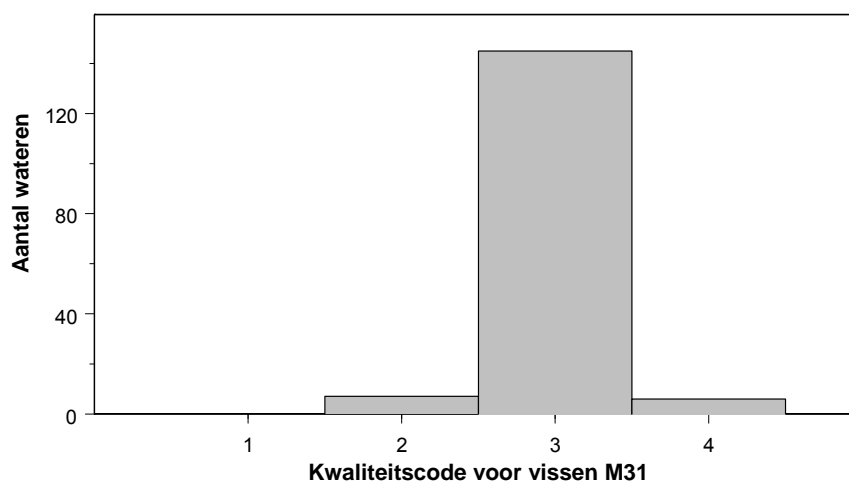
[[2]]:

node), split, n, deviance, yval

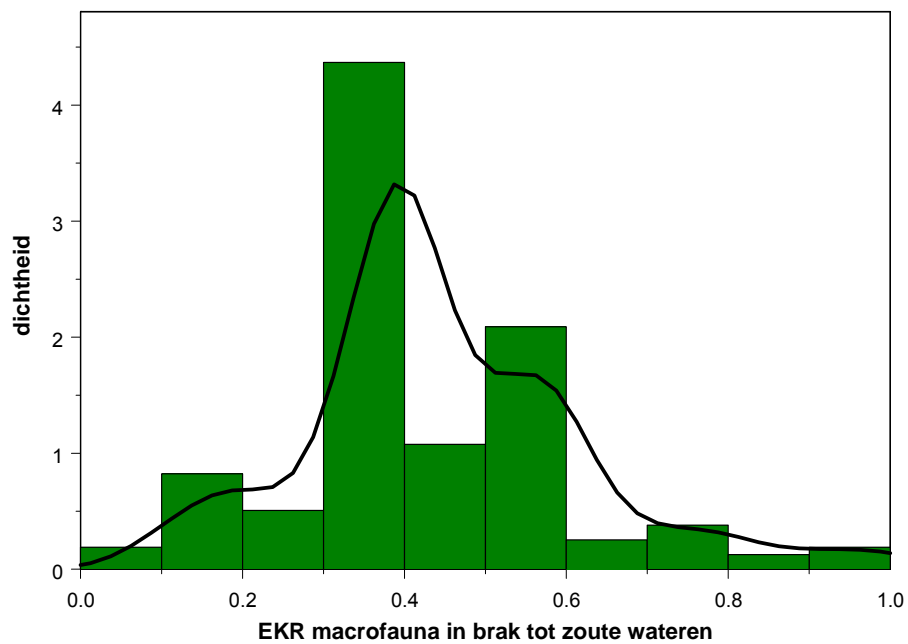
\* denotes terminal node

```
1) root 158 4.60600 0.4490
 2) TotaalP<0.0925 6 0.04000 0.9000 *
 3) TotaalP>0.0925 152 3.29700 0.4312
 6) Chloride<2989.17 12 0.01682 0.1675 *
 7) Chloride>2989.17 140 2.37500 0.4538
 14) Connectiviteit<1.25 45 0.17140 0.3869 *
 15) Connectiviteit>1.25 95 1.90700 0.4855
 30) TotaalN<3.20583 25 0.48900 0.5652
 60) Chloride<9182.5 20 0.21110 0.5215 *
 61) Chloride>9182.5 5 0.08700 0.7400 *
 31) TotaalN>3.20583 70 1.20200 0.4570
 62) Chloride<4272 15 0.12670 0.3593 *
 63) Chloride>4272 55 0.89310 0.4836 *
```

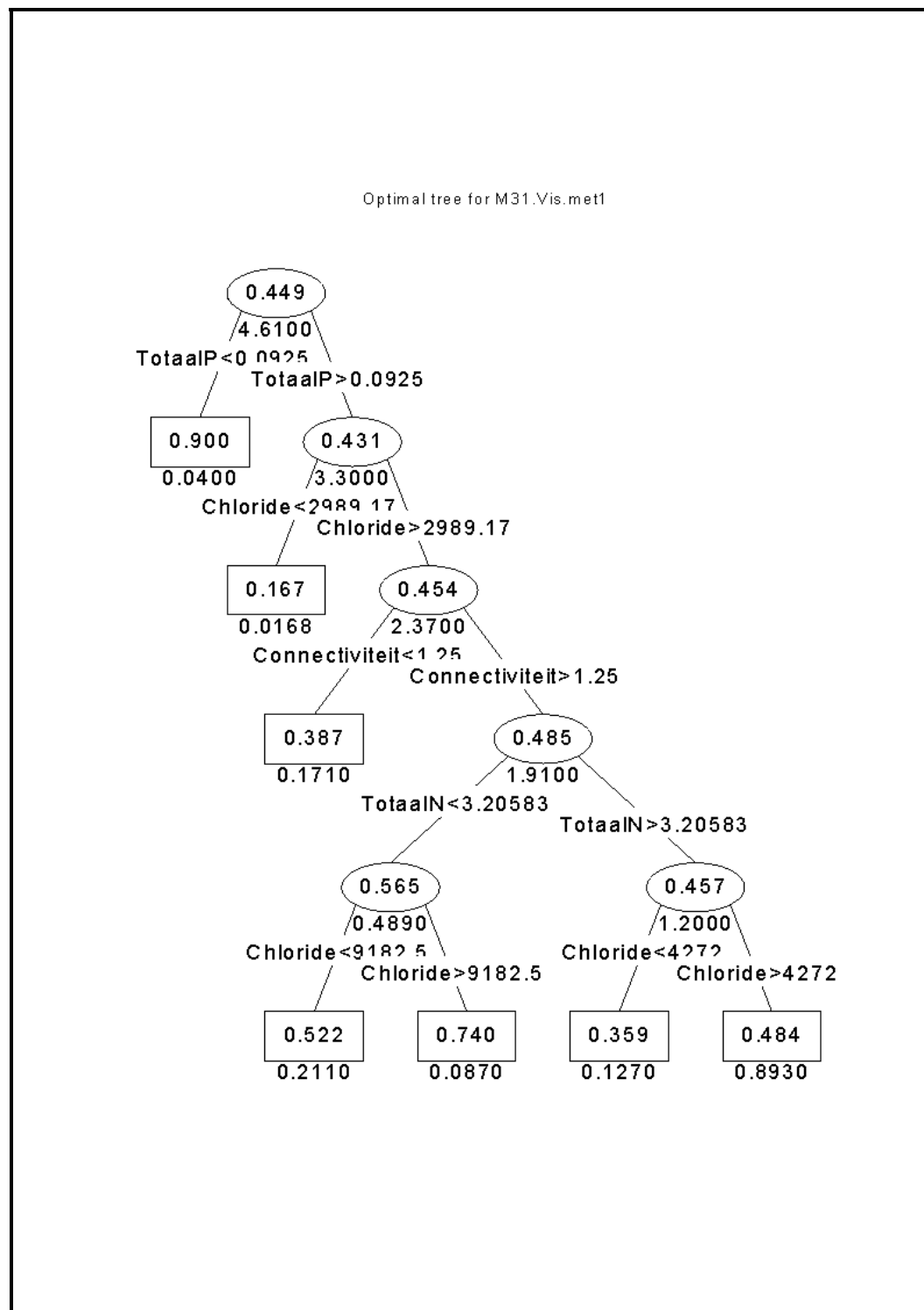
Figuur B2.121: Herkomst EKR's vissen



Figuur B2.122: EKR's voor vissen, alle codes, N=158



Figuur B2.123: EKR's voor vissen, alle codes, N=158

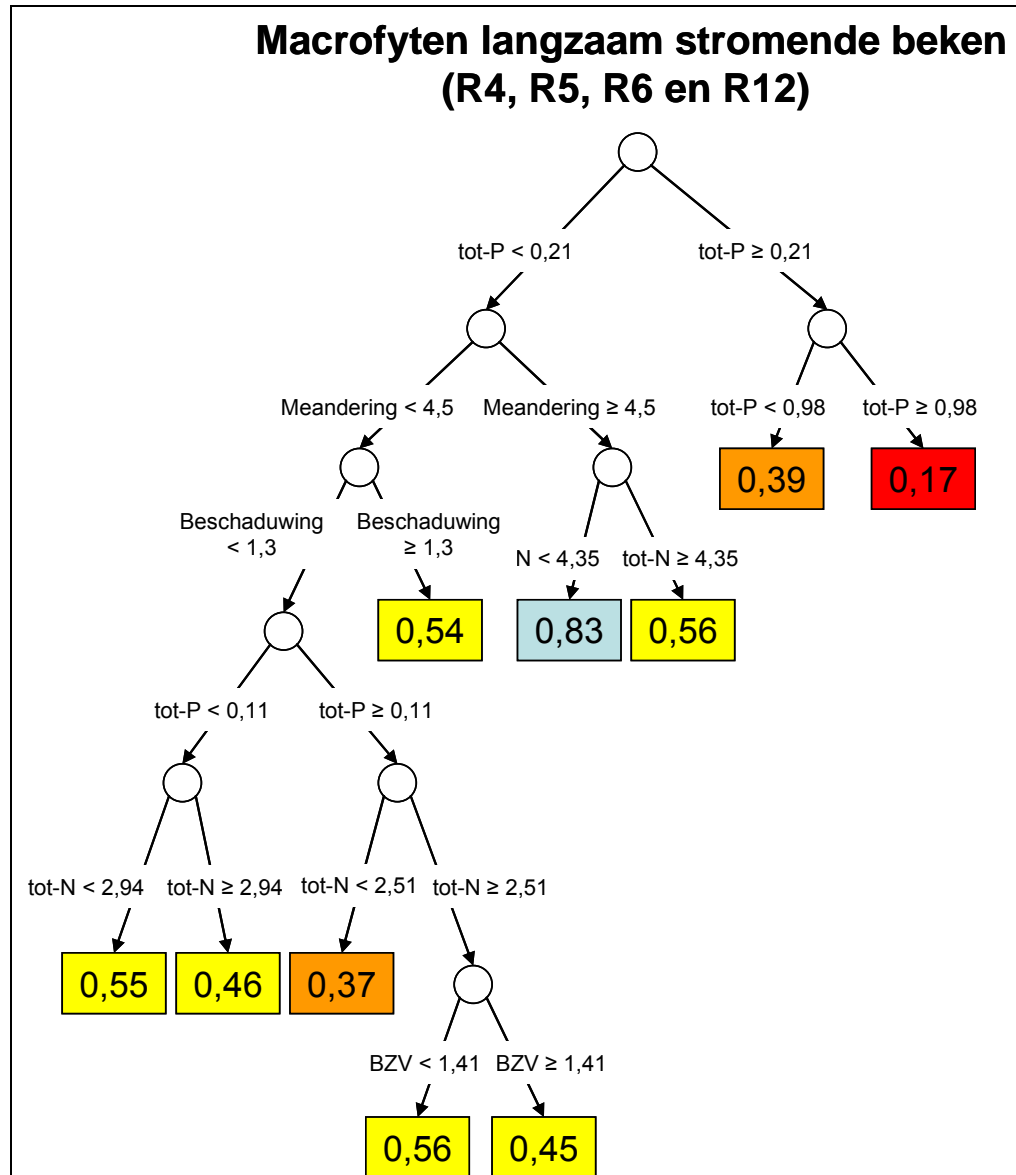


## **Bijlage 3**

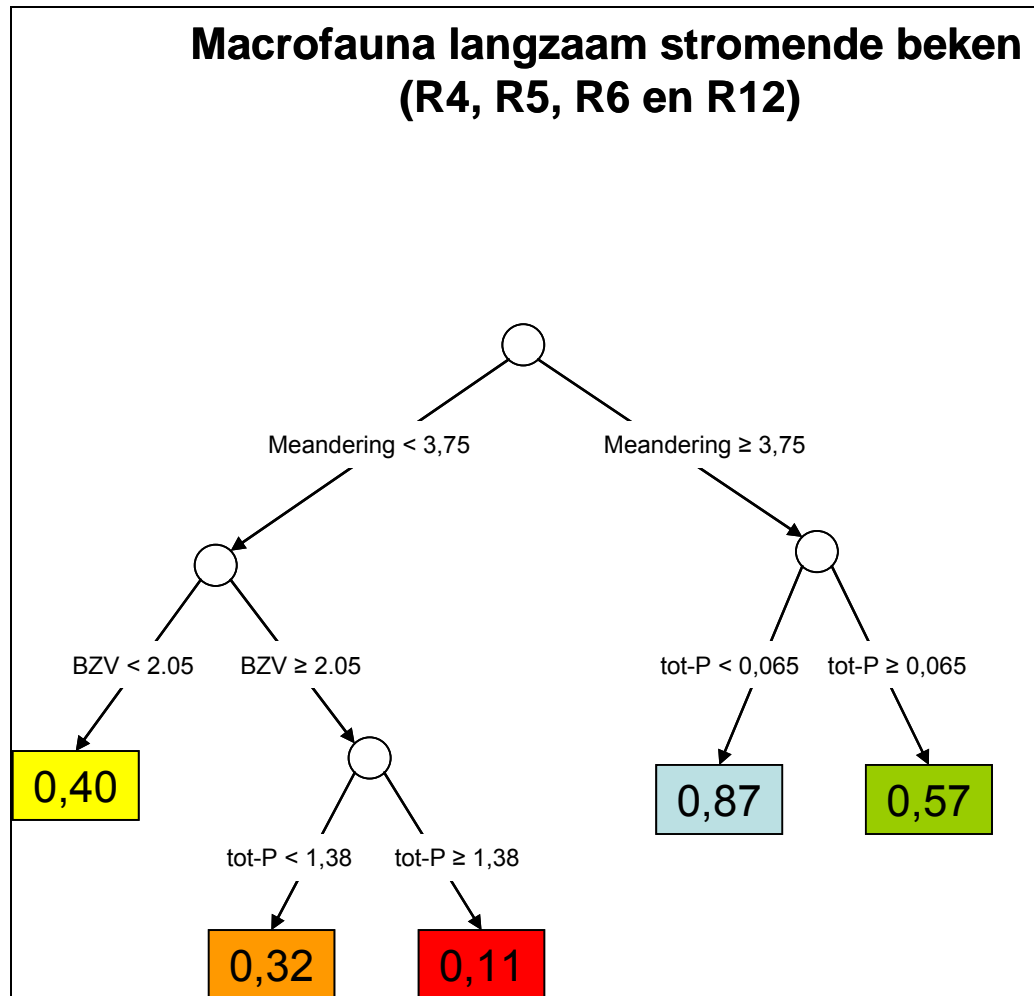
### **Regressiebomen op basis waarvan de rekenregels worden afgeleid**

## ANALYSE LANGZAAM STROMENDE BEKEN (R4, R5, R6 EN R12)

Figuur B3.1: Overige waterflora, alle codes, N= 239

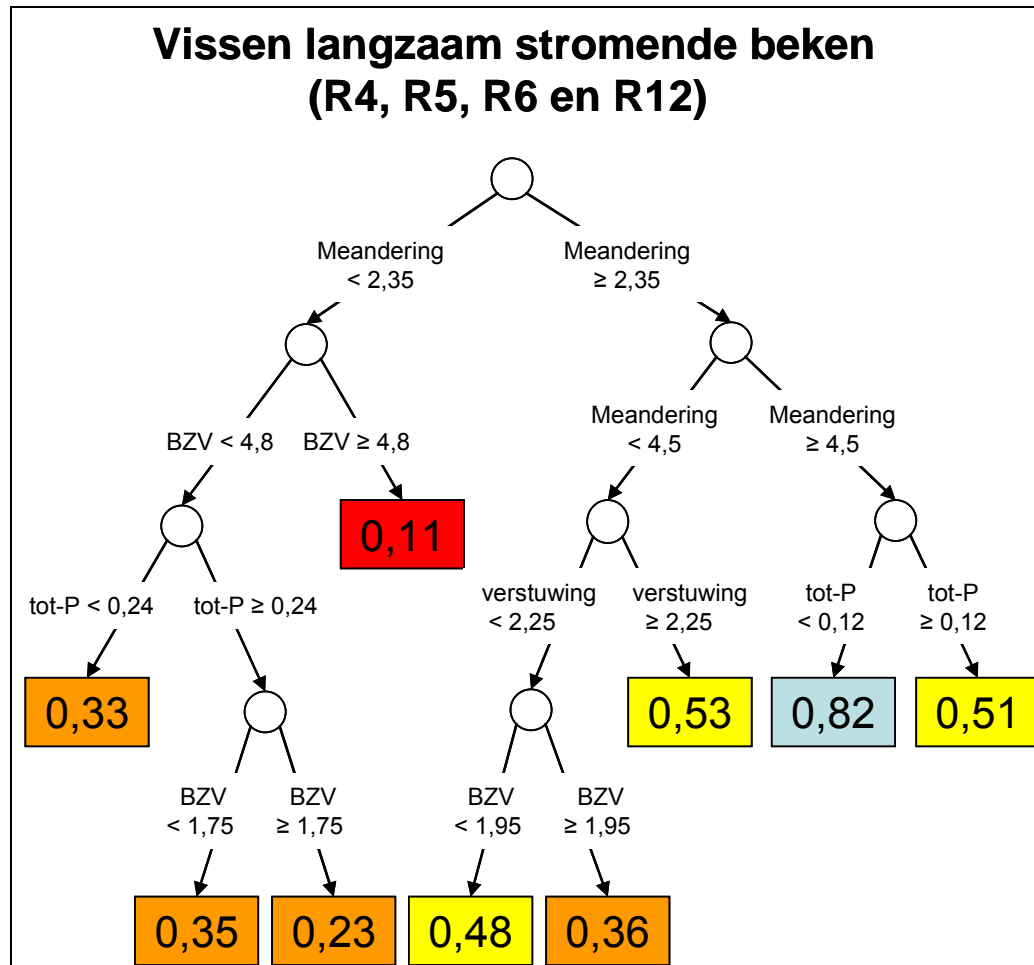


Figuur B3.2: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 239



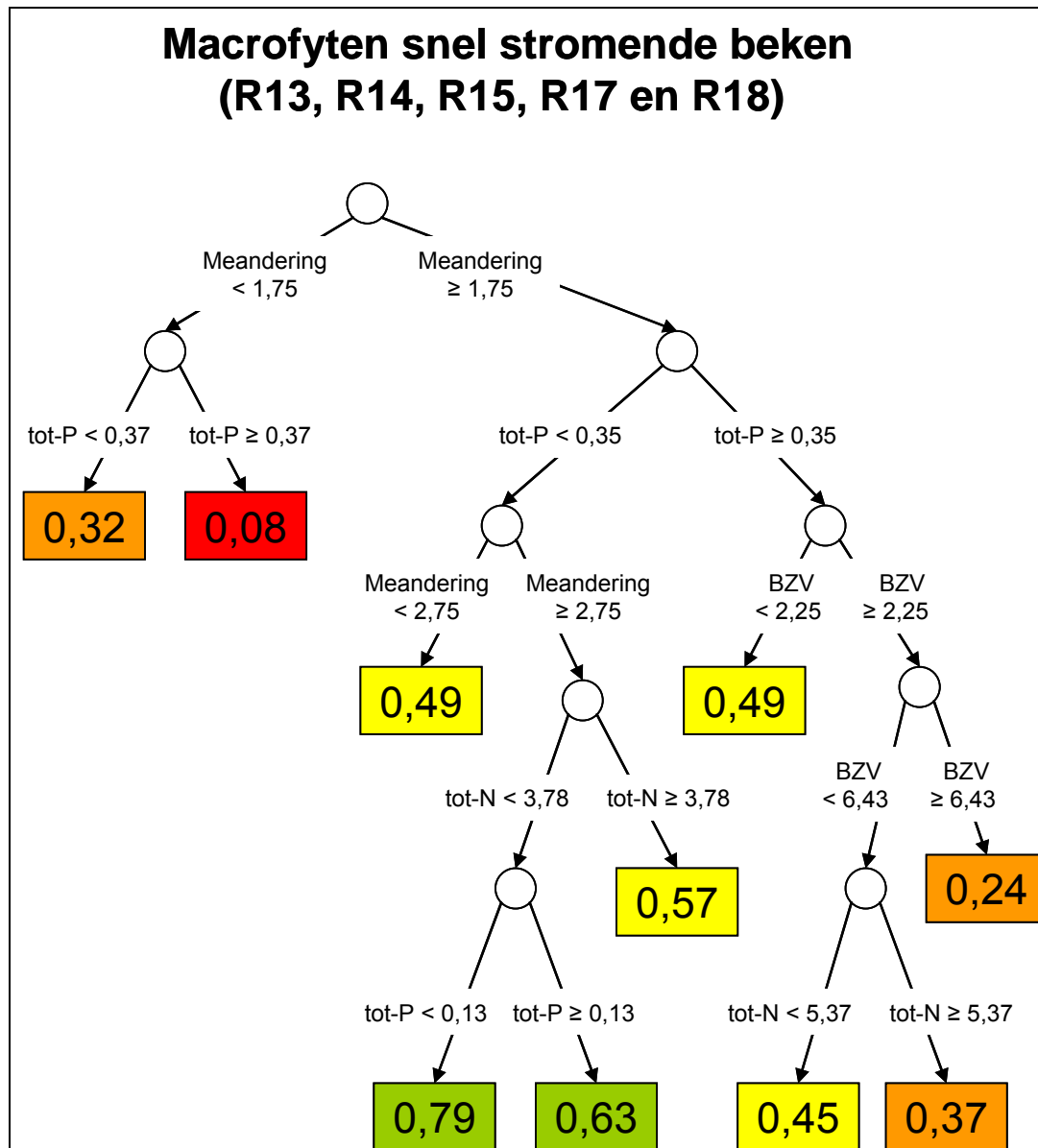


Figuur B3.3: EKR's voor vissen, alle codes, N= 239

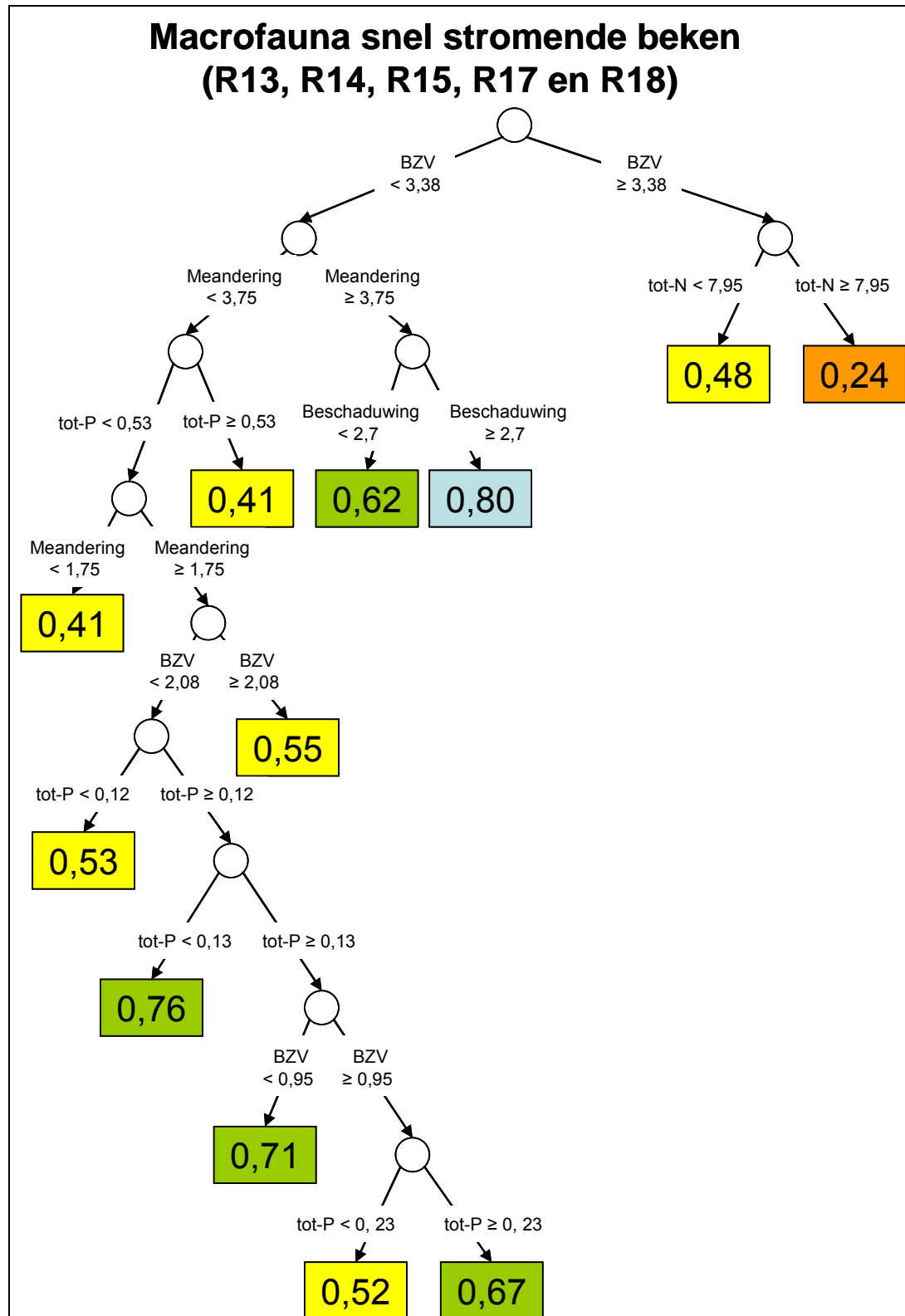


## ANALYSE SNEL STROMENDE BEKEN (R13, R14, R15, R17 EN R18)

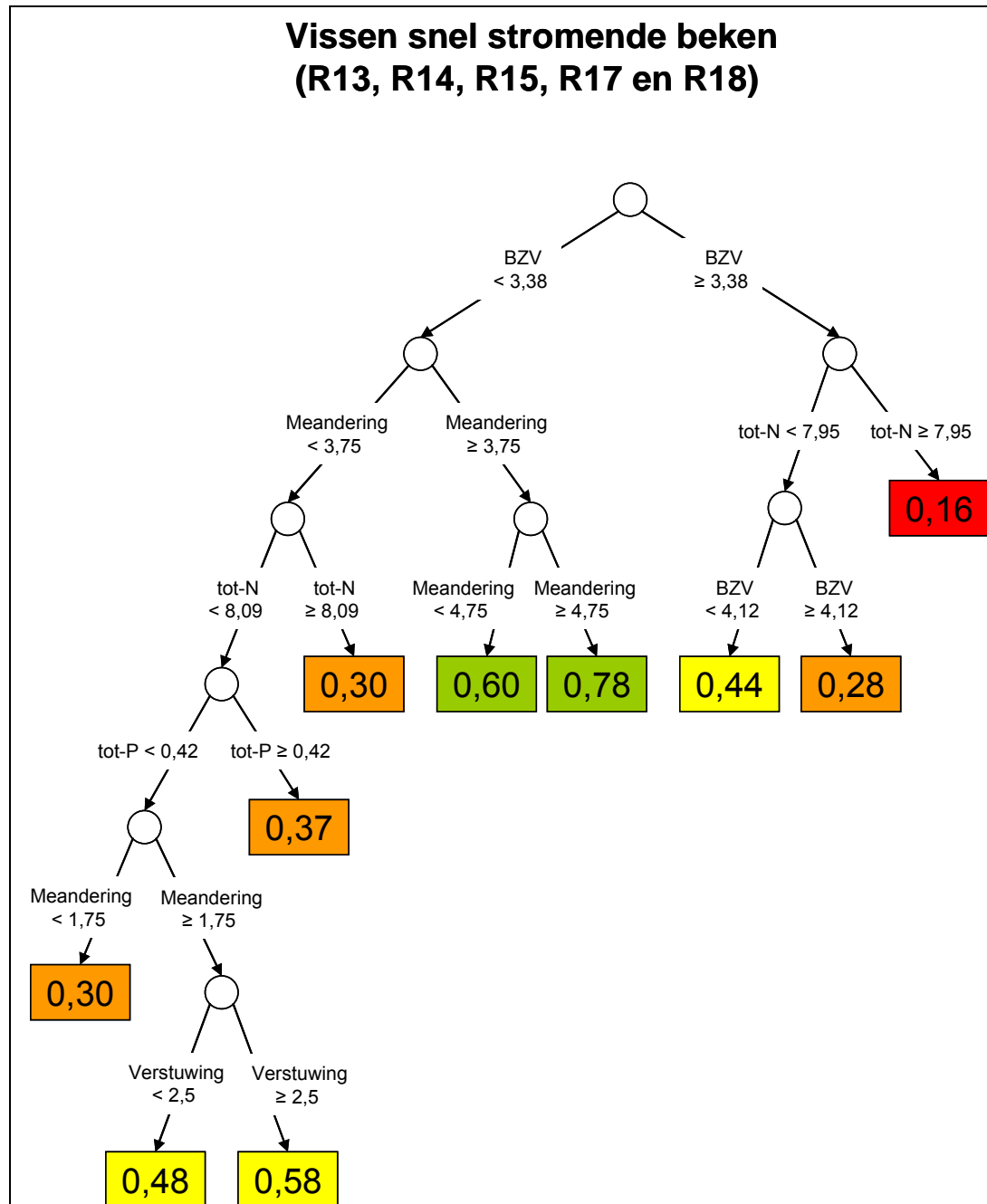
Figuur B3.4: EKR's voor overige waterflora, alle codes, N= 184



Figuur B3.5: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 184

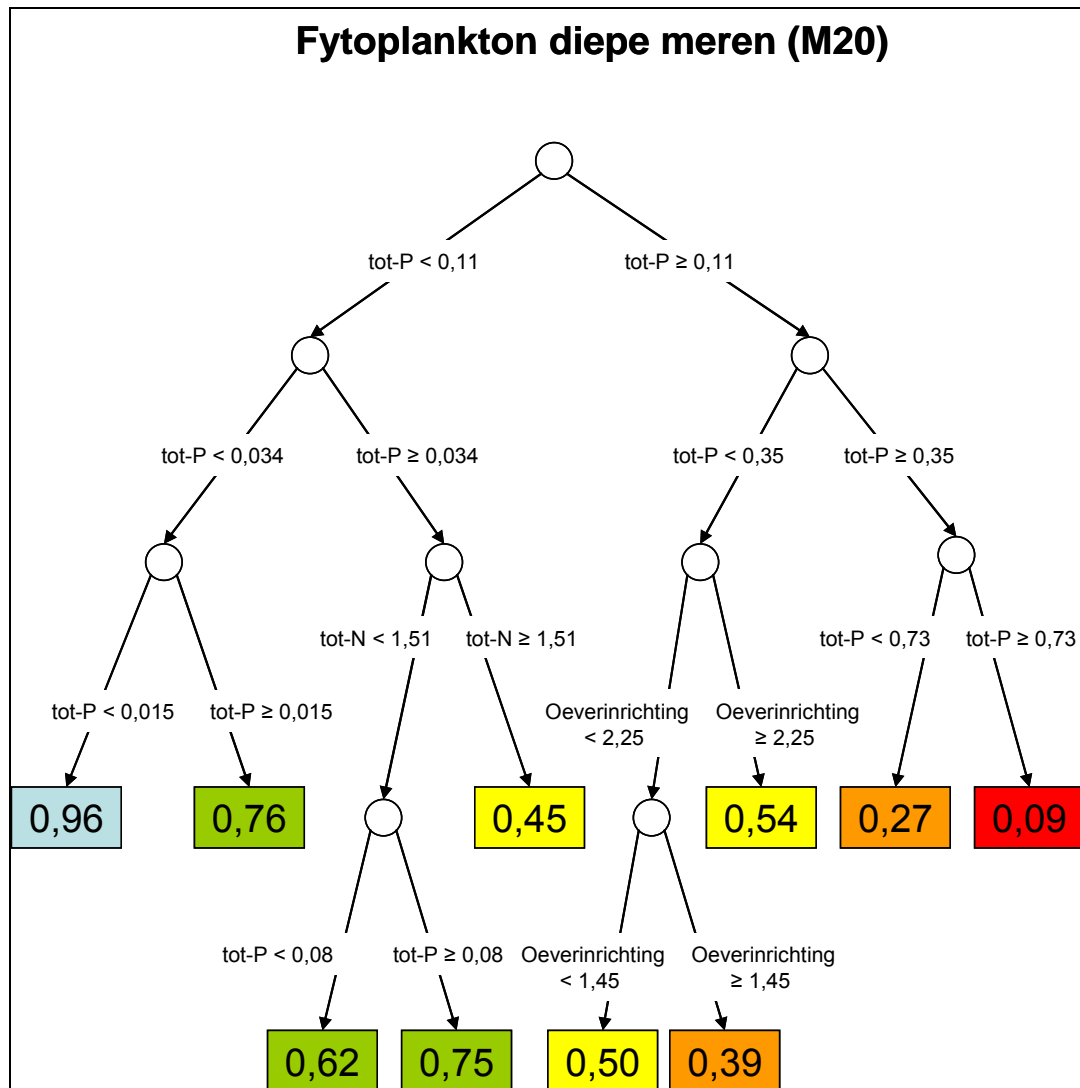


Figuur B3.6: EKR's voor vissen, alle codes, N= 184

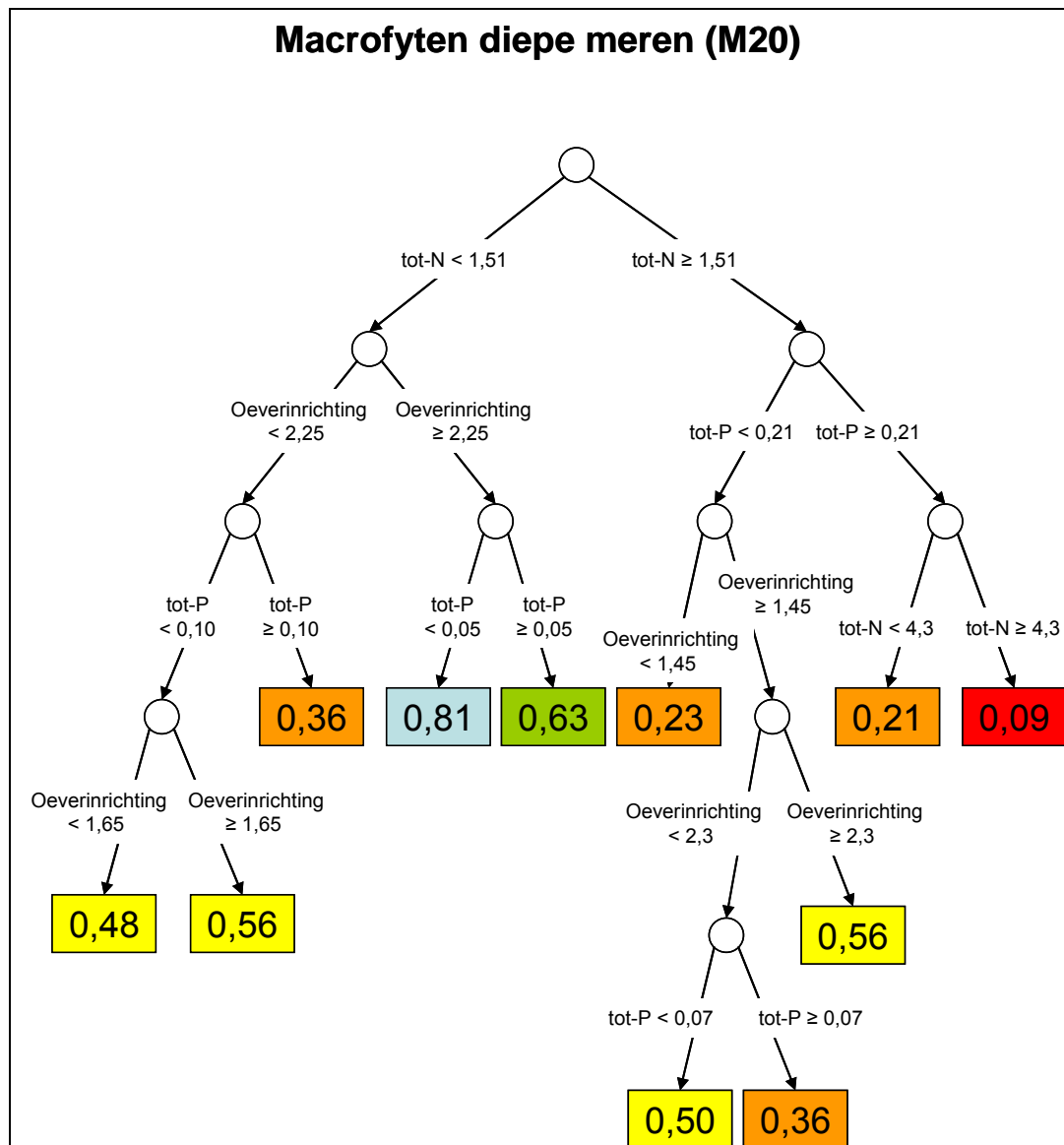


## ANALYSE DIEPE MEREN (M20)

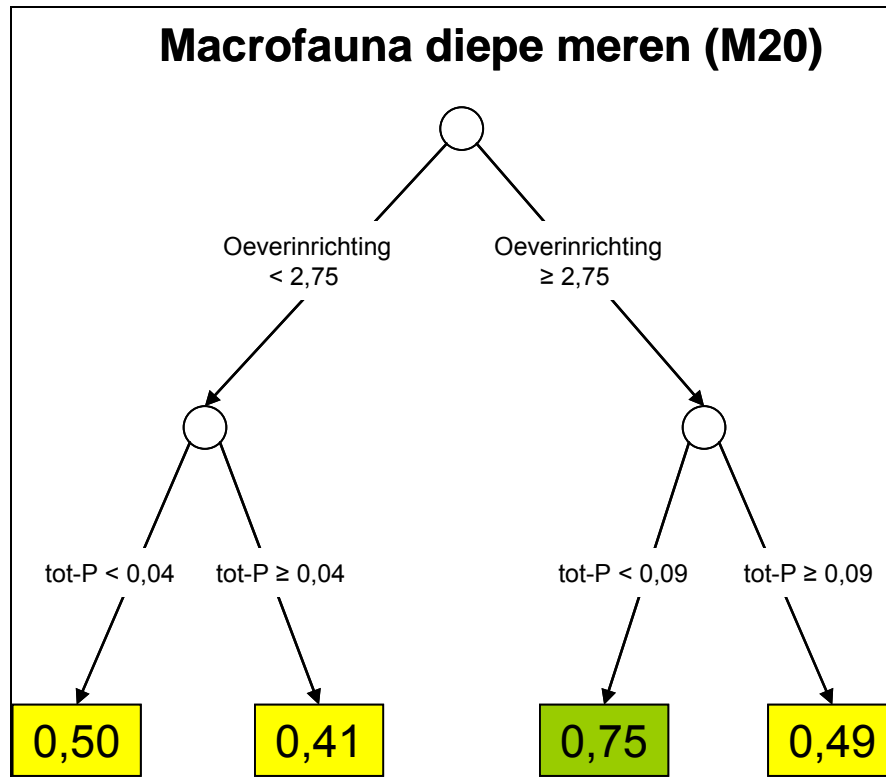
Figuur B3.7: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 106



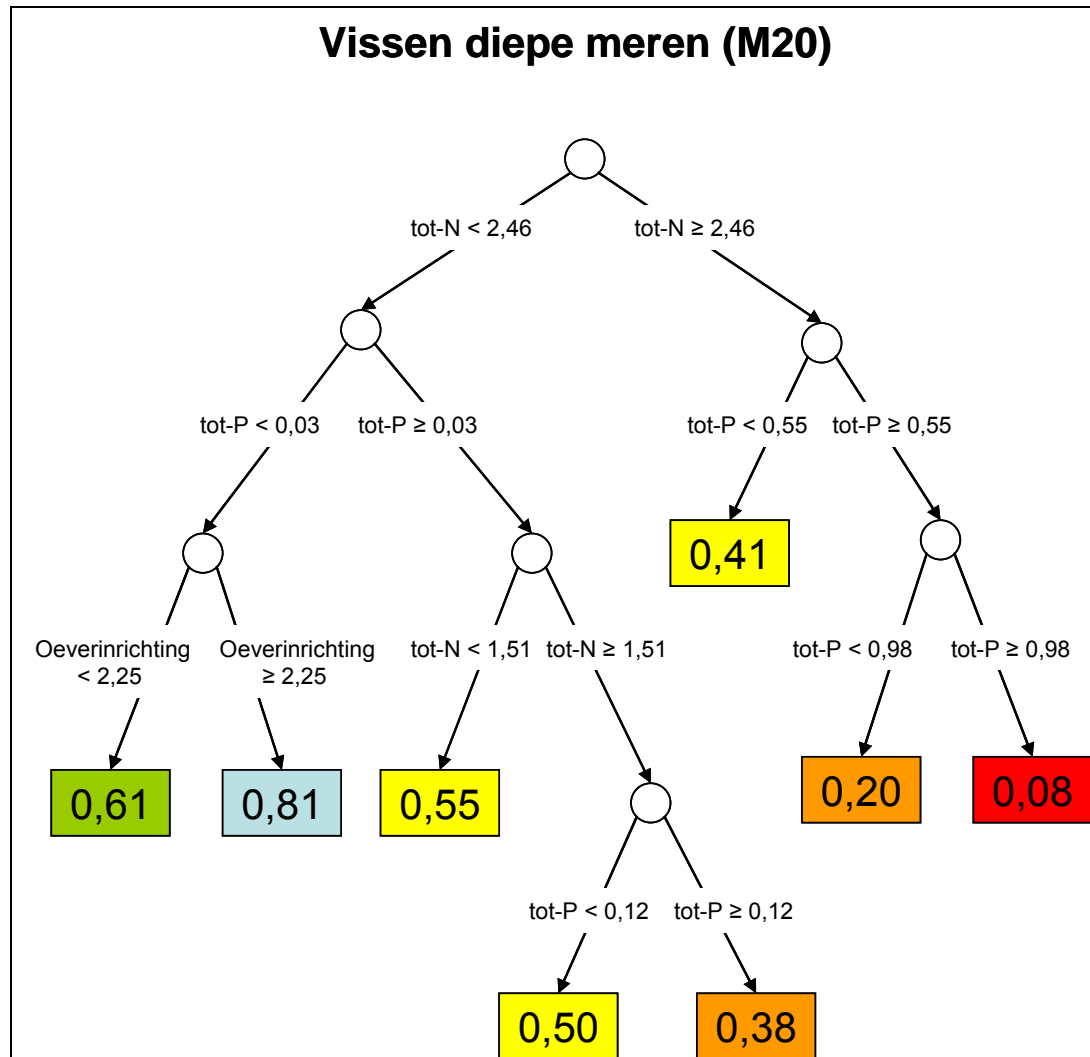
Figuur B3.8: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 106



Figuur B3.9: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 106



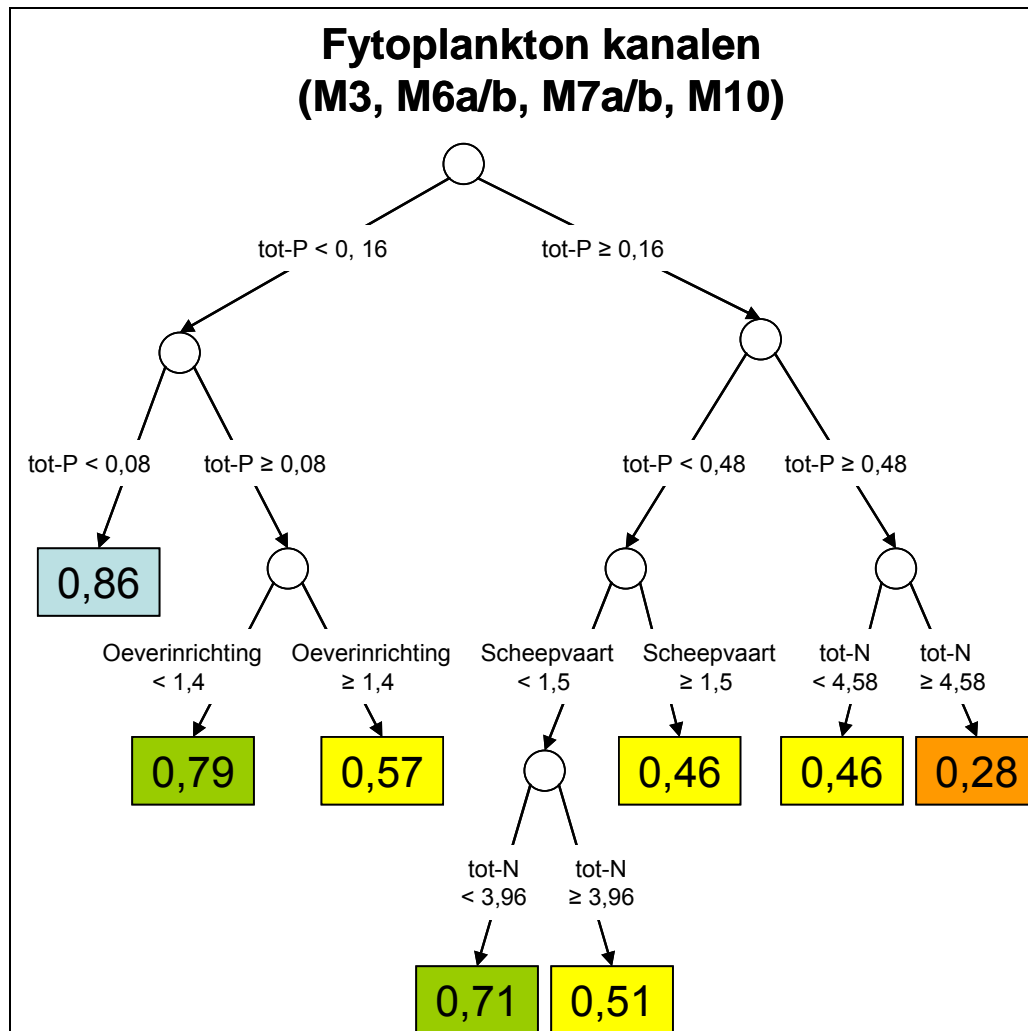
Figuur B3.10: EKR's voor vissen, alle codes, N= 106



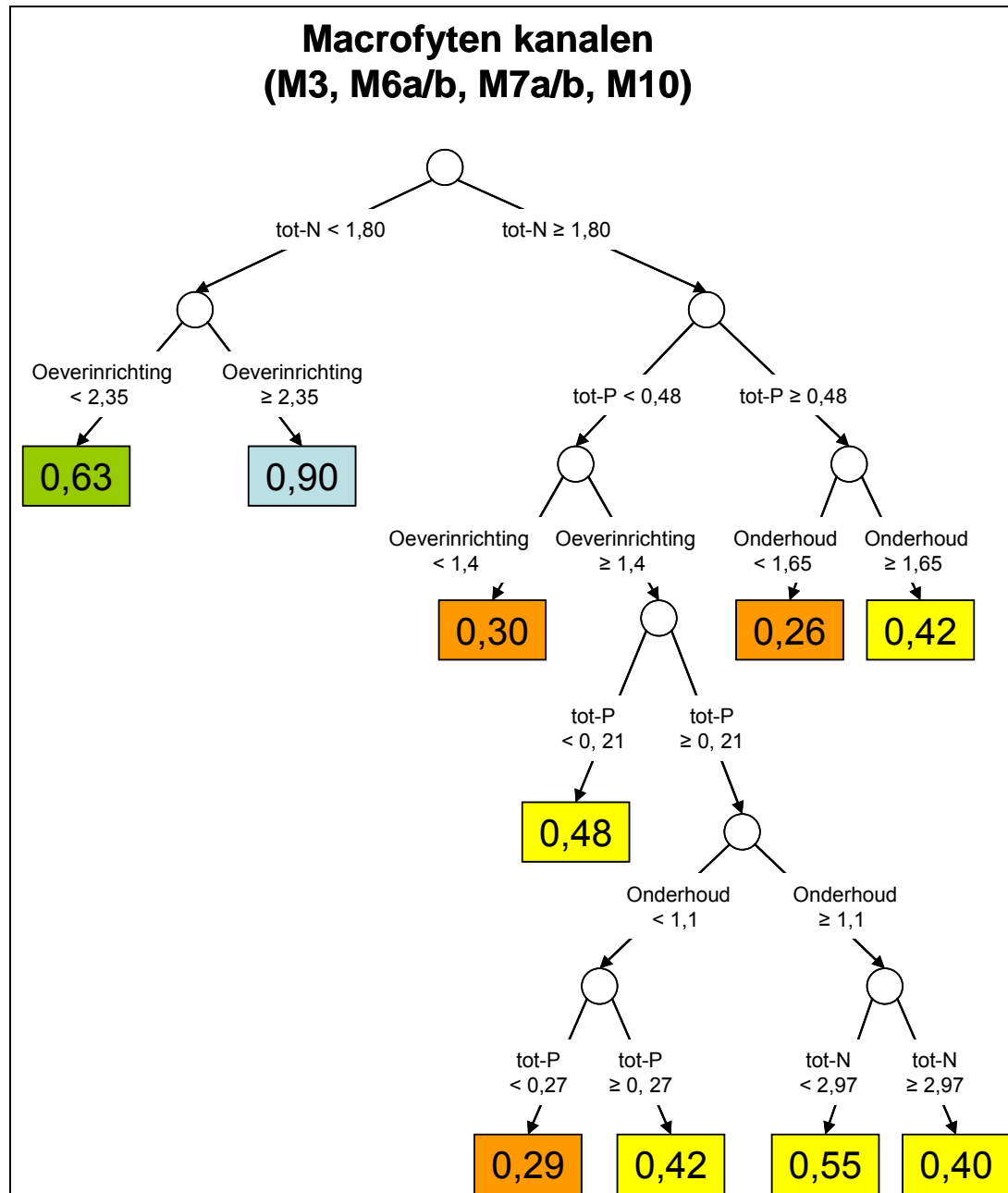


## ANALYSE KANALEN (M3, M6A/B, M7A/B EN M10)

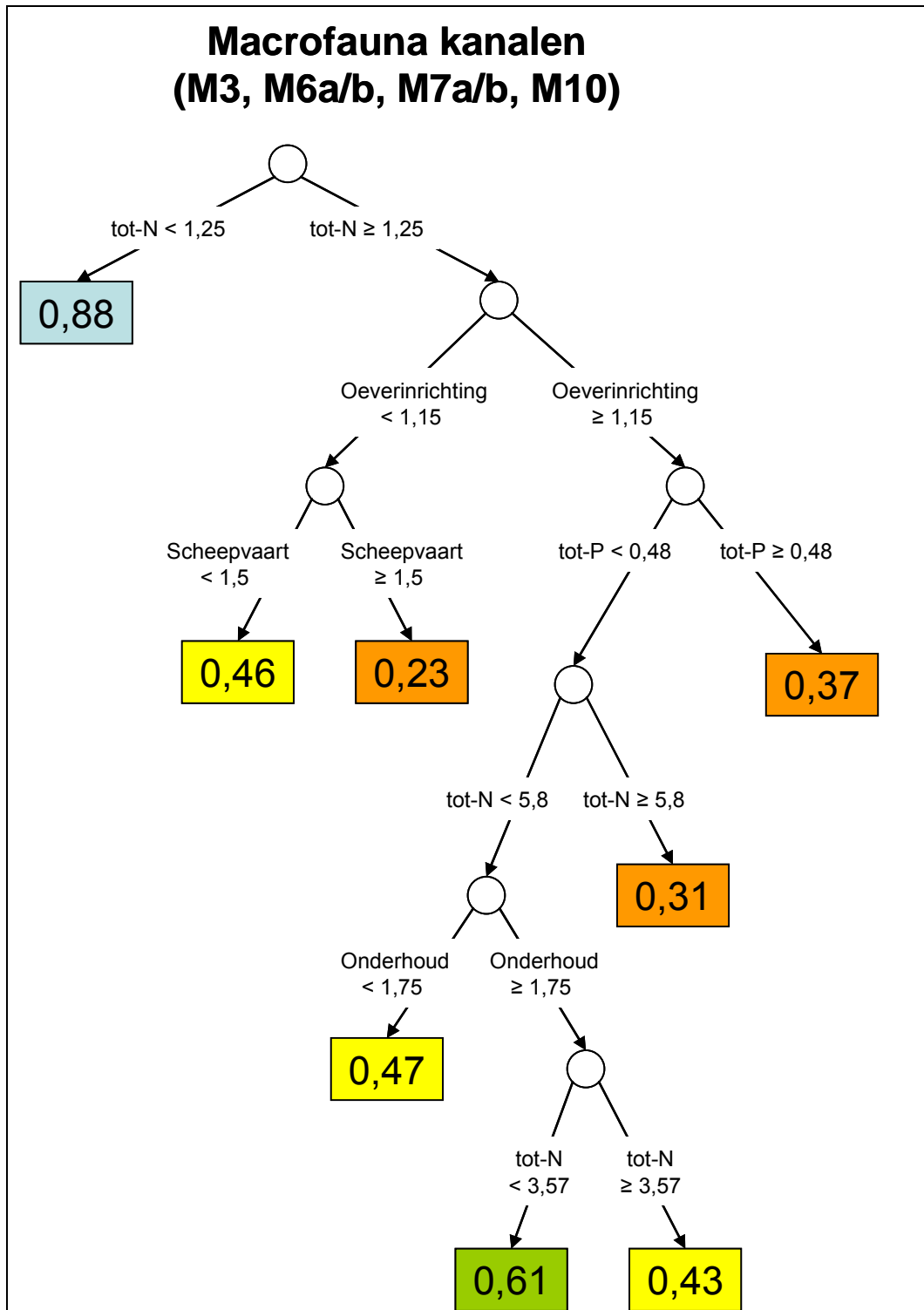
Figuur B3.11: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N= 205



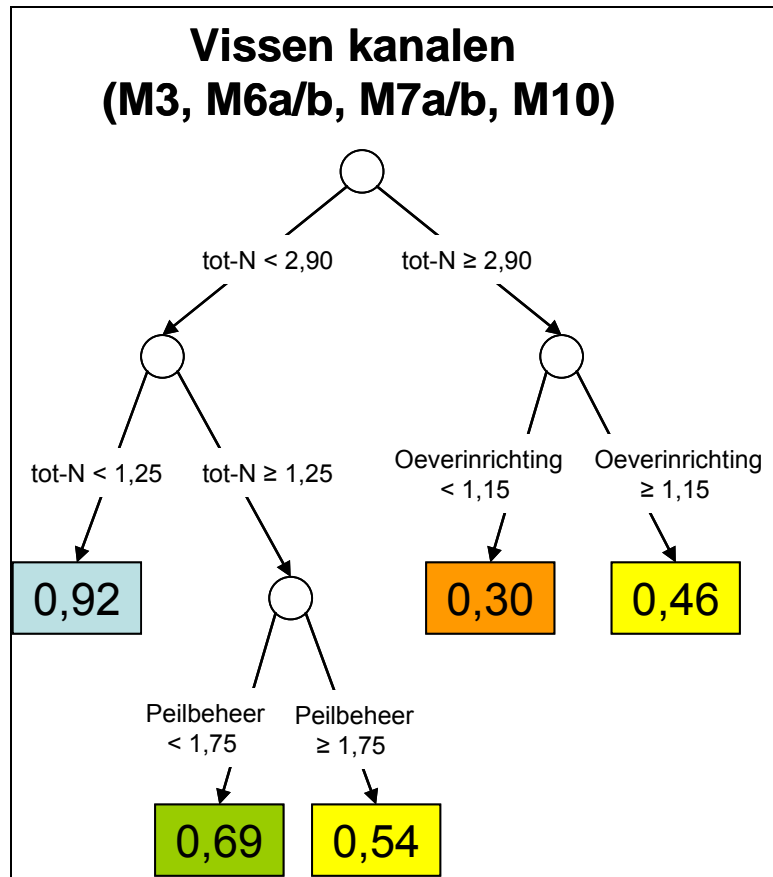
Figuur B3.12: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 205



Figuur B3.13: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 205

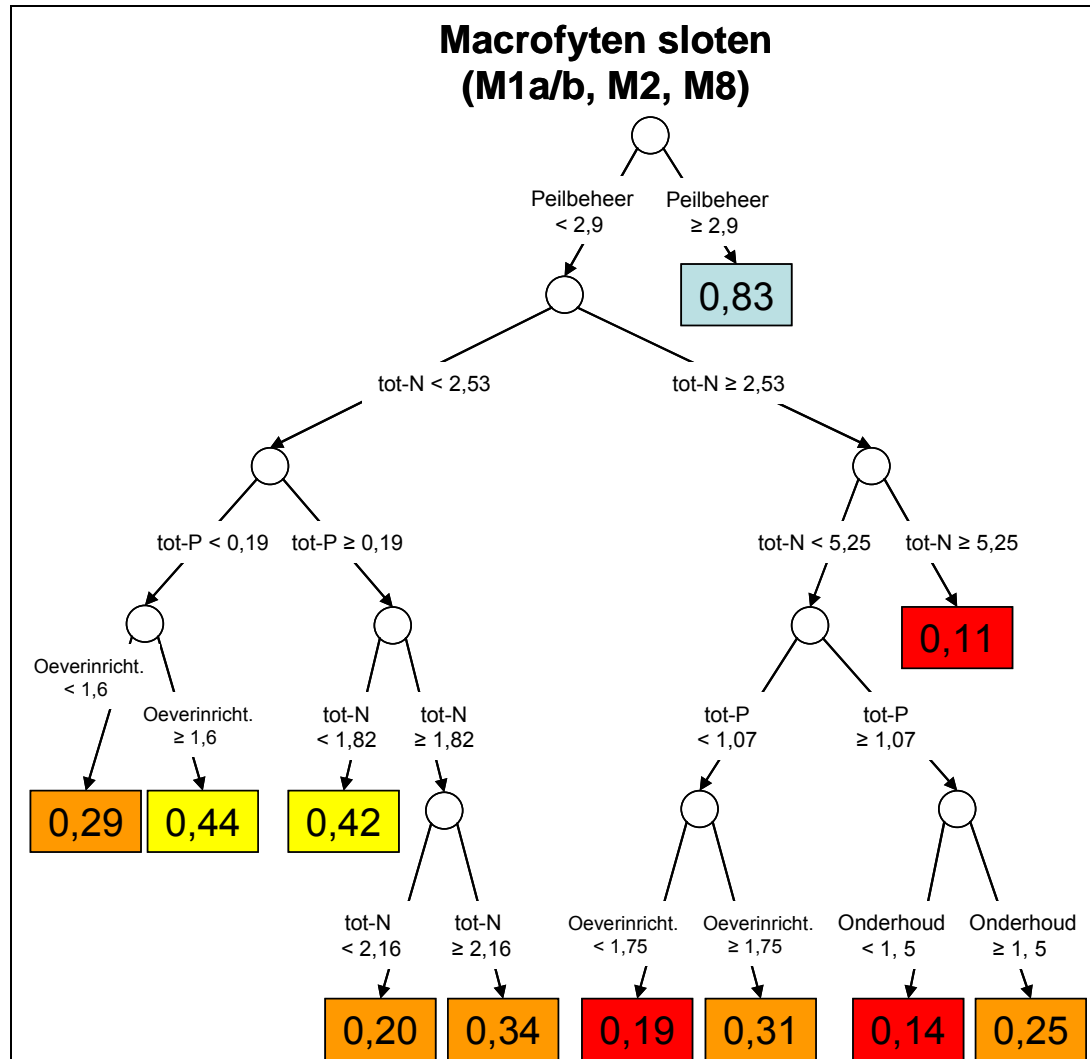


Figuur B3.14: EKR's voor vissen, alle codes, N= 205

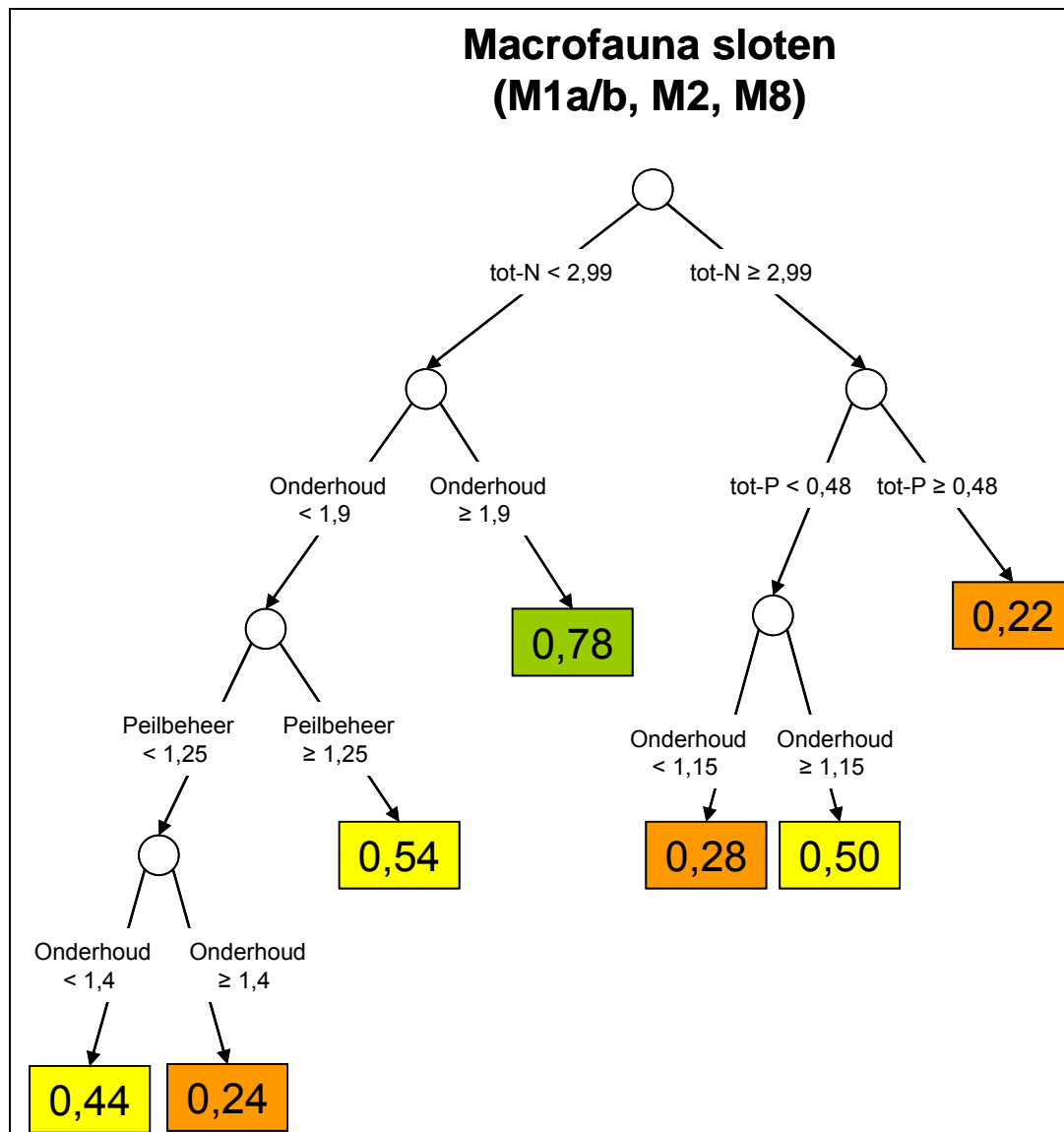


## ANALYSE SLOTEN (M01A/B, M02 EN M08)

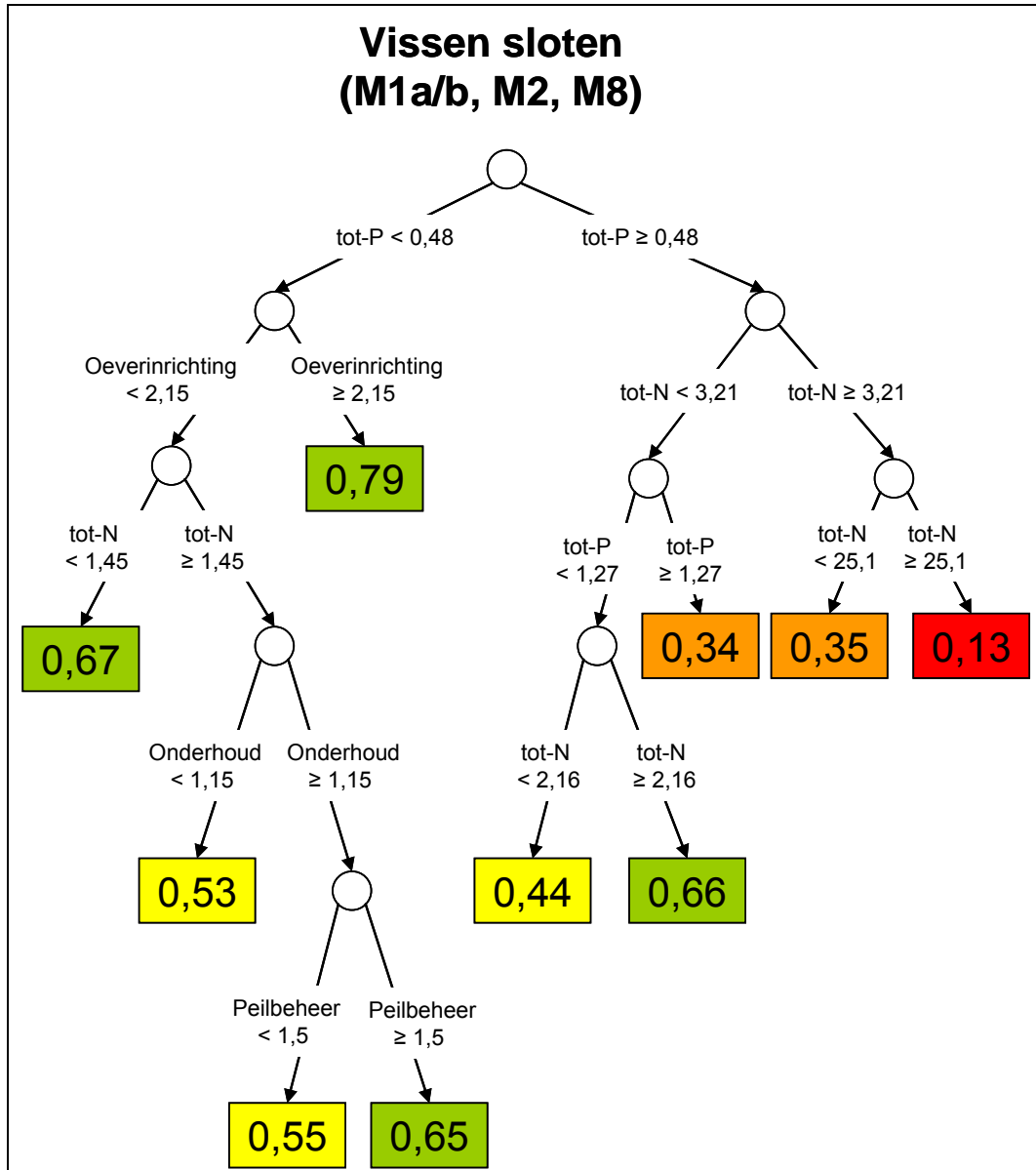
Figuur B3.15: EKR's voor macrofyten, alle codes, N= 197



Figuur B3.16: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 197

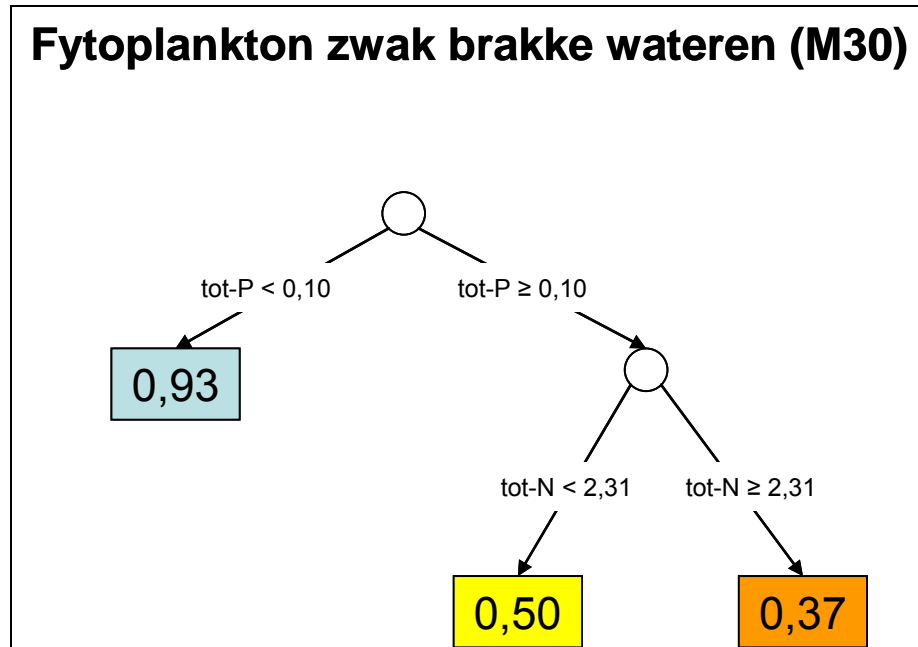


Figuur B3.17: EKR's voor vissen, alle codes, N= 197



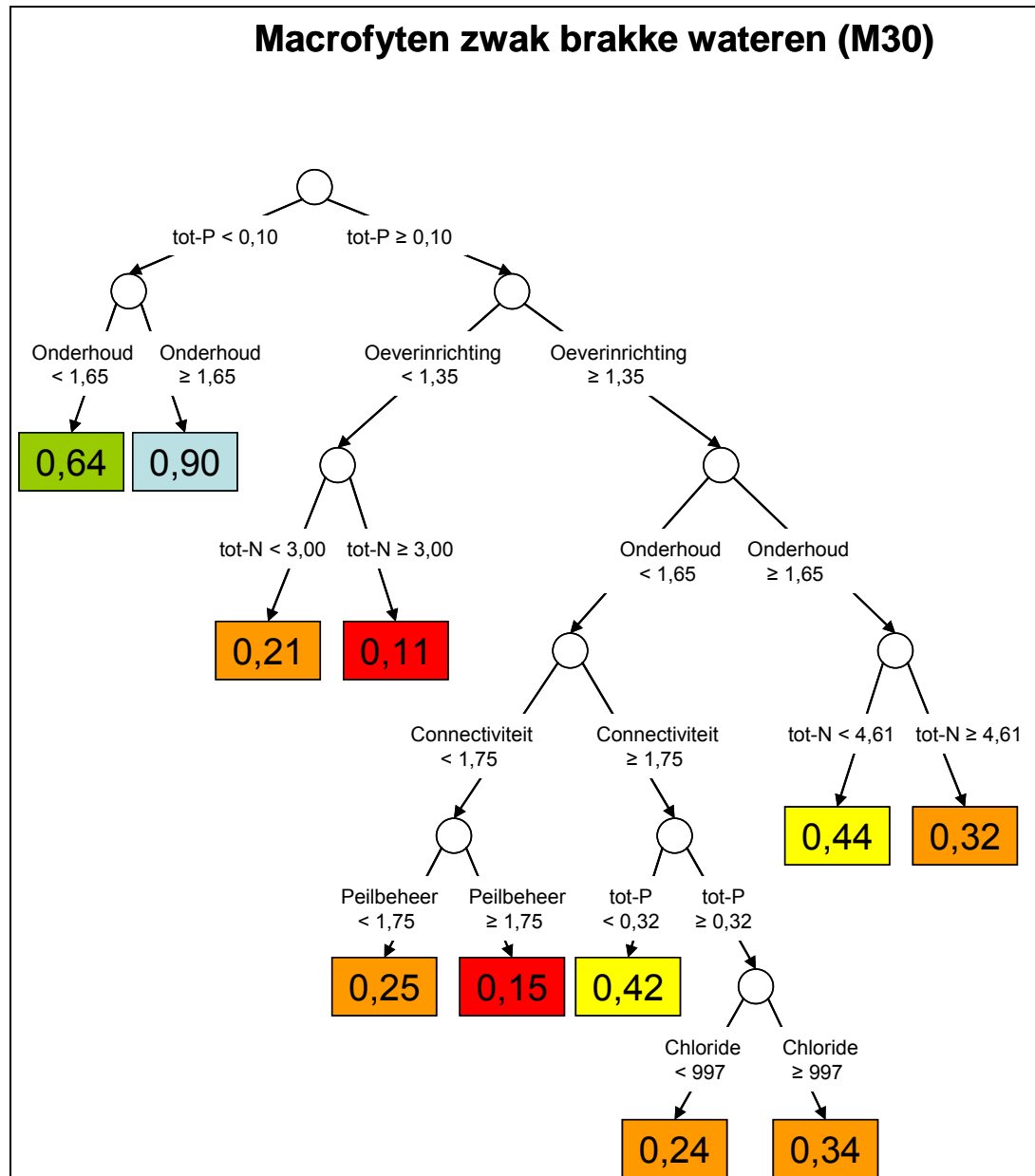
## ANALYSE ZWAK BRAKKE WATEREN (M30)

Figuur B3.18: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=202

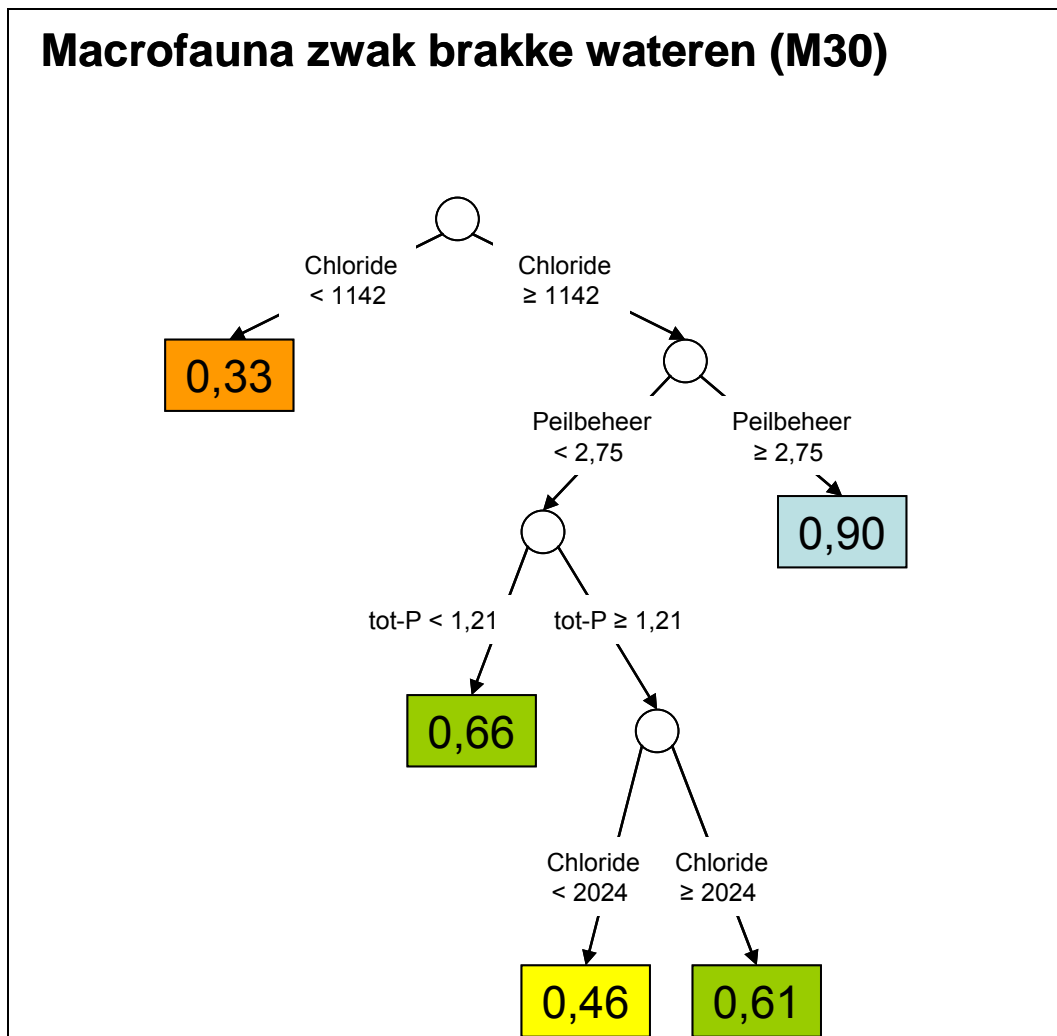




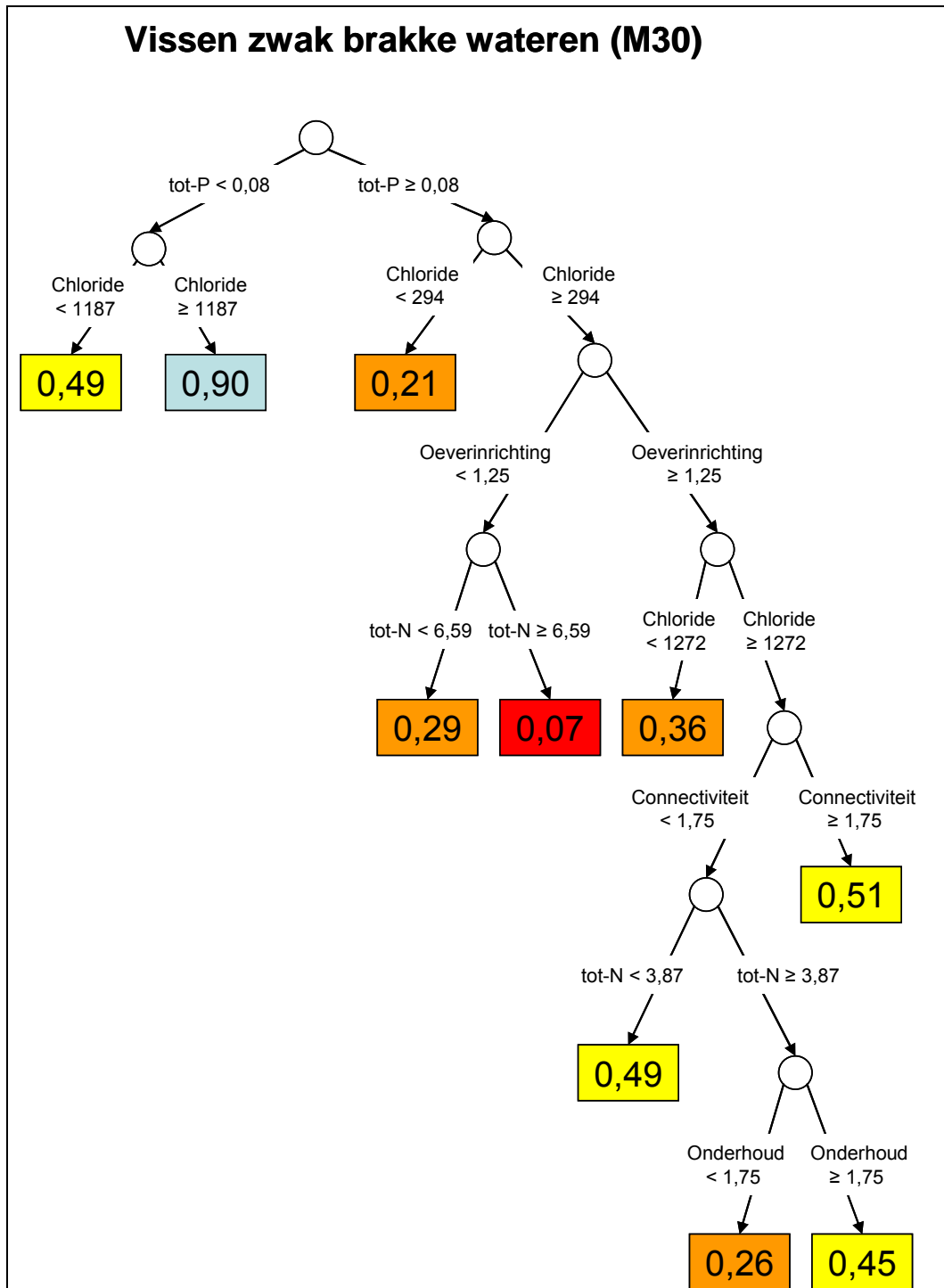
Figuur B3.19: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=202



Figuur B3.20: EKR's voor macrofauna, alle codes, N= 202

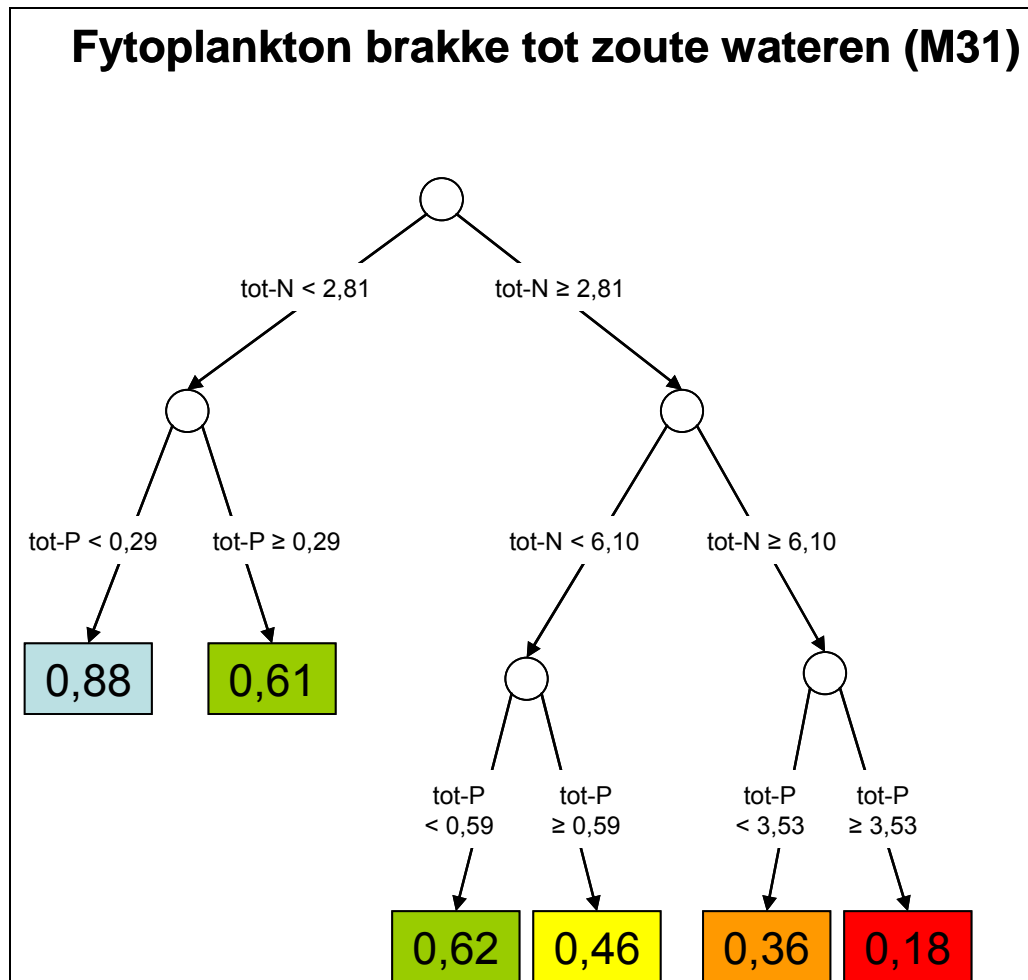


Figuur B3.21: EKR's voor vissen, alle codes, N= 202

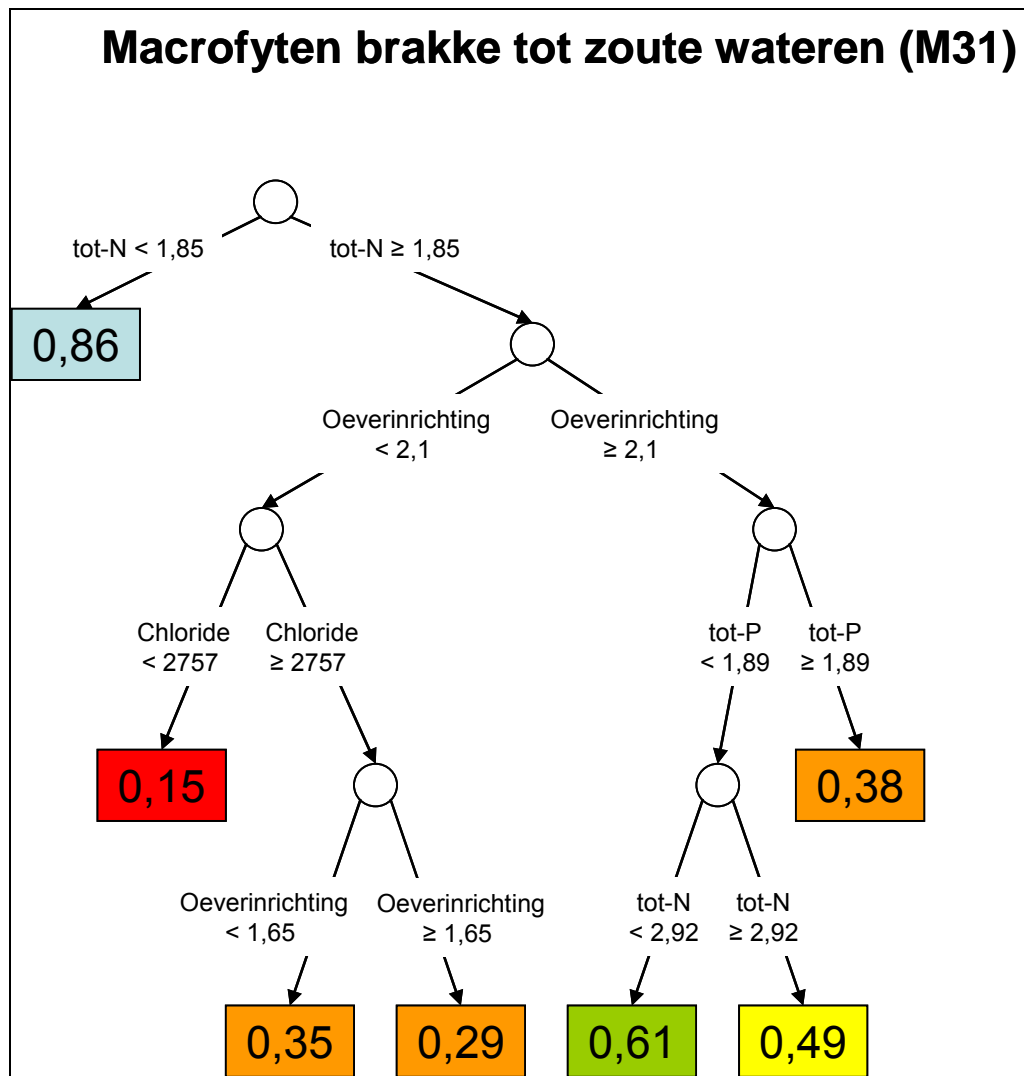


## ANALYSE BRAKKE TOT ZOUTE WATEREN (M31)

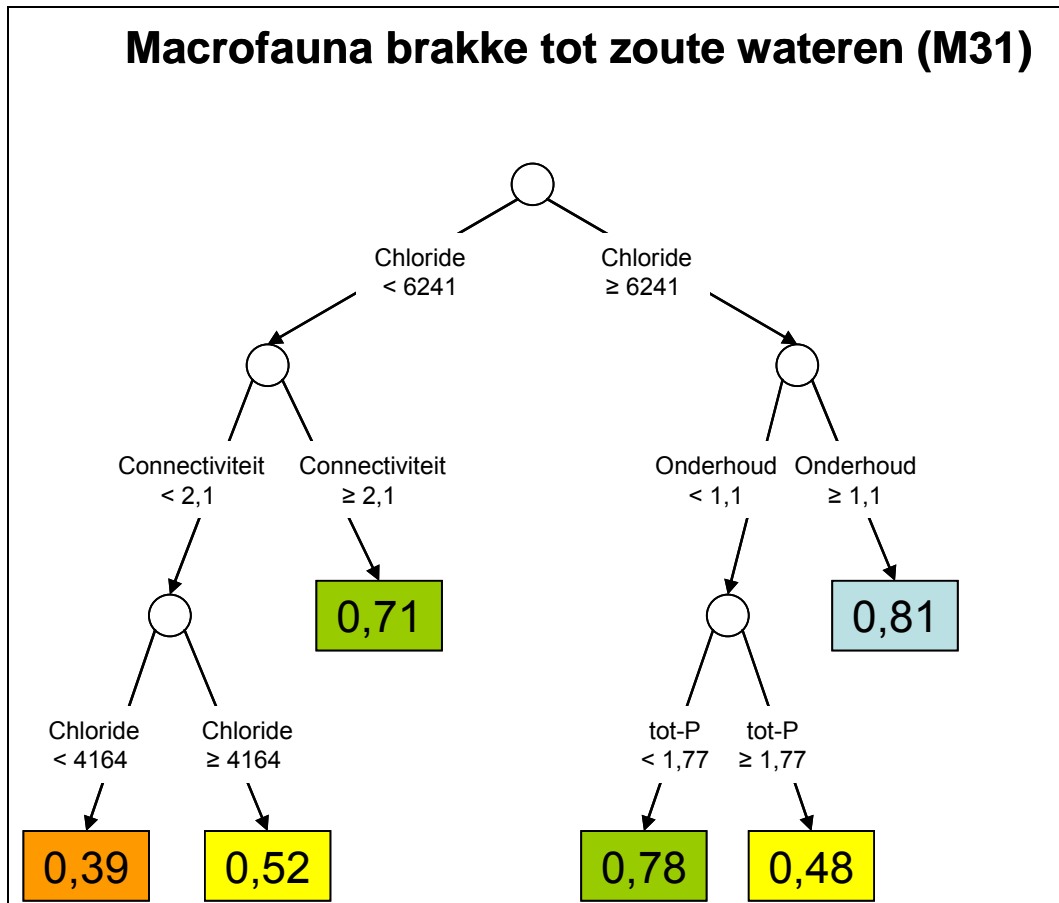
Figuur B3.22: EKR's voor fytoplankton, alle codes, N=158



Figuur B3.23: EKR's voor macrofyten, alle codes, N=158



Figuur B3.24: EKR's voor macrofauna, alle codes, N=158



Figuur B3.25: EKR's voor vissen, alle codes, N=158

