

Bronnen van inspiratie

Verkennde analyse van vijf jaar bronnenonderzoek in
Zuid-Limburg



Rapport 2015-014

H. Boonstra
H. van Dam
R. Bijkerk
J.H. Wanink

Bronnen van inspiratie

Verkennde analyse van vijf jaar bronnenonderzoek in
Zuid-Limburg

Rapport 2015-014

H. Boonstra
H. van Dam
R. Bijkerk
J.H. Wanink

 **Natuur
Water** Herman van Dam

 **koeman en bijkerk bv**
ecologisch onderzoek en advies

bezoekadres	oosterweg 127 Haren
postadres	postbus 111 9750 AC Haren
telefoon	050 8200018
telefax	050 8200013
email	info@koemanenbijkerk.nl
website	www.koemanenbijkerk.nl

Colofon


Opdrachtgever	Waterschap Roer en Overmaas Postbus 185, 6130 AD Sittard
Titel	Bronnen van inspiratie
Subtitel	Verkennde analyse van vijf jaar bronnenonderzoek in Zuid-Limburg
Auteurs	H. Boonstra, H. van Dam, R. Bijkerk, J.H. Wanink
Datum	24 juli 2015
Pagina's (inclusief bijlagen)	133
Opdrachtnr	431002 / 07500
Projectnr	2014-176
Rapportnr	KenB 2015-014/AWN 1405
Status	Definitief
Akkoord	drs. R. Bijkerk (directeur)
Paraaf	

Foto omslag: Belleterbeek bron (OBRON0513) (foto: Monique Korsten, Waterschap Roer en Overmaas)

Deze publicatie kan geciteerd worden als:

Boonstra H, van Dam H, Bijkerk R en Wanink JH (2015) Bronnen van inspiratie: Verkennde analyse van vijf jaar bronnenonderzoek in Zuid-Limburg. KenB rapport 2015-014. Koeman en Bijkerk bv, Haren. Rapport 1405. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.

© Koeman en Bijkerk bv / Waterschap Roer en Overmaas

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden veevoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Koeman en Bijkerk bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Koeman en Bijkerk bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede schade welke voortvloeit uit toepassingen van resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Koeman en Bijkerk bv; opdrachtgever vrijwaart Koeman en Bijkerk bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Inhoudsopgave

COLOFON	3
VOORWOORD	7
SAMENVATTING	9
1 INLEIDING	17
1.1 Aanleiding en doel	17
1.2 Achtergrond	17
1.3 Leeswijzer	20
2 MATERIAAL EN METHODEN	21
2.1 Uitgangsmateriaal en voorbereiding	21
2.1.1 Milieuvariabelen	21
2.1.2 Diatomeeën	23
2.1.3 Macrofauna	24
2.2 Univariate analyse	25
2.2.1 Ecologische kwaliteitsratio	25
2.2.2 Ecologische indicatiewaarden	26
2.2.3 Zeldzame en Rode-Lijstsoorten, diversiteit	27
2.2.4 Ecologische gilden	28
2.3 Regressie analyse	29
2.4 Multivariate analyse	29
2.4.1 Classificatie (clusteranalyse)	29
2.4.2 Ordinatie	30
3 RESULTATEN	33
3.1 Waterkwaliteit	33
3.1.1 Herkomst van het bronwater	33
3.1.2 Ionenrijkdom	33
3.1.3 pH en alkaliniteit	34
3.1.4 Macro-ionen	35
3.1.5 Voedselrijkdom	36
3.2 Diatomeeën	38
3.2.1 Ecologische kwaliteit	38
3.2.2 Ecologische indicatiewaarden	40
3.2.3 Zeldzame en Rode-Lijstsoorten, diversiteit	41
3.2.4 Ecologische gilden	44
3.2.5 Clusteranalyse	45
3.2.6 Ordinatie	52
3.3 Macrofauna	55
3.3.1 Ecologische kwaliteit KRW	55
3.3.2 Ecologische indicatiewaarden	56
3.3.3 Zeldzame, kenmerkende en nieuwe soorten	57
3.3.4 Clusteranalyse	59
3.3.5 Ordinatie	73
3.4 Integratie	75
4 DISCUSSIE	77

4.1	Kwaliteit	77
4.2	Diversiteit	79
4.3	Zeldzaamheid, Rode-Lijstsoorten	81
4.4	Droogtetolerantie (alleen diatomeeën)	82
4.5	Bronsoorten	82
4.6	Soortensamenstelling	84
4.7	Integratie van de clusterindeling	87
4.8	Taxa van hogere niveaus	88
4.9	Temporele variatie	88
4.10	Habitatvariatie	90
4.11	Begrazing (alleen diatomeeën)	91
4.12	Overige milieuv variabelen	91
4.13	Stuurvariabelen	94
5	CONCLUSIES	97
5.1	Chemische typologie en voedselrijkdom	97
5.2	Kiezelwieren	97
5.3	Macrofauna	98
6	LITERATUUR	101
BIJLAGE 0	MILIEUVARIABLEN	107
BIJLAGE 1	MONSTER- EN LOCATIE OVERZICHT MACROFAUNA EN DIATOMEËN	108
BIJLAGE 2	IPS (INDICE DE POLLUOSENSITIVITE SPECIFIQUE)	110
BIJLAGE 3A	LEGENDA ECOLOGISCHE INDICATIEWAARDEN DIATOMEËN	112
BIJLAGE 3B	LEGENDA MILIEU- EN HABITATPREFERENTIES MACROFAUNA	114
BIJLAGE 4	BASISGEGEVENS DIATOMEËN	115
BIJLAGE 5	SOORTEIGENSCHAPPEN DIATOMEËN	116
BIJLAGE 6	DIATOMEËNKARAKTERISTIEKEN MONSTERS	119
BIJLAGE 7	CORRELATIES DIATOMEËN- EN MACROFAUNAKARAKTERISTIEKEN MET MILIEUVARIABLEN	120
BIJLAGE 8	CLUSTERANALYSE DIATOMEËN	122
BIJLAGE 9	CORRELATIES ASSEN ORDINATIES DIATOMEËN MET MILIEUVARIABLEN	123
BIJLAGE 10	ORDINATIEDIAGRAMMEN DIATOMEËN	125
BIJLAGE 11	BASISGEGEVENS VOOR UNIVARIATE ANALYSES EN QBWAT BEREKENINGEN MACROFAUNA	127
BIJLAGE 12	BASISGEGEVENS VOOR CLUSTERING EN MULTIVARIATE ANALYSES MACROFAUNA	128
BIJLAGE 13	EKR EN INDICATORAANTALLEN MACROFAUNA	129
BIJLAGE 14	CLUSTERANALYSE MACROFAUNA	130
BIJLAGE 15	CORRELATIES ASSEN ORDINATIE MACROFAUNA MET MILIEUVARIABLEN	131
BIJLAGE 16	ORDINATIEDIAGRAMMEN MACROFAUNA	132

Voorwoord

Bronnen zijn plaatsen waar grondwater op natuurlijke wijze uit de bodem treedt. Ze komen voor langs hellingen van reliëfrijke landschappen met ondoorlatende bodemlagen in de ondergrond. Bronnen vormen bijzondere milieus met een zeer gelijkmatige toestand van sommige abiotische factoren, zoals stroomsnelheid, watertemperatuur, zuurstof en voedselrijkdom. Door de smalle amplitude aan milieuv variabelen en geringe dispersie mogelijkheden zijn de voorkomende bronminnende of brongebonden aquatische organismen grotendeels zeldzaam en zijn deze leefmilieus ongekend waardevol.

In Zuid-Limburg ontspringen honderden bronnen, waarvan in de afgelopen tijd vele uitvoerig zijn geïnventariseerd en onderzocht door het Waterschap Roer en Overmaas. Aan deze schat aan informatie hebben we een verkennende analyse mogen uitvoeren, waarvan we de resultaten in dit rapport beschrijven.

Er was weinig bekend over de actuele toestand van de bronnen en in het bijzonder over hun macrofauna- en kiezelwiergemeenschappen. Om de kennis omtrent de toestand van de bronnen wezenlijk te verbreden, is in 2007 op initiatief van Bert Pex, Barend van Maanen en Monique Korsten van het Waterschap Roer en Overmaas het 'bronnenonderzoek' gestart.

De auteurs danken daarom Bert Pex, Barend van Maanen en Monique Korsten van het Waterschap Roer en Overmaas voor de inhoudelijke inbreng en de prettige begeleiding van het project. Hub Cuppen (Adviesbureau Cuppen) danken wij voor zijn rol bij de initiatie van dit project. Adrienne Mertens (Grontmij) gaf taxonomische en ecologische informatie over de kiezelwieren.

Haren/Amsterdam, 24 juli 2015

Harry Boonstra
Herman van Dam
Ronald Bijkerk
Jan Wanink

Samenvatting

Aanleiding en doelen

In Zuid-Limburg komen vele honderden bronnen voor. Een aantal van deze bronnen wordt vanouds door mensen gebruikt en wordt daardoor sterk beïnvloed. Hierbij gaat het vooral om drainage, vastlegging, betreding, vuilstort en bemesting door vee, uit- en afspoeling van meststoffen, wat tot hoge nitraatconcentraties heeft geleid.

Van de actuele ecologische toestand van de bronnen en de relatie met milieufactoren was weinig bekend. De meest recente onderzoeken zijn uitgevoerd eind jaren zeventig en begin jaren tachtig van de vorige eeuw. Daarom hebben medewerkers van het Waterschap Roer en Overmaas van 2008 tot en met 2014 bepalingen gedaan van de fysisch-chemische samenstelling van het water en inventarisaties uitgevoerd van de macrofauna, de benthische diatomeeën (kiezelwieren) en de (vegetatie) in circa zestig permanente bronnen. Ook is de bronmorfologie onderzocht en is getracht de mate van beïnvloeding en natuurlijkheid te beschrijven. In deze rapportage wordt een selectie van 64 bronnen meegenomen uit de periode 2008-2012. De onderzochte bronnen liggen voornamelijk in het stroomgebied van de Geul en in het stroomgebied van de Anselderbeek ten zuidoosten van Heerlen.

Doelen

In opdracht van het waterschap hebben wij een verkennende analyse uitgevoerd van deze gegevens, waarvan de resultaten in dit rapport gepresenteerd worden. Deze analyse moest in hoofdlijnen het volgende duidelijk maken:

- wat is de huidige ecologische toestand van de bronnen;
- welke typen bronnen kunnen op basis van de kiezelwieren en macrofauna onderscheiden worden en wat zijn de relaties tussen deze typen;
- welke relaties zijn er tussen de biologische soortensamenstelling en de gemeten milieuv variabelen;
- wat zijn de belangrijkste milieuv variabelen (stuurvariabelen) voor de soortensamenstelling;
- hoe ziet de gewenste goede ecologische toestand eruit en wat zijn de belangrijkste knelpunten voor het bereiken daarvan;
- wat zijn leemten in onze kennis van de bronnen.

Chemische typologie

Macro-ionen

In Nederland komen bronnen voor op de Veluwe, in het Rijk van Nijmegen, in Twente, in Noord-Limburg en in Zuid-Limburg. De Zuid-Limburgse bronnen onderscheiden zich van de overige Nederlandse bronnen door hun kalkrijkdom. Van de 51 bronnen waar de samenstelling van macro-ionen in het bronwater is onderzocht, behoren 48 (94%) tot het calcium-bicarbonaat type. Het dominante kation hier is calcium en het dominante anion is bicarbonaat. Twee bronnen worden gerekend tot het calcium-chloride type. In het water van deze bronnen, Kattebeek (KATTa) en Zieversbeek (828), is het chloridegehalte

verhoogd, mogelijk als gevolg van het strooien van pekels in de winter. Van één bron, Hermansbeek zijtak (822) is het water van het calcium-sulfaat type. Het verhoogde sulfaatgehalte kan hier het gevolg zijn van de oxidatie van pyriet in de ondergrond. Er is tussen de bronnen een groot verschil in totale ionenrijkdom (range 176-825 mg/l en 3-16 mmol/l) en daarmee in het elektrisch geleidingsvermogen (range 27-114 mS/m). Er is een significant positief verband tussen de ionenrijkdom in meq/l en het EGV₂₅ ($R^2 = 0,80$, $p < 0,001$).

Alkaliniteit

Ofschoon de meeste bronnen hard tot zeer hard water bezitten met een hoge alkaliniteit, zijn er enkele met een lagere alkaliniteit. Bijna de helft (49%) van de bronnen bezit zeer hard water (alkaliniteit > 4 meq HCO_3/l) en iets meer dan een derde (39%) bezit hard water (alkaliniteit 2-4 meq HCO_3/l). Matig hard water (1-2 meq HCO_3/l) komt voor in bijna tien procent van de bronnen. Van één bron, Hermansbeek zijtak (822), heeft het water een uitgesproken lage alkaliniteit (< 1 meq HCO_3/l) en wordt het daarom gekarakteriseerd als zacht. In deze bron is ook de laagste pH gemeten van 6,3. Overigens is geen duidelijk verband te zien tussen de gemeten alkaliniteit en de pH. Bij acht bronnen zijn zeer hoge pH's gemeten tussen 9 en 10. Het in de bronnen opwellende grondwater is vaak zuur, bij het dagzomen hiervan ontwijkt er koolzuurgas en stijgt de pH.

Voedselrijkdom

Van de 51 bronnen waarvan gehalten van voedingsstoffen beschikbaar zijn (opgelost reactief fosfaat (DRP of orthofosfaat en totaal-P) en opgeloste anorganische stikstof (DIN) en totaal-N), voldoet slechts één bron voor beide nutriënten aan de goede ecologische toestand, zoals omschreven in de referentie en maatlaten voor dit type bron (R2). Dat is de bron Klitserbeek (506). Bij het merendeel van de bronnen is vooral het stikstofgehalte sterk verhoogd; slechts vier bronnen (8%) voldoen wat stikstof betreft aan de goede tot zeer goede ecologische toestand. Nitraat is de belangrijkste stikstofcomponent. Wat fosfaat betreft voldoet 57% van de bronnen aan de norm. Door de overmaat aan stikstof wordt de primaire productie in potentie beperkt door fosfaat. Een uitzondering vormt de bron Reijmersbekervloedgraaf (REIJ), waar stikstof potentieel limiterend is met een N:P verhouding van slechts 2 mg N/mg P.

Kiezelwieren

Onderzoek

In 64 bronnen zijn samengestelde monsters genomen van het aangroei van (kiezel)stenen, grind, zand en plantendelen. De monsters zijn verwerkt tot preparaten, waarin gemiddeld 226 schaaltes met zeer recente literatuur zijn gedetermineerd en geteld. Uit de soortensamenstelling is de Ecologische KwaliteitsRatio (EKR) op basis van de IPS (Indice de Polluosensitivité Spécifique) vastgesteld. Verder zijn berekend: de ecologische indicatiewaarden voor zuurgraad (R), zoutgehalte (H), organisch gebonden stikstof (N), zuurstof (O), saprobie (S), trofie (T) en droogvalresistentie (M), de zeldzaamheid van soorten in Nederland, het aantal soorten volgens de Duitse Rode Lijst, het aantal soorten dat in Limburg gebonden is aan bronmilieus en de diversiteit (aantal soorten in de telling). Daarnaast is het procentuele aandeel van drie ecologische gilden

(hoog profiel, laag profiel, mobiele soorten) berekend. De gegevens zijn via de volgende statistische methoden geanalyseerd: clusteranalyse (TWINSPAN), ordinatie (PCA, CANOCO) en toetsing van de relatie tussen milieuvariabelen en de onderscheiden clusters (Kruskall Wallis).

Soortensamenstelling

Uit buitenlands onderzoek blijkt dat de soortensamenstelling van diatomeeën in bronnen door het jaar heen en tussen opvolgende jaren tamelijk constant is, mits er geen ingrijpende milieuveranderingen hebben plaatsgevonden. De kiezelwiergegevens die tussen 2008 en 2012 zijn verzameld geven daarom een goed beeld van de toestand van de Zuid-Limburgse bronnen.

In totaal zijn 212 taxa in de bronnen aangetroffen. De meest voorkomende, in 23% tot 95% van de monsters, zijn *Planothidium lanceolatum* (gemiddelde hoeveelheid 20%), *Achnantheidium minutissimum* (15%), *Planothidium frequentissimum* (9%), *Amphora pediculus* (8%) en *Achnantheidium affine* (5%). *A. affine* lijkt een soort te zijn van wat minder voedselrijke wateren, de overige soorten zijn zeer algemeen in allerlei stromende en stilstaande, voedselarme tot voedselrijke wateren. De soortensamenstelling komt in grote trekken overeen met die in andere Europese kalk- en nitraatrijke bronnen. Opmerkelijk is wel dat de daarin veel voorkomende fragilarioïde soorten vrijwel ontbreken in de Zuid-Limburgse bronnen. In de Alpen hebben kalkrijke bronnen met nitraatverrijking of beschaduwing ongeveer een zelfde soortensamenstelling, hoewel daar ook nog soorten van minder belaste wateren aanwezig zijn.

Zeldzame taxa en natuurwaarde

Van de aangetroffen taxa zijn 98 zeldzaam in Nederland en zijn 11 soorten nieuw voor Nederland. Er zijn 20 taxa die in Limburg specifiek zijn voor bronnen en 10 taxa komen voor op de Duitse Rode Lijst. Deze indrukwekkende aantallen geven de grote natuurwaarde van de Zuid-Limburgse bronnen goed aan.

De nieuwe soorten voor Nederland komen ook in het buitenland vooral in (kalkrijke) bronnen voor. Zes van de in Limburg specifiek in bronnen aangetroffen soorten komen in Europa vooral in kalktufbronnen voor. Voor het vaststellen van de natuurwaarde is determinatie tot op soortniveau noodzakelijk.

Het aantal bijzondere soorten is sterk gecorreleerd met de bedekking van de moslaag, het gehalte bicarbonaat en de habitatdiversiteit. Het aantal soorten in de telling is gemiddeld 21, neemt toe met toenemende stromingsvariatie, afvoer en aantal substraten, maar neemt af met aanwezigheid van slib en fijn detritus.

Ecologische toestand

Op één bron na, de bron van de Bommerigerbeek(489) die matig scoort, wordt de ecologische toestand van alle bronnen op basis van de kiezelwieren beoordeeld als goed tot zeer goed. De EKR ligt tussen 0,50 en 0,94 en bedraagt gemiddeld 0,78. De relaties tussen de EKR en de gemeten milieuvariabelen zijn niet erg sterk. Significant positieve relaties zijn er onder andere met geleidingsvermogen, bicarbonaat en nitraat. Deze

relatie met nitraat is opmerkelijk en anders dan in de meeste wateren. Een negatief verband is er met stroomsnelheid en het gehalte totaal-fosfaat.

Ecologische indicatiewaarden

Volgens de ecologische indicatiewaarden gaat het om alkalische, zoete, voedselrijke, β -mesosaprobe wateren, met voornamelijk stikstofautotrofe soorten met een vrij hoge zuurstofbehoefte. Opvallend veel soorten kunnen, evenals dat in andere Europese bronnen het geval is, voorkomen op natte en vochtige, of tijdelijk droogvallende plaatsen (aerofiele soorten). De aerofiele soorten hebben significant positieve correlaties met zwevende stof, beschaduwing, organisch dood materiaal en significant negatieve correlaties met waterbreedte en stenig substraat. De zuurstof- en saprobie-indicaties zijn negatief gecorreleerd met onder andere geleidingsvermogen, bicarbonaat, mosbedekking en habitatdiversiteit en positief met meandering en fijn mineraal substraat. Dit betekent een betere kwaliteit bij een hogere mineralenrijkdom en habitatdiversiteit en een lagere kwaliteit op plaatsen waar fijn mineraal substraat tot rust komt.

Ecologische gilden

Gemiddeld 70% van de aangetroffen diatomeeën behoort tot het gilde van het lage profiel. In tegenstelling tot de verwachting is de hoeveelheid van het lage profiel negatief gecorreleerd met de stroomsnelheid. De (relatieve) hoeveelheden van de gilden geven hier niet veel inzicht in de relaties tussen de diatomeeën en hun omgeving.

Brontypologie en relaties met milieufactoren

Bij de clusteranalyse zijn zes clusters onderscheiden. Tussen de clusters zijn significante verschillen in de medianen van de ecologische indicatiegetallen, de totale aantallen taxa en de aantallen zeldzame taxa, nieuwe taxa voor Nederland, Rode-Lijstsoorten en Limburgse bronsoorten.

Van de milieufactoren zijn afvoer, graasdruk van de macrofauna, substraat (onder andere hoeveelheid mos en grind) en habitatdiversiteit (gerelateerd aan de stroomsnelheid), het meest significant verschillend tussen de clusters. In mindere mate is dit het geval met alkaliniteit en daaraan verwante variabelen als zuurgraad, bicarbonaat, calcium en kalkverzadiging. Daarnaast zijn er ook verschillen in ammonium-stikstof en totaal-fosfaat. Nitraat, dat bijna 95% uitmaakt van de totale hoeveelheid gebonden stikstof, verschilt niet significant tussen de clusters. Stikstof is hier in overmaat aanwezig en fosfaat is beperkend voor de diatomeeën (de N/P-ratio is gemiddeld 394 mol/mol!).

De meeste bijzondere soorten komen voor in het cluster waarvan de locaties zeer rijk zijn aan bicarbonaat. Deze locaties (onder andere Vlikerwaterlossing zijtak bron, Onderzietlossing bron en Fröschebron) liggen verspreid in het Geuldal. De minste bijzondere soorten zijn aangetroffen in een cluster met relatief weinig bicarbonaat en sterke kalkonderverzadiging en hoge fosfaatconcentraties en liggen in het gebied met intensieve landbouw tussen Gulpen, het Drielandpunt en Slenaken. Een groot deel van deze locaties ligt in het stroomgebied van de Zieversbeek.

Uit de ordinatie van de soorten komt een vergelijkbaar beeld naar voren. De eerste twee assen verklaren bijna een derde van de totale variatie in de soortensamenstelling, hetgeen aanzienlijk is. De clusters worden in het ordinatiediagram goed uit elkaar gehouden. Dat geldt ook voor de ordinatie van de genera, zij het dat hierin minder spreiding is door het samenvoegen van kwantitatief belangrijke *Achnanthydium*-soorten.

Macrofauna

Onderzoek

In 64 bronnen zijn samengestelde monsters genomen van de aanwezige microhabitats. De monsters zijn zo snel als mogelijk uitgezocht waarna met de meest actuele literatuur is gedetermineerd. Uit de soortensamenstelling is de Ecologische KwaliteitsRatio (EKR) vastgesteld. Verder zijn berekend: de ecologische indicatiewaarden voor zuurgraad, substraat, saprobie, trofie, de zeldzaamheid van soorten in Nederland, de positieve, negatieve en kenmerkende indicatorsoorten van R2 maatlat en de diversiteit (aantal soorten). Daarnaast is voor de soorteigenschappen voedingsstrategie en bewegingsgedrag een index berekend. De gegevens zijn via de volgende statistische methoden geanalyseerd: clusteranalyse (TWINSPAN), ordinatie (PCA, CANOCO) en toetsing van de relatie tussen milieuv variabelen en de onderscheiden clusters (one way ANOVA, Kruskal Wallis).

Soortensamenstelling

Net als in andere watertypen varieert de soortensamenstelling van de macrofauna in bronnen gedurende het seizoen. Wanneer een brede range van typen bronnen wordt bemonsterd, is een eenmalige bemonstering op zijn plaats om een goed beeld te geven van de toestand. Een belangrijke voorwaarde om de monsters te kunnen vergelijken, is wel dat monsters genomen zijn in hetzelfde seizoen.

In totaal zijn 295 taxa in de bronnen aangetroffen. De meest voorkomende taxa zijn de keverlarve *Elodes*, de vlokreeft *Gammarus fossarum* en juveniele individuen van het geslacht *Gammarus*. Deze drie taxa komen voor in 88% tot 100% van de monsters. Op basis van individuen zijn *G. fossarum*, de steenvlieg *Nemoura marginata* gr. en *Elodes* het meest abundant. *G. fossarum* is zelfs zeer dominant aanwezig en is goed voor 44% van de gevonden individuen in de monsters. De bronnen van Limburg zijn kalkrijk en ook buitenlandse onderzoekers vinden in harde, kalkrijke bronwateren vaak een dominantie van vlokreeften. Door hun talrijkheid zorgen ze voor een groot deel van de afbraak van het allochtone organisch materiaal (vooral afgefallen blad) in de bronnen. De larven van het kevergeslacht *Elodes* worden ook in andere Europese onderzoeken veelvuldig aangetroffen in bronnen.

De bronnen herbergen vele karakteristieke soorten. Zo zijn 136 (ruim 46%) van de aangetroffen taxa aangewezen als kenmerkend voor bronnen op de KRW-maatlat voor het type R2. Echt typische bronsoorten zijn vooral te vinden in de groep van de kokerjuffers (bijvoorbeeld *Plectrocnemia brevis*, *Adicella filicornis*), watermijten (bijvoorbeeld *Protzia eximia*, *Ljania bipapillata*), dansmuggen (bijvoorbeeld *Eukiefferiella gracei*, *Rheocricotopus effusus*) en platwormen (bijvoorbeeld *Polycelis felina*).

De soortensamenstelling van de Zuid-Limburgse bronnen komt maar gedeeltelijk overeen met de fauna van bronnen in de rest van Nederland en de naburige landen. De matige overlap in soortensamenstelling laat zien dat bronnen unieke habitats vormen voor macrofaunasoorten en dat ze bijdragen aan de lokale en regionale biodiversiteit.

Zeldzame taxa en natuurwaarde

Van de aangetroffen taxa zijn 77 zeldzaam in Nederland en 4 nieuw voor ons land. Vijftien taxa komen er voor op de Nederlandse Rode Lijst. Deze indrukwekkende aantallen geven de grote natuurwaarde van de Zuid-Limburgse bronnen goed aan. Voorbeelden van soorten die zeldzaam en kenmerkend zijn voor bronnen zijn onder meer de watermijten *Atractides fonticolus* en *A. pennatus*, de platworm *Crenobia alpina* en de kokerjuffers *Drusus annulatus*, *Ernodes articularis*, *Tinodes unicolor* en *Wormaldia occipitalis*. Drie van de vier nieuwe soorten komen ook in het buitenland vooral in bronnen voor. Voor het vaststellen van de natuurwaarde van bronnen is het determineren tot op soort erg belangrijk. In veel Europese studies zijn watermijten en dansmuggen niet gedetermineerd, terwijl beide groepen vele bronspecifieke taxa bevatten.

Het aantal bijzondere macrofaunasoorten is sterk gecorreleerd met de stromingsvariatie, de stroomsnelheid, de afvoer, de substraatvariatie, het ammoniumgehalte en de ligging van de bron. Het aantal zeldzame soorten neemt af bij de aanwezigheid van detritus, een dikkere sapropeliumlaag en een beïnvloede morfologie van de bron. Het totale aantal aangetroffen soorten per bron is gemiddeld 40, en neemt toe bij een hoger ammoniumgehalte, een groter aantal substraten, een groter aandeel vast materiaal, een grotere stromingsvariatie en hogere stroomsnelheden. Ammonium is slechts in zeer lage concentraties aanwezig en zeer waarschijnlijk betreft het hier een schijnrelatie. De soortenrijkdom neemt af bij een dikkere sapropeliumlaag en een beïnvloede morfologie.

Ecologische toestand

Op één bron na, de zijtak van de Reijmersbekervloedgraaf (REIJ) die matig scoort, wordt de ecologische toestand van alle bronnen op basis van de macrofauna beoordeeld als goed tot zeer goed. De EKR ligt tussen 0,47 en 0,89 en bedraagt gemiddeld 0,75. De relaties tussen de EKR en de gemeten milieuvariabelen zijn sterk. De EKR is sterk significant positief gecorreleerd met de substraatvariatie, de stroomsnelheid en de afvoer. De EKR is negatief gecorreleerd met de aanwezigheid van detritus en de dikte van de sapropeliumlaag. Daarnaast is een positief verband aangetoond met de mogelijkheid van populatie-uitwisseling (het aantal bronnen in de buurt), de alkaliniteit en (vermoedelijk indirect met) de gehalten van nitraat, totaal-stikstof en sulfaat en een negatief verband met het gehalte zwevende stof en de aanwezigheid van ijzerrijke kwelverschijnselen.

Ecologische indicatiewaarden

Op basis van de milieu- en habitatpreferenties van macrofaunasoorten kunnen we de bronnen beschouwen als zure tot alkalische, zoete, matig tot snelstromende, voedselrijke, oligosaprobe tot β -mesosaprobe wateren. De taxa die zijn aangetroffen hebben een voorkeur voor stenen, grind, slib en waterplanten. Van de factoren saprobie, trofie, stroming en zuurgraad is een index berekend. Deze berekende indexen van deze vier factoren zijn significant verschillend voor de acht clusters.

Brontypologie en relaties met milieufactoren

Op grond van de soortensamenstelling zijn acht clusters onderscheiden. Tussen deze clusters bestaan significante verschillen in mediane waarden van de EKR, de aantallen positief dominante taxa, kenmerkende taxa, negatief dominante taxa en zeldzame taxa en het totaal aantal taxa per cluster.

Tussen de clusters zijn significante verschillen gevonden in de milieuvariabelen: afvoer, substraatdiversiteit (gerelateerd aan de stroomsnelheid), substraat (onder andere organisch dood materiaal, vast substraat (stenen, beton, kalktuf) en grof materiaal (fijn- en grof grind)) en de dikte van de sapropeliumlaag. In mindere mate is dit het geval met alkaliniteit en daaraan verwante variabelen als bicarbonaat, calcium en geleidingsvermogen. Daarnaast zijn er ook verschillen in stroomsnelheid en ijzerrijke kwel. Nutriënten (N en P) spelen eigenlijk geen rol in het onderscheid tussen de clusters.

De meest waardevolle bronnen qua zeldzaamheid van macrofaunasoorten, bevinden zich nabij Noorbeek, in en rondom het Vijlenerbos en in het Bunder- en Elsloërbos. Een cluster van bronnen dat minder zeldzame soorten bevat, bevindt zich tussen Landgraaf en Kerkrade, een gebied met veel antropogene invloed of verstoring. In algemene zin bevatten de bronnen in het zuidelijke deel van het beheergebied meer zeldzame soorten dan de bronnen in het noordelijke deel.

Uit de ordinatie van de soorten komt een vergelijkbaar beeld naar voren. De eerste twee assen verklaren bijna 28% van de totale variatie in de soortensamenstelling, hetgeen aanzienlijk is. De clusters worden in het ordinatiediagram goed uit elkaar gehouden. Alleen Cluster 3 en 4 vertonen een grote mate van overlap.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het Waterschap Roer en Overmaas voert het beheer over de kwaliteit van stilstaande en stromende oppervlaktewateren in het zuidelijk deel van de provincie Limburg. Hieronder bevindt zich een groot aantal bronnen, plaatsen waar grondwater van nature uit de bodem treedt. Doelstelling van het beheer is onder meer het bereiken van een goede ecologische toestand van deze bronnen. De meeste onderzoeken naar de ecologische toestand van de Zuid-Limburgse bronnen zijn reeds enkele decennia terug uitgevoerd (onder andere Cuppen en Moller Pillot 1978, Geraedts 1980, Hendrix 1990, Notenboom *et al.* 1996, Van Dael 1982). Omdat er weinig bekend is over de actuele ecologische toestand, is door medewerkers van het waterschap van 2008 tot en met 2014 onderzoek verricht naar de fysisch-chemische samenstelling van het water en naar de soortensamenstelling en hoeveelheden van macrofauna, benthische diatomeeën (kiezelwieren) en vegetatie. Dit gecombineerde onderzoek is uniek in Nederland en in totaal zijn 182 bronnen bemonsterd. Daarnaast zijn gegevens over inrichting, morfologie en substraattypen van deze bronnen verzameld. In het kader van een verkennend project om de verzamelde gegevens te analyseren, zijn 64 permanente bronnen geselecteerd, voornamelijk gelegen in het stroomgebied van de Geul en in het Bunderbos.

Het waterschap heeft Koeman en Bijkerk en Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, gevraagd om dit verkennend onderzoek uit te voeren. De doelen van deze integrale analyse zijn:

- 1) een bepaling van de huidige ecologische toestand van de bronnen;
- 2) een vaststelling van de typen die op basis van de kiezelwieren en macrofauna kunnen worden onderscheiden en van de relaties tussen deze typen;
- 3) een bepaling van de relaties tussen de biologische soortensamenstelling en de gemeten milieuvariabelen en van de belangrijkste milieuvariabelen (stuurvariabelen);
- 4) een beschrijving van de gewenste goede ecologische toestand en van de belangrijkste knelpunten voor het bereiken daarvan;
- 5) een vaststelling van de leemten in kennis en het aangeven van mogelijkheden om deze op te vullen.

1.2 Achtergrond

Een bijzonder watertype

In het grotendeels vlakke Nederland vormen bronnen een bijzonder watertype. Het zijn plaatsen waar een natuurlijke uitvloeiing van grondwater optreedt over een klein of groot oppervlak. Ze zijn aanwezig in glooiende en hellende gebieden waar voor water niet of weinig doordringbare lagen, zoals keileem en klei, in de ondergrond voorkomen (Hendrix 1990, Verdonschot 2000). Bronnen herbergen bijzondere levensgemeenschappen. Ofschoon bronnen in geaccidenteerde gebieden in het buitenland veel algemener zijn dan in Nederland, hebben de bronnen ook daar een grote natuurwaarde. Bronnen zijn

unieke aquatische habitats, die significant bijdragen aan de lokale en regionale biodiversiteit. Dit komt door de stabiele, door grondwater beïnvloede milieucondities, hun grote habitatcomplexiteit en het grote aantal verschillende brontypen.

Bronnen in Zuid-Limburg

Bronnen komen in Nederland voor in Twente, langs de Veluwe, in Montferland, bij Groesbeek en in Limburg. In Zuid-Limburg zijn ze het talrijkst aanwezig en komen er minstens duizend bronnen voor. Deze Zuid-Limburgse bronnen onderscheiden zich van de overige bronnen door hun kalkrijkdom. Daardoor herbergen ze een bijzondere flora en fauna en zijn ze van nationale betekenis.

Hendrix (1990) geeft een nog steeds actueel overzicht van de verspreiding, hydrogeologische, fysische, chemische en ecologische aspecten van bronnen in Zuid-Limburg, van hun betekenis voor de mens (drinkwater, geneeskracht, heiligdom) en van de beïnvloeding van bronnen door menselijk handelen, zoals intensief landbouwkundig gebruik. Dat behelst niet alleen drainage, dempen, betreding en bemesting door vee, maar vooral ook uit- en afspoeling door meststoffen, wat vooral tot hoge nitraatconcentraties in het grondwater en daarmee het bronwater heeft geleid. Drinkwaterwinning heeft voor verdroging van bronnen gezorgd. Sommige bronnen zijn gecapteerd (in een buis gevat) of ingebed tussen betonnen muren (Hendrix 2005).

De exacte ligging van de meeste bronnen is door Waterschap Roer en Overmaas geregistreerd in een bronnenbestand, waarbij in de afgelopen decennia diverse verbeterlagen zijn doorgevoerd.

Flora en fauna van Zuid-Limburgse bronnen

De bijzondere bronflora werd reeds onderzocht door Maas (1959) en is met kenmerkende zeldzame soorten als Bittere veldkers en Paarbladig en Verspreidbladig goudveil van nationale betekenis. Cuppen en Moller Pillot (1978) vonden bij een oriënterend onderzoek van de macrofauna in enkele honderden bronnen in Mergelland 180 verschillende macrofaunataxa met karakteristieke, elders in Nederland zeldzame, soorten vlokreeften en platwormen. Naast dit uitgebreide onderzoek van Cuppen en Moller Pillot is door studenten van de Landbouwhogeschool Wageningen onderzoek verricht naar macrofauna in deelgebieden van Zuid-Limburg (Boer 1983, Geraedts 1980, Van Dael 1982, Van der Ploeg en Upperman 1982).

De fauna van de vaak in bos gelegen Zuid-Limburgse bronnen voedt zich in belangrijke mate met invallend boomblad, mossen en overig ter plekke geproduceerd organisch materiaal. Dat laatste bestaat voor een groot deel uit microscopisch kleine kiezelwieren en andere bentisch levende algen, waaronder blauwalgen. Deze leven op mossen en andere waterplanten, op takjes, stenen, in het detritus of op en tussen zandkorrels. De kiezelwieren zijn eerder onderzocht in Veluwse en Twentse bronnen (Van Dam *et al.* 1993, Van Dam en Mertens 1995, AquaSense 1996) maar nog nauwelijks in de kalkrijke Zuid-Limburgse bronnen (Driessen en Pex 1997). In het buitenland is echter meer onderzoek verricht naar de diatomeeën, dan naar de macrofauna van bronnen (Cantonati *et al.* 2012a).

Ecologische en wetenschappelijke waarde van bronnen

Bronnen zijn een zeldzaam voorkomend watertype in Nederland. Omdat bronnen dikwijls een zeer goede waterkwaliteit hebben, bieden ze een habitat aan soorten die elders zeldzaam zijn vanwege hun gevoeligheid voor menselijke beïnvloeding. Bronnen zijn vaak soortenrijk en herbergen een groter aantal Rode-Lijstsoorten dan andere watertypen. De relatief constante hydrologische factoren in het bronmilieu, in het bijzonder de continue stroming, waterchemie en temperatuur, resulteren in een rijke soortensamenstelling met een hoge mate van specialisatie van soorten (brongebondenheid). Ondanks hun belang voor biodiversiteit en waterkwaliteit zijn bronnen veel minder bestudeerd dan andere waterecosystemen. Ze zijn ook vaak onvoldoende beschermd door wet- en regelgeving, waardoor hun natuurlijke karakter verloren gaat (Cantonati *et al.* 2012a).

Naast een hoge natuurwaarde hebben bronnen ook een hoge wetenschappelijke waarde. Odum (1959) schrijft: 'Springs are the aquatic ecologist's natural constant temperature laboratory. Because of the relative constancy of the chemical composition, velocity of the water, and temperature in comparison with lakes, rivers, marine environments, and terrestrial communities, springs hold a position of importance as study areas that is out of proportion to their size and number.' Als voorbeeld geeft hij aan dat in Duitse bronnen arctische insecten voorkomen vanwege de lage zomertemperaturen en dat soorten uit warme klimaatzones in IJslandse hete bronnen voorkomen.

Bronnen zijn dus te beschouwen als ecologische eilandjes: veel van de aanwezige specifieke soorten komen niet voor in het voedende grondwater, stroomafwaarts in de beek of in het omringende landschap. Het zijn geïsoleerde habitats, waarop de eilandtheorie van toepassing is (Cantonati *et al.* 2012a). Dat houdt in dat de soortenrijkdom van bronnen afneemt met toenemende afstand tot andere bronnen (MacArthur en Wilson 1967).

Belangrijke milieufactoren

In de Alpen zijn stroomsnelheid en een vochtgradiënt met de aanwezigheid van semi-aquatische habitats de belangrijkste milieuv variabelen voor de fauna (Cantonati *et al.* 2012a). Belangrijk voor de soortenrijkdom, niet alleen van de fauna, in bronnen is de habitatdiversiteit. Die wordt veroorzaakt door een niet al te hoge en in de tijd ook niet al te variabele stroomsnelheid, waardoor niet al het organisch materiaal meteen wordt weggespoeld, maar gesorteerd blijft liggen en als substraat kan dienen voor de levensgemeenschap, naast de minerale bodem en stenen (Cantonati *et al.* 2012a). Belangrijk voor de soortenrijkdom zijn ook de relatief geringe fluctuaties in afvoer: in 18 bronnen in het Mergelland is de mediane verhouding tussen maximale en minimale afvoer 2,6 (Hendrix 2005). Stabiele milieumomstandigheden, met name van de afvoer, zijn gunstig voor de biodiversiteit van bronnen evenals een afwisseling van verschillende substraten (Cantonati *et al.* 2012a).

Status voor de KRW

De permanente bronnen (type R2) behoren niet tot de waterlichamen waarvan de toestand voor de Kaderrichtlijn Water aan de EU moet worden gerapporteerd. Niettemin zijn er maatlatten voor ontwikkeld, die gebaseerd zijn op macrofyten, fyto bentos (diatomeeën), macrofauna en enkele ondersteunende fysisch-chemische en hydromorfologische variabelen (Van der Molen *et al.* 2013).

Natuurlijk zijn op de bronnen wel de algemene doelstellingen van de KRW van toepassing: een duurzaam gebruik en een goede ecologische toestand van grond- en oppervlaktewater en geen activiteiten die de huidige ecologische toestand verslechteren.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geven we een uitgebreide beschrijving van onze werkwijze en de gebruikte methoden. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van het verkennende onderzoek. De resultaten worden bediscussieerd in hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 geeft de belangrijkste conclusies van het onderzoek. Basisgegevens en uitkomsten van berekeningen en analyses zijn opgenomen in de bijlagen achter in het rapport.

2 Materiaal en methoden

2.1 Uitgangsmateriaal en voorbereiding

Door Waterschap Roer en Overmaas (WRO) is bij de start van dit verkennend onderzoek een reeds voorbereide dataset met milieuv variabelen, landgebruik-, veld-, diatomeeën-, vegetatie- en macrofaunagegevens aangeleverd van 64 monsters uit de periode 2008 - 2012. De focus van het project is gericht op de diatomeeën en macrofauna, waarbij in de analyses vooral gebruik gemaakt is van de milieuv variabelen met inbegrip van fysisch-chemische parameters. Vegetatiegegevens zijn aanvullend gebruikt (de opname inspanning per bron is variabel geweest) en gegevens over het landgebruik zijn buiten beschouwing gelaten.

Mutaties in de gegevens zijn steeds in overleg met de opdrachtgever uitgevoerd.

2.1.1 Milieuv variabelen

Naast de verzamelde fysische- en chemische gegevens zijn door de medewerkers van WRO in het veld vele bronkenmerken en veldgegevens genoteerd per bron. Deze verschillende typen gegevens noemen we vanaf hier in het rapport milieuv variabelen. De voorbereiding van de milieuv variabelen bestond uit:

- het controleren van de data, namen en eenheden;
- het coderen van de milieuv variabelen en het aanpassen van de schaal van een variabele;
- het controleren op uitschieters;
- het opvullen van ‘gaten in de dataset door middel van regressie met correlerende variabelen. Indien dit niet mogelijk was, zijn de gaten opgevuld met de gemiddelde waarde van de overige bronnen;
- het verwijderen van variabelen (onder andere te weinig waarnemingen beschikbaar, variabelen geven zelfde uitkomst, onduidelijke variabele, variabele is herstelmaatregel)
- het combineren of aanpassen van variabelen (onder andere substraatcombinaties, totale aantal substraten, kwel, habitatdiversiteit);

Waarden van variabelen beneden de detectielimiet zijn op de helft van de detectielimiet gezet voor de analyses.

Na afstemming met de opdrachtgever en voorbereiding was voor 51 bronnen een complete set van milieuv variabelen aanwezig. Van de overige dertien bronnen is maar een deel van de variabelen opgenomen. In de univariate analyses zijn deze gegevens meegenomen, maar in de multivariate analyses zijn de dertien bronnen waarvan gegevens ontbreken passief meegenomen in de analyses.

Graasdruk

Voor de diatomeeën is gebruik gemaakt van dezelfde milieuv variabelen als bij de macrofauna, maar er is nog een specifieke variabele aan toegevoegd: de graasdruk van de macrofauna. Hiertoe is de absolute hoeveelheid dieren van grazers en schrapers in de tellingen van de macrofauna berekend, waarbij gebruik is gemaakt van gegevens en programmatuur beschikbaar op <http://www.fliessgewaesserbewertung.de/>. In het monster met het grootste aantal grazende dieren (593) is de graasdruk op 100% gesteld en de graasdruk van de overige monsters is uitgedrukt als percentage van dit maximum.

Oxidatievermogen en kalkverzadigingsindex

Voor de diatomeeënanalyses zijn uit de chemische gegevens nog enkele secundaire variabelen berekend, te weten het oxidatievermogen en de kalkverzadigingsindex.

Het oxidatievermogen is een maat voor de invloed van nitraatvervuiling op het grondwater. Bij de aanwezigheid van ijzersulfiden (pyriet) wordt dit door nitraat geoxideerd volgens:



Om de invloed van nitraat goed aan te geven, ook al is dit gedeeltelijk in sulfaat omgezet, wordt het oxidatievermogen (OXV) gebruikt:

$$\text{OXV} = 5 [\text{NO}_3^-] + 7 [\text{SO}_4^{2-}]$$

waarbij de concentraties in mmol/l zijn vermeld (Visser *et al.* 2007).

Voor de beoordeling wordt de schaal uit Tabel 1 gebruikt. Daarbij is uitgegaan van achtergrondconcentraties van ongeveer 1,1 mg/ NO₃-N en 50 mg/l SO₄ (De Mars en Vercoutere, z.j.)

Tabel 1 Schaal voor de beoordeling van het oxidatievermogen (De Mars en Vercoutere, z.j.)

Antropogene belasting	Oxidatievermogen
Niet belast	< 3
Zwak tot matig belast	4 - 5,5
Sterk belast	5,5 - 7,3
Zeer sterk belast	7,3 - 10
Extreem belast	10 - 15
Zwaar overbelast	15 - 25
Extreem zwaar overbelast	> 25

Het in de bronnen opwellende grondwater is vaak in meer of minder sterke mate oververzadigd met calciumbicarbonaat. Bij het dagzomen hiervan ontwijkt er koolzuurgas en slaat kalk neer, in de vorm van tuf of travertijn. De mate van kalkverzadiging (I) is te berekenen met de formule:

$$I = \text{pH} - 11,84 + \log \text{Ca}^{2+} + \log (61,02 \cdot \text{HCO}_3^-)$$

waar Ca in mg/l en HCO₃ in mmol/l is vermeld. Het water is kalkafzettend voor $I > 0$ en kalkaantastend (agressief) voor $I < 0$.

Gecombineerde variabelen

De aanwezige substraten zijn opgedeeld in zes klassen (Tabel 2). De variabelen, ligging en morfologie, die oorspronkelijk uit vijf klassen bestonden, zijn opnieuw ingedeeld in twee klassen, respectievelijk 'open' en 'beschut' en 'natuurlijk' en 'beïnvloed'. De verschillende indicaties voor ijzerrijke kwel (zoals ijzeroker, ijzerneerslag, ijzeroer, bacterie- of diatomeeënvlies) zijn samengevoegd in de variabele 'kwel'.

Tabel 2 Substraatcombinaties

Klasse	Afkorting	Orginele substraten door WRO onderscheiden
Substraatcombinatie fijn mineraal	SCFM	zand, klei, leem
Substraatcombinatie grof mineraal	SCGM	fijn- en grof grind
Substraatcombinatie vast mineraal	SCVM	stenen, beton, kalktuf
Substraatcombinatie organisch dood	SCOD	slib, fijne- en grove detritus, hout, boomwortels
Substraatcombinatie organisch levend	SCOL	mossen, waterplanten
Substraatcombinatie overig	SCOV	overige substraten (bijvoorbeeld glas, ijzeroker)

De gebruikte milieuv variabelen zijn met hun waarden en gebruikte afkortingen vermeld in Bijlage 0. In totaal zijn 74 milieuv variabelen gebruikt voor de analyse.

2.1.2 Diatomeeën

Van de opdrachtgever is een bestand verkregen met 64 monsters van op bodem en plantenmateriaal voorkomende diatomeeën uit Zuid-Limburgse bronnen uit de periode 2008 – 2012. Eén monster was genomen in november, één in juni en alle andere in maart of april (Bijlage 1).

Door de opdrachtgever zijn grote stenen en kiezelstenen die zich onder water bevonden bemonsterd. Hierbij zijn zoveel mogelijk alleen de verticale vlakken ten opzichte van de waterspiegel afgeschraapt. Horizontale vlakken zijn niet bemonsterd (gevoelig voor sedimentatie en dus verstoring). Daar waar plantaardig materiaal voorhanden was, zijn stengels en delen van blad verzameld. In veel gevallen is grind en zand (alleen bovenste laagje) in zijn geheel meegenomen. Er is wel voor gezorgd dat dit gebeurde op plekken waar stroming aanwezig was. Dit om drift (invloed van losse schaaltes van dode kiezelwieren) te voorkomen. In die gevallen waar oevermossen en mossen groeiend op takjes en stenen voor een deel in het water groeiden, zijn ook bladdelen van deze mossen verzameld. In enkele gevallen is bij het ontbreken van ander substraat dood hout afgeschraapt. In de rheokrene bronnen zijn ook de in de spatwaterzone liggende mossen bemonsterd.

Voor het fixeren en prepareren van het bemonsterde diatomeeën materiaal is de methode gevolgd die beschreven is in het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk 2010).

Voor de determinatie is door de opdrachtgever niet alleen standaardliteratuur uit het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk 2010) gebruikt, maar ook specialistische, op bronnen gerichte literatuur, zoals Werum en Lange-Bertalot (2004), Źelazna-Wieczorik (2011) en Wojtal (2013). In één monster zijn 71 schaalhelften geteld, in de overige monsters waren dit er 189 – 399 (gemiddeld 226).

Door de opdrachtgever is de TWN-nomenclatuur gebruikt, voor zover de soorten al eerder in Nederland waren gerapporteerd.

Van de aangeleverde tabel is een matrix gemaakt, waaruit bleek dat in de loop der tijd vier variëteiten van *Cocconeis placentula* zijn onderscheiden. Na terugkoppeling met de opdrachtgever zijn die samengevoegd tot twee. Na consultatie van A. Mertens (Grontmij) zijn nog enkele kleine taxonomische correcties uitgevoerd.

Voor alle berekeningen is gebruik gemaakt van de procentuele hoeveelheid van de taxa. Die is gelijk aan $100 \times (\text{aantal schalen van het taxon}) / \text{aantal schalen van alle taxa}$.

2.1.3 Macrofauna

Van de opdrachtgever is een bestand verkregen met 64 gedetermineerde macrofaunamonsters uit Zuid-Limburgse bronnen uit de periode 2008 – 2012. Eén monster was genomen in november en alle andere in maart of april (Bijlage 1).

De werkwijze van de bemonstering volgt grotendeels het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk 2010). De voorkomende microhabitats en substraten zijn met een appelmoeszeef bemonsterd. Het gebruik van een appelmoeszeef is niet alledaags binnen hydrobiologisch Nederland, maar is wel een zeer geschikte methode voor kleine en ondiepe watertypen (zoals bronnen). Waar mogelijk is ook met een standaardmacrofaunanet bemonsterd. Platwormen zijn op zicht opgespoord in de bron. Hout en stenen zijn afgezocht met een pincet en tevens zijn deze substraten met een harde borstel en veel water in een witte bak afgeborsteld. Hierna is dit water afgegoten over een fijne zeef (maaswijdte 0,3 mm) en vrijwel droog en gekoeld in een emmertje meegenomen. Hout is deels meegenomen naar het lab om ook de mineerders van het hout te kunnen verzamelen. Nadat een deelmonster was genomen, is deze zo snel mogelijk geleegd in een bak, omdat de maaswijdte van een keukenzeef niet voldoet aan de standaard maaswijdte van een standaard macrofaunanet (0,5 mm). Kwetsbare organismen zijn gelijk in het veld apart geconserveerd. In het veld zijn waar mogelijk adulte steenvliegen gevangen, larven van het *Nemoura marginata* soortcomplex zijn niet van elkaar te onderscheiden en de volwassen dieren kunnen op deze manier bijdragen aan een (zeer) waarschijnlijke determinatie van de larven. Aanvullend/Incidenteel zijn schietmotten verzameld met een sleepnet.

De monsters zijn tijdens het transport en tot het moment van uitzoeken gekoeld om bederven van het monster te voorkomen. Het uitzoeken van de monsters vond plaats binnen twee dagen na monsternamen (meestal de dag na monsternamen). Monsters

werden gespoeld over een set van zeven, waarvan de kleinste zeef een maaswijdte heeft van 0,3 mm.

De uitgezochte organismen zijn geconserveerd met alcohol (80%), behalve de watermijten, die geconserveerd zijn in Koenike. Platwormen zijn levend gedetermineerd.

Voor de determinatie is door de opdrachtgever niet alleen standaardliteratuur uit het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk 2010) gebruikt, maar ook aanvullende literatuur uit Geannoteerde standaardlijst van determinatieliteratuur voor Nederlandse aquatische macro-invertebraten (van Maanen en van Haaren 2010) en recentere determinatiewerken. Door de opdrachtgever is de TWN-nomenclatuur gebruikt, voor zover de soorten al eerder in Nederland waren gerapporteerd.

De macrofaunagegevens zijn aangeleverd in verschillende formaten en voor de verschillende analyses apart voorbereid door opdrachtgever. De afstemming voor QBWat is geoptimaliseerd voor de herkenning door het beoordelingssysteem, zodat alle aanwezige indicatoren in de monsters ook daadwerkelijk meedoen. Voor clustering- en ordinatiedoelinden zijn taxa samengevoegd of verwijderd, zodat monsters vergelijkbaar zijn. De afstemming is erop gericht geweest om zoveel mogelijk dubbele taxonomische niveaus uit de dataset te halen. Dit is op maat gedaan, waarbij soms ook aannames zijn gedaan over de meest waarschijnlijke determinatie.

Na controle van de aangeleverde gegevens is de dataset verder geoptimaliseerd. Na afstemming met de opdrachtgever zijn terrestrische taxa, zoals Succineidae, uit de datasets verwijderd en sommige taxa op een hoger taxonomisch niveau gebracht, of is de meest recente naam voor een taxon gebruikt. Soorten die niet herkend werden door QBWat (*Pneumia* soorten) zijn op een hoger niveau gezet, omdat de determinatie nog in ontwikkeling is. Soorten die met twee namen voorkomen in de dataset (*Velia caprai caprai* en *Velia caprai*) zijn bij elkaar gevoegd. Daarnaast is *V. caprai caprai* als kenmerkende soort opgenomen in de maatlat van R2 en is *V. caprai* een niet indicerende soort.

2.2 Univariate analyse

2.2.1 Ecologische kwaliteitsratio

Diatomeeën

De EKR is berekend uit de IPS volgens de formules van Van den Berg *et al.* (2004). Volgens de offerte zou de huidige ecologische toestand van de bronnen om te beginnen worden bepaald met behulp van de maatlat voor het type R2 (Van der Molen *et al.* 2013), zoals die is opgesteld door Van Dam (2013). De Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) zou worden berekend met de nieuwste versie van het programma QBWat (www.roelfpot.nl/qbwat), waarin deze maatlat is opgenomen. De EKR is afgeleid uit de IPS (Indice de Polluosensitivité Spécifique (Cemagref 1982, Bijlage 2).

Omdat een aantal in het huidige project aangetroffen taxa niet voorkomt in de bestaande maatlat voor R2 zijn de IPS-waarden hiervan opgezocht in de database 2015 van het programma Omnidia (<http://omnidia.free.fr>). Daarbij bleek dat voor een aantal in de maatlat wel voorkomende taxa destijds abusievelijk verkeerde IPS-waarden zijn gebruikt, zodat de bestaande R2-maatlat niet goed bruikbaar is.¹ Ook zijn in de lijst van 2015 de gevoelheden van sommige taxa aangepast. De EKR is uiteindelijk berekend met deze aangepaste indicatiewaarden.

Tussen IPS en milieuvariabelen zijn de (verdelingsvrije) rangcorrelatiecoëfficiënten van Spearman berekend en getoetst met het programma Past versie 2.17c (Hammer *et al.* 2001).

De EKR is berekend uit de IPS volgens de formules van Van den Berg *et al.* (2004).

Macrofauna

Ook de macrofauna is getoetst aan het watertype R2 (van der Molen *et al.* 2013). De EKR is berekend met het programma QBWat (www.roelfpot.nl/qbwat), versie 5.32.

2.2.2 Ecologische indicatiewaarden

Diatomeeën

Om het bronmilieu te typeren is gebruik gemaakt van de milieupreferenties gepubliceerd door Van Dam *et al.* (1994) en later aangevuld op grond van ervaringen in veel verschillende watertypen. Daarbij hebben we ons op de volgende factoren gericht: zuurgraad (R), zoutgehalte (H), organisch gebonden stikstof (N), zuurstof (O), saprobie (S), trofie (T) en droogvalresistentie (M) volgens de indeling van Bijlage 3a.

Naast een beeld van de milieuomstandigheden van de locatie, geeft dit een indicatie van mogelijke belemmeringen voor het behalen van een goede ecologische toestand.

Macrofauna

Om de milieucondities van de bronnen te typeren hebben we gebruik gemaakt van de habitatpreferenties voor macrofauna gepubliceerd door Verberk *et al.* (2012). Daarbij hebben we ons op de volgende factoren gericht: substraat, zuurgraad, stroomsnelheid, trofie en saprobie volgens de indeling van Bijlage 3b. Voor de factoren zuurgraad, stroomsnelheid, trofie en saprobie is een index berekend. Opgemerkt dient te worden dat in de tabel behorende bij de milieu- en habitatpreferenties voor macrofauna nog soorten ontbreken (houtmineerders zoals *Orthocladus lignicola* en *Lipsothrix*) en dat enkele soorten een onjuiste classificatie hebben gekregen (*Potamophylax nigricornis*).

¹ In de Omnidiafile zijn de auteursnamen niet gescheiden van de taxanamen. Bij het (semi-) automatisch scheiden van de taxa- en auteursnamen krijgen verschillende infraspecifieke taxa (met verschillende IPS-waarden) dan soms dezelfde specifieke taxonnaam. Ten behoeve van dit project zijn alle indicatiewaarden 'handmatig' gecontroleerd.

Naast een beeld van de milieumomstandigheden van de locatie, geeft deze typering een indicatie van mogelijke belemmeringen voor het behalen van een goede ecologische toestand.

2.2.3 Zeldzame en Rode-Lijstsoorten, diversiteit

Diatomeeën

Er zijn drie maatstaven gebruikt voor de karakterisering van bijzondere soorten:

1. de zeldzaamheid van soorten in Nederland;
2. het aantal soorten volgens de Duitse Rode Lijst
3. het aantal soorten dat in Limburg gebonden is aan bronmilieus.

De zeldzaamheid van een soort kan een indicatie zijn van de ecologische kwaliteit van een bron. Er is geen algemeen aanvaard systeem van de zeldzaamheid van Nederlandse diatomeeën, maar uit ervaring van A. Mertens (Grontmij, 33 jaar ervaring met onderzoek van Nederlandse diatomeeën in vrijwel alle watertypen) en de gegevens uit de Limnodata Neerlandica (www.limnodata.nl) is aangegeven welke taxa zeldzaam zijn in Nederland.

Lange-Bertalot (1996) publiceerde een lijst van Duitse Rode-Lijstsoorten, waaruit hier gegevens zijn overgenomen uit de categorieën 1 (vom Aussterben bedroht), 2 (stark gefährdet) en 3 (gefährdet).

Door de opdrachtgever is aangegeven welke soorten naar eigen ervaring in Limburg gebonden zijn aan respectievelijk kalkarme (Si) en kalkrijke (Ca) bronnen.

De diversiteit is uitgedrukt als het aantal soorten in de telling en het dominantiepercentage of kortweg de dominantie (de procentuele hoeveelheid van de meest voorkomende soort). Dit zijn adequate maten voor de diversiteit van diatomeeën (Van Dam 1982, Blanco *et al.* 2012).²

Macrofauna

Door Nijboer en Verdonschot (2001) zijn zes zeldzaamheidsklassen onderscheiden voor de Nederlandse macrofauna: (1) zeer zeldzaam, (2) zeldzaam, (3) vrij zeldzaam, (4) vrij algemeen, (5) algemeen en (6) zeer algemeen. In dit rapport zijn de klassen 1 en 2 gesommeerd en worden als maat voor het aandeel zeldzame soorten gebruikt. Door de opdrachtgever is voor een aantal soorten een nieuwe zeldzaamheidsklasse toegekend, ter aanvulling van ontbrekende soorten en aanpassing van onjuiste classificaties.

² Veel auteurs gebruiken de index van Shannon en Weaver (1949). Hierin komt oorspronkelijk een op het grondtal 2 gebaseerde logaritme voor, maar door veel auteurs wordt ook het grondtal e of zelfs 10 gebruikt, zonder dit expliciet te vermelden, waardoor vergelijkbaarheid van de uitkomsten niet goed mogelijk is (Magurran 2008).

2.2.4 Ecologische gilden

Diatomeeën

Kuhn *et al.* (1981) presenteerden een systeem van groeivormen van diatomeeën. Meer recent zijn groeivormen in de diatomeeëncologie van stromende wateren, zoals soorten, met een horizontale groeistrategie, soorten met een verticale groeistrategie en vrij beweeglijke soorten) gebruikt door onder andere Passy (2007) en Rimet en Bouchez (2012). Uit onderzoek in een groot aantal Noord-Hollandse sloten blijkt dat de relaties tussen groeivormen en milieuv variabelen een grote overeenkomst vertonen met die tussen de soortensamenstelling en milieuv variabelen. Daar groeivormensamenstelling door minder diepgaande determinatie is te bepalen dan soortensamenstelling is dit een veelbelovende methode voor de biologische waterbeoordeling (Goldenberg Vilar *et al.* 2014).

Voor de individuele taxa zijn gegevens ontleend aan Rimet en Bouchez (2012). Voor de enkele tientallen daarin niet genoemde taxa zijn gegevens ingeschat op grond van de classificaties van verwante taxa. De gebruikte klassen zijn: H (High profile guild), L (low profile guild) en M (Motile guild). Het planktonische gilde (P) komt niet voor in de onderzochte monsters.

Aan Rimet en Bouchez (2012) ontlene we het volgende:

“An ecological guild is a group of taxa belonging to the same taxonomic or functional group that exploit the same resources. Taxa of an ecological guild co-exist in the same environment and can display different adaptations to the same abiotic factors.

The low profile guild, includes species of short stature, including prostrate (adhering to the substrate with the entire valve surface), adnate (apically attached but parallel to the substrate), erect (apically attached but perpendicular to the substrate), and slow moving species (e.g., *Achnanthes*, *Achnantheidium*, *Amphora*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Meridion*, *Opephora*, and *Reimeria*). Such taxa are adapted to high current velocities and to low nutrients concentrations.

The high profile guild includes species of tall stature, including erect, filamentous, branched, chain-forming, tube-forming, stalked, and colonial centrics from the following genera: *Diatoma*, *Ellerbeckia*, *Eunotia*, *Fragilaria*, *Gomphoneis*, *Gomphonema*, *Melosira* (*Melosira varians*), and *Synedra*. This guild is adapted to high nutrients concentrations and low current velocities.

The motile guild includes fast moving species from the genera *Navicula*, *Nitzschia*, *Sellaphora*, and *Surirella*. Passy (2007) hypothesized that this guild was adapted to relatively high current velocities and high nutrients concentrations, but her results showed that they were not tolerant to high current velocities and tolerant to high nutrient concentrations.”

Macrofauna

Aanvullend aan de genoemde milieu- en habitatpreferenties kunnen eigenschappen als voedingsstrategie en bewegingsgedrag aan elke soort gekoppeld worden. Langs deze weg kunnen we beoordelen welke stuurfactoren het ecologisch functioneren van de macrofaunagemeenschap domineren en in hoeverre dit aansluit bij ons referentiebeeld. We zijn hierbij uitgegaan van de indeling die is gemaakt volgens de Operationelle Taxaliste (Stand Mai 2011)

(<http://www.fliessgewaesserbewertung.de/download/berechnung/>). Deze lijst is een recentere uitgave van het werk van Schmedtje en Colling (1996).

Soorten waarvoor geen waarden beschikbaar zijn, hebben we op een hoger taxonomisch niveau ingedeeld. Op deze manier kon aan alle waargenomen soorten een waarde toebedeeld worden per eigenschap.

2.3 Regressie analyse

Door middel van univariate regressie-analyses zijn afzonderlijke parameters onderzocht die invloed hebben op de macrofaunagemeenschappen in bronnen. De EKR, het totale aantal taxa, het aantal positief dominante taxa, het aantal negatief dominante taxa, het aantal kenmerkende taxa en het aantal zeldzame taxa (zie paragraaf 2.2.3) zijn uitgezet tegen verschillende milieuvariabelen. De macrofaunaclusters zijn in deze figuren geïllustreerd evenals de significante Spearman rangcorrelaties (r_s).

2.4 Multivariate analyse

De macrofauna- en diatomeeënaantallen per soort variëren sterk en er is een grote spreiding in de aantallen. Daarom zijn de data getransformeerd. Hierdoor krijgen de hoogste aantallen minder nadruk en volgt de spreiding meer een normale verdeling (Van Katwijk en Ter Braak 2008). Voor analyses met CANOCO (Ter Braak en Smilauer 2012) of TWINSPAN (Hill en Šmilauer 2005) is een dergelijke transformatie van belang omdat deze analysetechnieken gevoelig zijn voor extreme waarden.

2.4.1 Classificatie (clusteranalyse)

Om de soortensamenstelling voor de diatomeeën en macrofauna overzichtelijk weer te geven in enkele groepen met nauw verwante monsters is de TWINSPAN-methode gebruikt (Hill 1979), met behulp van het programma van Hill en Šmilauer (2005).

Diatomeeën

Het streven was om vijf tot zes clusters te onderscheiden. Op die manier worden bij een bestand van 64 monsters meestal clusters verkregen die groot genoeg zijn voor het statistisch toetsen van verschillen van de waarden van milieuvariabelen tussen de

clusters. Voor presentatie van de resultaten zijn vijf tot zes clusters niet te veel om het overzicht te verliezen.

Er zijn zeven abundantieniveaus onderscheiden volgens een logaritmische schaal, met grenzen bij 1, 2, 5, 10, 20 en 50%. Daartoe zijn ten hoogste vijf opdelingen gemaakt van clusters die minimaal vier tot vijf monsters bevatten.

De significantie van de verschillen tussen de medianen van de milieuvariabelen en de diatomeeën karakteristieken is getoetst met een Kruskal-Wallistest (Hill en Lewicki 2006). De bij dit boek behorende post-hoc test geeft ook aan tussen welke clusters de verschillen significant zijn.

Voor de analyse zijn de honderd taxa met de hoogste relatieve hoeveelheden gebruikt (98% van het totaal); de 13 taxa met voorkomen in slechts één monster zijn buiten de analyse gelaten.

Macrofauna

De macrofauna data is getransformeerd volgens de formule $\ln(x+1)$. Taxa die slechts in één, twee of drie monsters voorkomen, zijn niet meegenomen in de analyse. Voor de clusteranalyse zijn uiteindelijk 120 taxa gebruikt die het meeste voorkomen in de bronnen. Deze 120 taxa zijn verantwoordelijk voor 98% van de absolute abundantie in de monsters. De overige taxa, waaronder ook zeldzame en typische bronnensoorten, worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten voor de indeling van de clusters.

Op basis van een interpretatie van de verschillen in soortensamenstelling tussen twee clusters, is het moment gekozen om te stoppen met het opsplitsen van clusters. Een algemeen uitgangspunt is dat clusters voldoende omvang hebben en dat niet meer clusters worden onderscheiden dan nodig is. Het afsplitsen van één of twee afzonderlijke monsters is niet zinvol.

De significantie van de verschillen tussen de medianen van de milieuvariabelen of indicatiewaarden (EKR, zeldzaamheid, milieu- en habitatpreferenties en soorteigenschappen) en de macrofaunacusters is getoetst met een Kruskal-Wallistest (Hill en Lewicki 2006). Hierna is een post-hoc test (Mann-Whitney; paarsgewijs) uitgevoerd die aangeeft tussen welke clusters de verschillen significant zijn.

2.4.2 Ordinatie

Voor de ordinaties van de diatomeeën is gebruik gemaakt van het programma Canoco 4.5 (Ter Braak en Šmilauer 2002). Voor de ordinaties van de macrofauna is gebruik gemaakt van het programma Canoco 5.0 (Ter Braak en Šmilauer 2012).

De 51 monsters met alle begeleidende milieuvariabelen zijn gebruikt als actieve monsters. De overige monsters (meestal zonder chemische gegevens uit het laboratorium) zijn als supplementair (passief) beschouwd. Deze monsters worden niet gebruikt bij het berekenen van de assen, maar worden wel in de ordinatiediagrammen

weergegeven door projectie, dat wil zeggen door regressie van de gegevens op de ordinatieassen.

Er zijn twee manieren om door middel van ordinatie het verband tussen soortensamenstelling en milieuv variabelen aan te geven. Bij de indirecte methode wordt eerst de soortensamenstelling geordineerd, zodanig dat de assen een zo groot mogelijk deel van de variatie in soortensamenstelling verklaren. Daarna kunnen correlatiecoëfficiënten van de milieuv variabelen met de assen worden berekend. Ook kunnen ze door projectie in de ordinatiediagrammen worden ingetekend (Ter Braak en Šmilauer 2002). Bij de directe (canonische) methoden worden de milieuv variabelen direct bij de ordinatie betrokken en worden de ordinatieassen van de soortensamenstelling zodanig berekend dat de correlatie met de milieuv variabelen zo hoog mogelijk is. Bij de canonische ordinatie kunnen dan ook nog, automatisch of 'handmatig' relevante milieuv variabelen worden geselecteerd.

Er is hier gekozen voor indirecte ordinatie voor zowel de diatomeeën als macrofauna, niet alleen omdat het aandeel van de verklaarde variatie op de eerste assen dan groter is dan bij directe ordinatie, maar vooral ook omdat vaak niet goed is aan te geven wat de stuurvariabelen eigenlijk zijn. Zo blijkt de substraatsamenstelling, vooral het aandeel van de mossen, zeer sterk samen te hangen met de soortensamenstelling van de diatomeeën. Maar hoe werkt dat nu precies? Is het de ruimtelijke differentiatie binnen de mosplantjes, waarop de diatomeeën zijn aangehecht, die bepalend is, of wordt de aanwezigheid van mossen en specifieke diatomeesoorten gestuurd door dezelfde abiotische milieuv variabelen, zoals bicarbonaat en licht? Daarom zijn alle milieuv variabelen met significante verschillen tussen de TWINSPAN-clusters en nog een aantal andere variabelen als supplementaire milieuv variabelen meegenomen bij de ordinaties.

Er zijn veel verschillende ordinatiemethoden beschikbaar en de keuze hangt af van de structuur van de gegevens. Bij korte milieugradiënten is de relatie tussen soorten en milieuv variabelen vaak lineair en is Principale Componentenanalyse of Hoofdc componentenanalyse (PCA) de aangewezen techniek. Bij lange milieugradiënten is er meestal sprake van unimodale (Gaussische) verbanden en is (Detrended) Correspondence Analysis ((D)CA) een geschikte methode. Om na te gaan welke methode geschikt is, is met DCA eerste de lengte van de gradiënt berekend. Als deze minder is dan ongeveer drie kan het beste gekozen worden voor PCA, anders voor DCA (Van Katwijk en ter Braak 2008).

Diatomeeën

Er zijn afzonderlijke ordinaties uitgevoerd voor soorten (inclusief variëteiten) en genera. Taxa die slechts in een enkel monster voorkomen, zijn niet meegenomen in de ordinaties. Bij de soortordinatie zijn de 100 meest algemene taxa gebruikt (samen 98% van de totale abundantie) en bij de genusordinatie 35 genera (99,5% van de totale abundantie).

Omdat de lengte van de gradiënt bij de soorten 2,58 en die van de genera 1,68 bedraagt, zijn PCA's uitgevoerd.

Macrofauna

De macrofauna data is getransformeerd volgens de formule $\ln(x+1)$. Er is een ordinatie uitgevoerd met de afgestemde soortenlijst voor de ordinaties. Taxa die slechts in één, twee of drie monsters voorkomen, zijn niet meegenomen in de analyse. Bij de ordinatie zijn uiteindelijk 120 taxa gebruikt die het meeste voorkomen in de bronnen. Deze 120 taxa zijn verantwoordelijk voor 98% van de absolute abundantie in de monsters. Omdat de lengte van de gradiënt 2,77 bedraagt, is een PCA uitgevoerd.

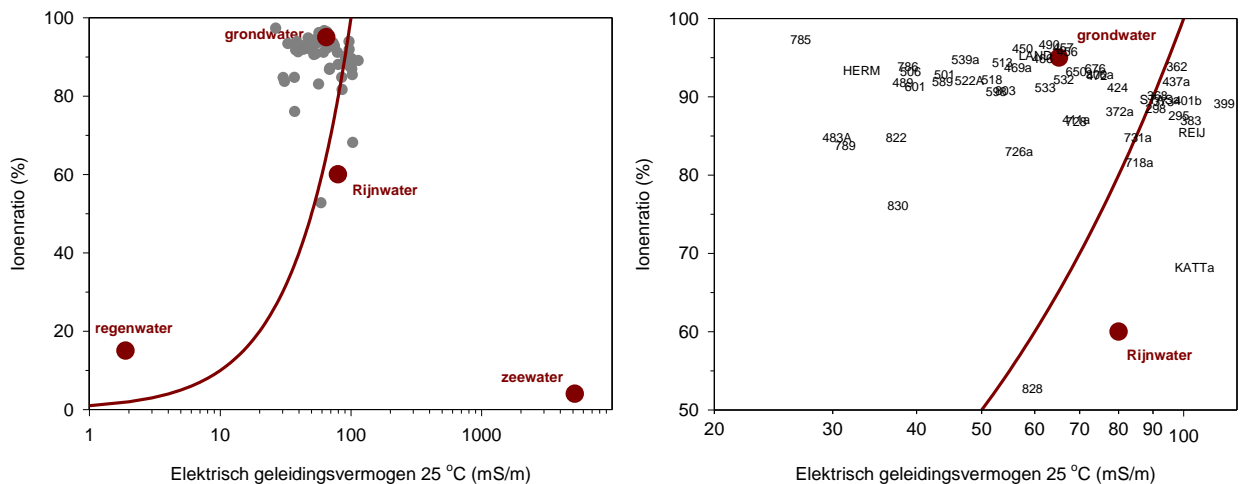
3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de resultaten van de waterchemie, de diatomeeën en de macrofauna besproken.

3.1 Waterkwaliteit

3.1.1 Herkomst van het bronwater

De bronnen worden hoofdzakelijk tot uitsluitend gevoed door grondwater. In een IR-EGV-diagram liggen de meeste bronnen dicht geclusterd bij het referentiepunt voor grondwater (Figuur 1). Enkele hebben een wat lagere ionenratio, dat een geringe invloed van regenwater doet vermoeden. Twee bronnen, 828 en KATTa, liggen rond het referentiepunt van Rijnwater (anno 2006-2008, Van Dam 2010). Dit wijst op een verhoogd chloridegehalte. Mogelijk is dit het gevolg van het strooien van pekkel in de winter via instroom van wegwater.



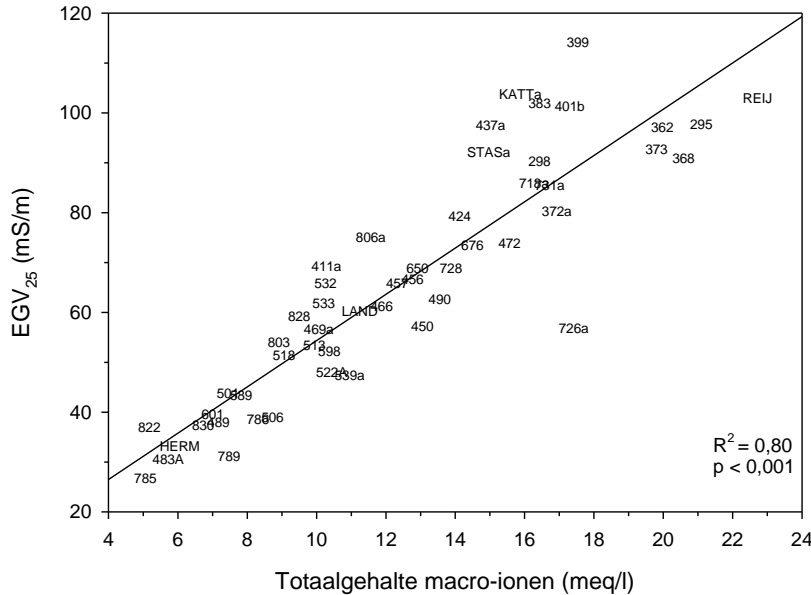
Figuur 1 Ligging van de bronnen in een IR-EGV-diagram. De meeste bronnen liggen dicht geclusterd bij het referentiepunt voor grondwater. Twee bronnen, 828 en KATTa, liggen rond het referentiepunt van Rijnwater wat wijst op een verhoogd chloridegehalte.

3.1.2 Ionenrijkdom

Er is tussen de bronnen een groot verschil in ionenrijkdom. De range in het gehalte aan macro-ionen bedraagt 176-825 mg/l en 5-23 meq/l (Figuur 2). De lage gehalten zijn gemeten in de bronnen 785 (Klitserbeek) en 822 (Hermansbeek), relatief hoge in de bronnen 295 (Voeding Roosbeek) en REIJ (Reijmersbekervloedgraaf).

De bronnen met lage gehalten aan macro-ionen worden mogelijk gevoed door relatief jong grondwater (Verdonschot 2000, p 34).

Het totaalgehalte aan macro-ionen in meq/l verklaart 80% van de variatie in het elektrisch geleidingsvermogen.



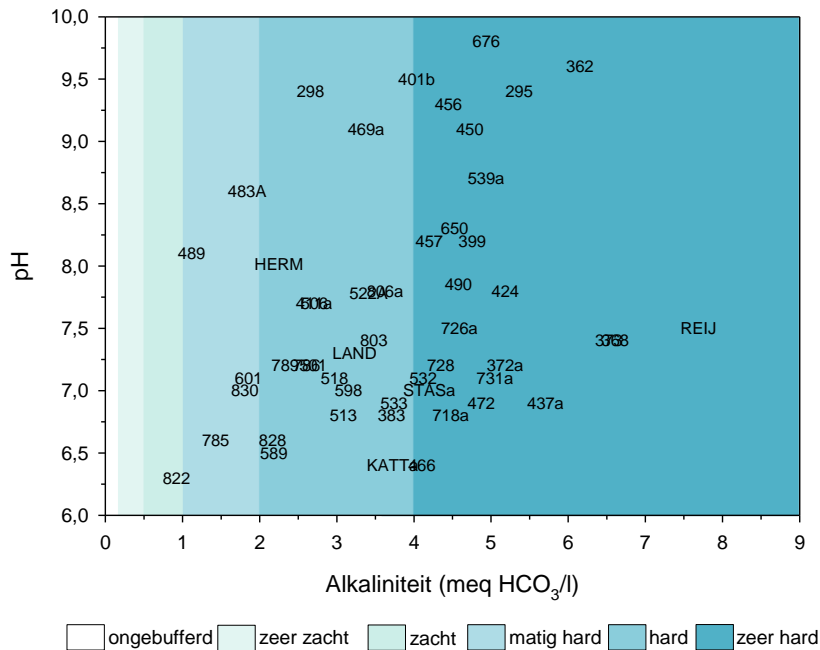
Figuur 2 Er is tussen de bronnen een groot verschil in ionenrijkdom en daarmee in het elektrisch geleidingsvermogen (EGV).

3.1.3 pH en alkaliniteit

Iets minder dan de helft (49%) van de bronnen heeft zeer hard water met een alkaliniteit boven 4 meq HCO_3^-/l (Figuur C). Iets meer dan een derde (39%) bezit hard water (2-4 meq HCO_3^-/l) en bijna tien procent matig hard water (1-2 meq HCO_3^-/l). Van één bron, 822 (Hermansbeek) heeft het water een uitgesproken lage alkaliniteit en wordt het daarom gekarakteriseerd als zacht. In deze bron is ook de laagste pH gemeten van 6,3.

Overigens is geen duidelijk verband te zien tussen de gemeten alkaliniteit en pH. Bij acht bronnen zijn zeer hoge pH's gemeten tussen 9 en 10 (Figuur 3).

Circumneutrale pH's kan men verwachten in bronnen die gevoed worden met jong grondwater en als gevolg daarvan een laag gehalte aan macro-ionen bezitten. Alkalische pH's zijn karakteristiek voor Zuid-Limburgse bronnen waarvan het water door kalkrijke afzettingen is gestroomd (Verdonschot 2000, p 35).

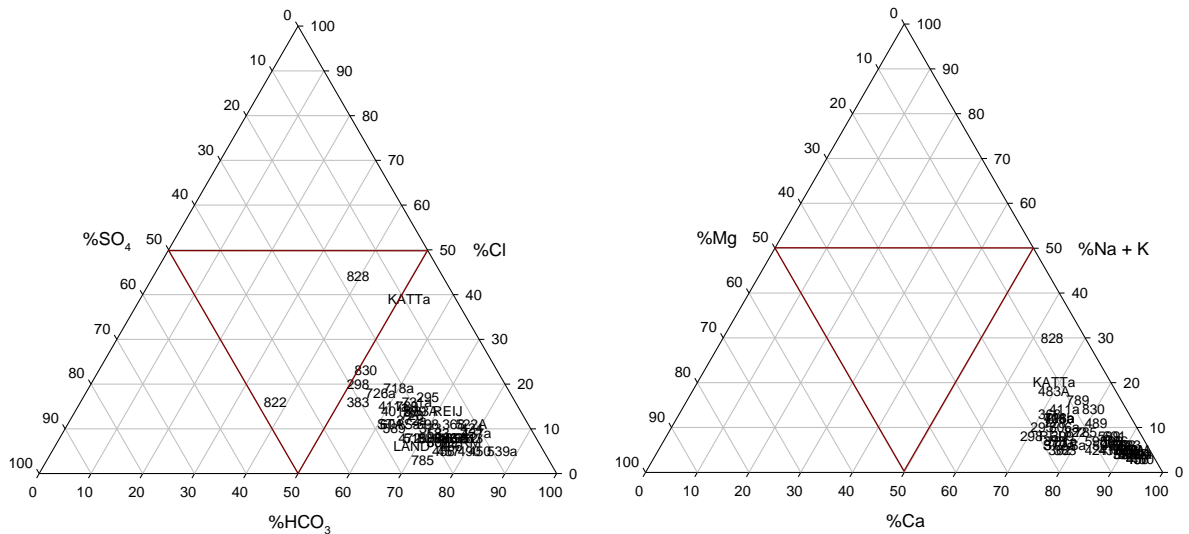


Figuur 3 De meeste bronnen bezitten hard tot zeer hard water, enkele zacht tot matig hard. De pH varieert van zwak zuur tot sterk alkalisch.

3.1.4 Macro-ionen

Vrijwel alle bronnen bezitten water van het calcium-bicarbonaat (Ca-HCO₃)-type. Dat houdt in dat het aandeel van calcium in het totaal aan macrokationen en dat van bicarbonaat in het totaal aan macro-anionen, uitgedrukt in equivalenten, meer dan 50% bedraagt (Figuur 4). Dit is kenmerkend voor gerijpt kwelwater, met andere woorden, grondwater in het onderste deel van het watervoerende pakket, of het normale eindproduct van de infiltratie van regenwater. Met het wegzakken in de diepere ondergrond lossen kalkhoudende bestanddelen in de bodem op, waardoor de aandelen van calcium en bicarbonaat toenemen. Door sulfatreductie kan het aandeel van sulfaat afnemen, maar wanneer pyriet aanwezig is in de ondergrond, kan dit door oxidatie (via zuurstof of nitraat) leiden tot een toename van het aandeel van sulfaat.

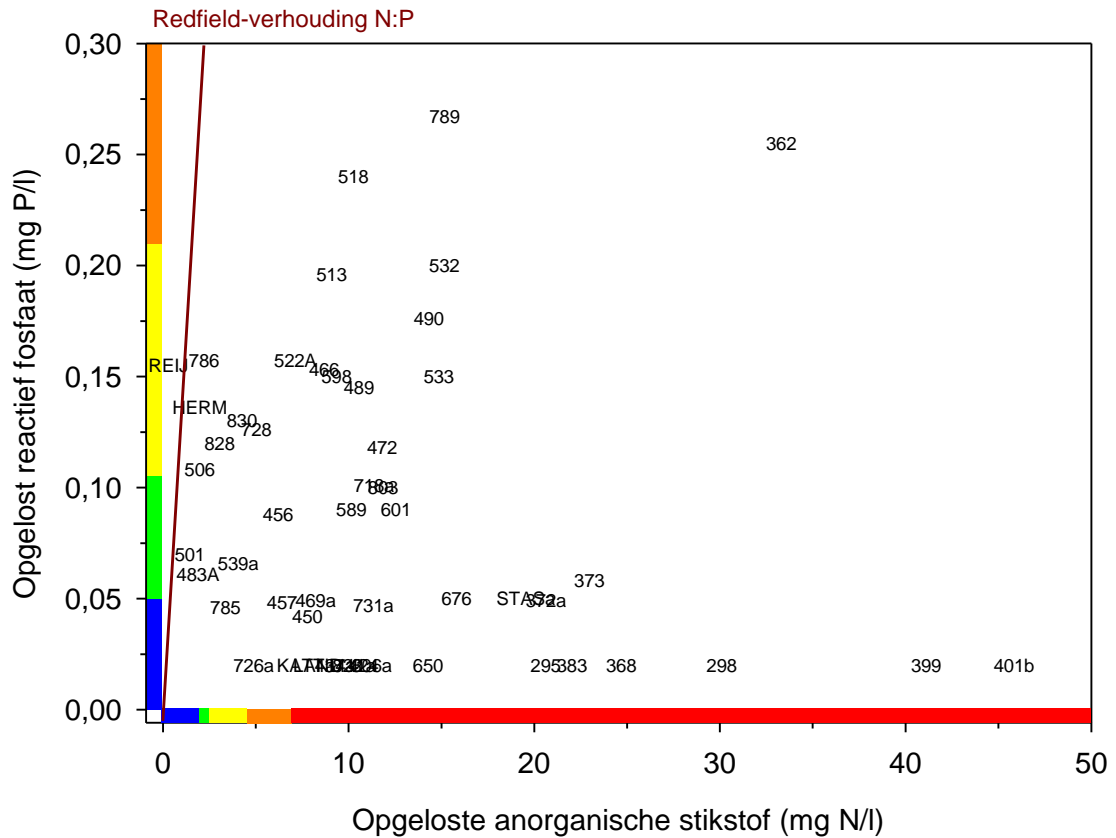
Er is één bron met een zodanig verhoogd aandeel sulfaat, dat men kan spreken van een Ca-SO₄-type water. Dat is bron 822 (Hermansbeek zijtak). Twee bronnen zijn van het type Ca-Cl en onderscheiden zich eerder in het IR/EGV-diagram. Dit zijn 828 (Zieversbeek) en KATTa (Kattebeek). Mogelijk is hier sprake van de invloed van strooizout in de winter. Door de hoge oplosbaarheid van strooizout lijkt de kans echter wel klein dat dit meetbaar in de bronnen aanwezig is.



Figuur 4 Verreweg de meeste bronnen bezitten water van het calcium-bicarbonaat type, waar calcium en bicarbonaat meer dan 50% van het totaalgehalte van de macrokationen respectievelijk macro-anionen uitmaken (in meq/l). Twee bronnen zijn van het calcium-chloride type (828 en KATTa) en één bron is van het calcium-sulfaat type (822).

3.1.5 Voedselrijkdom

Van de 51 bronnen waarvan gehalten van voedingsstoffen beschikbaar zijn, dat wil zeggen opgelost reactief fosfaat (DRP of orthofosfaat) en totaal-P en opgeloste anorganische stikstof (DIN) en totaal-N), voldoet slechts één voor beide nutriënten aan de goede ecologische toestand zoals omschreven in de referentie en maatlatten voor dit type bron R2 (van der Molen *et al.* 2013; NB: de normen gelden voor totaalgehalten van N en P). Dat is de bron 506 (Klitserbeek). Bijzonder is wel dat het gemeten orthofosfaatgehalte hier hoger is dan het opgegeven gehalte van totaal-P. Vooral het stikstofgehalte, hoofdzakelijk in de vorm van nitraat, is sterk verhoogd; slechts 8% van de bronnen voldoet wat deze voedingsstof betreft aan de goede tot zeer goede ecologische toestand. Voor fosfaat is dat 57% van de bronnen. De overmaat aan stikstof ten opzichte van fosfaat leidt er toe dat de primaire productie in potentie beperkt wordt door fosfaat. Een uitzondering vormt de bron REIJ (Reijmersbekervloedgraaf), waar stikstof potentieel limiterend is met een N:P verhouding van slechts 2 mg N/mg P (Figuur 5).



Figuur 5 Ligging van de bronnen in een DRP-DIN plot, op basis van de gemeten gehalten van opgelost reactief fosfaat (DRP) en opgeloste anorganische stikstof (DIN = $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$). De gekleurde balkjes representeren de KRW-normen weer voor N en P voor het type R2 (permanente bron). In bronnen links van de schuine donkerrode lijn (Redfield-verhouding) wordt de primaire productie potentieel beperkt door stikstof, rechts van de lijn door fosfaat.

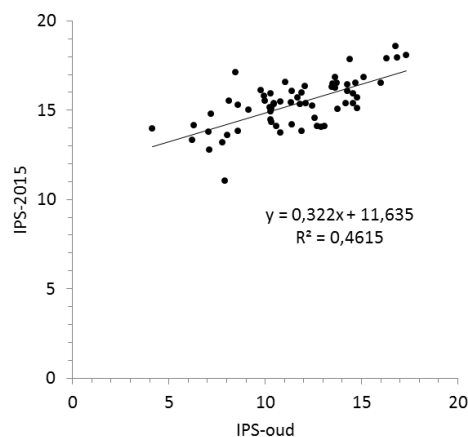
3.2 Diatomeeën

De matrix met de telgegevens (na harmonisatie van de taxa) is staat in Bijlage 4. De soortenlijst met de gemiddelde procentuele hoeveelheden van de taxa en de aantallen monsters waarin ze zijn gevonden, is opgenomen in Bijlage 5, samen met de kenmerken van de taxa betreffende verspreiding, kwaliteit en ecologie.

In Bijlage 6 zijn voor alle monsters de waarden voor IPS, diversiteit, ecologische indicatiewaarden, gilden en de verspreidingskenmerken getabelleerd.

3.2.1 Ecologische kwaliteit

In Figuur 6 zijn de met de gevoeligheden en indicatiewaarden uit de database van 2015 berekende IPS-waarden uitgezet tegen die welke zijn berekend met gedeeltelijk foutieve gegevens.



Figuur 6 IPS-2015 (berekend met gevoeligheden en indicatiewaarden van taxa uit de database 2015 van <http://omnidia.free.fr>) versus (IPS-oud (berekend met gevoeligheden en indicatiewaarden van taxa uit Van Dam (2013)).

Voor de te hanteren maatlat heeft dit echter geen ernstige consequenties. Door Van Dam (2013) werd namelijk geadviseerd om voor de Zuid-Limburgse bronnen (type R2) de maatlat voor de snelstromende bovenlopen op kalkhoudende bodem (type R17) te gebruiken. Deze maatlat wordt beschreven door Van Dam (2012), waarin wel goede gevoeligheden en indicatiewaarden van de taxa zijn gebruikt, hoewel er soms kleine verschillen zijn met de gegevens uit de recente database van Omnidia. De klassengrenzen zijn voor slecht/ontoereikend 6,5, ontoereikend/matig 9,5, matig/goed 12,5 en goed/zeer goed 15,5.

In Bijlage 6 zijn voor alle monsters de waarden voor IPS en daaruit berekende EKR vermeld. De IPS ligt tussen 11,0 en 18,6 en bedraagt gemiddeld 15,4 (bijna zeer goed).

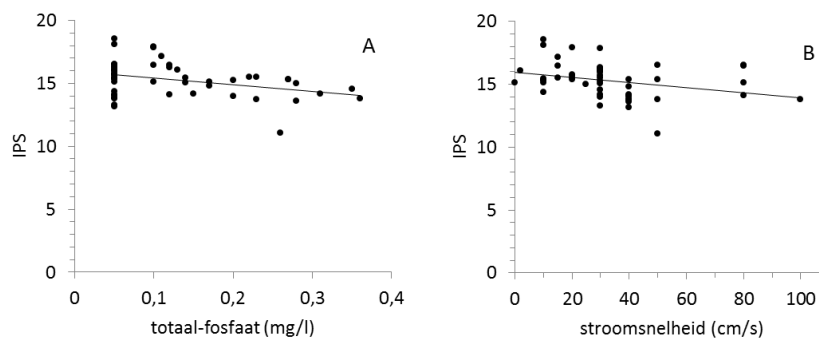
Slechts één locatie (489, Bronloop van de Bommerigerbeek, Figuur 7) heeft een matige kwaliteit (IPS 11,0), 34 bronnen zijn van goede kwaliteit en 29 bronnen zelfs van zeer goede kwaliteit (Bijlage 6).



Figuur 7 De bron van de Bommerigerbeek (489) indiceert de grote hoeveelheid *Nitzschia palea* een matige kwaliteit, die mogelijk wordt veroorzaakt door de grote hoeveelheid blad in het bemonsterde traject (Foto's Monique Korsten, Waterschap Roer en Overmaas).

De IPS is significant ($p < 0,01$) positief gecorreleerd met geleidingsvermogen, oxidatievermogen, N/P-verhouding en calciumconcentratie ($r_{\text{Spearman}} 0,37 - 0,40$), significant ($p < 0,05$) positief met sulfaat, alkaliniteit, magnesium, bicarbonaat, nitraat en totaal-stikstof ($r_{\text{Spearman}} 0,29 - 0,33$), significant ($p < 0,05$) negatief met meandering en totaal-fosfaat ($r_{\text{Spearman}} -0,30 - -0,33$) en significant negatief ($p < 0,01$) met stroomsnelheid. De aanwezigheid van kalktufsteen en de aard van de bron (helokreen) is significant positief gecorreleerd met de IPS.

De afname van IPS bij toenemende concentraties totaal-fosfaat en stroomsnelheid is conform de verwachting (Figuur 8). De toename van de IPS bij stijgende alkaliniteit en concentraties van mineralen en een nutriënt als nitraat, komt echter niet overeen met de situatie in de meeste andere wateren.



Figuur 8 Relaties tussen IPS en enkele milieuvariabelen met regressielijnen.

3.2.2 Ecologische indicatiewaarden

In Tabel 3 is voor alle 64 monsters samen de relatieve verdeling van de abundantie en de aantallen taxa over de in Bijlage 3 genoemde klassen van ecologische indicatiewaarden vermeld. Klasse 0 geeft aan dat de ecologische indicatiewaarde onbekend is. De gegevens indiceren dat het hier gaat om neutrale tot alkalische (R 3-4), zoete (H 1-2), voedselrijke (T 5), β -mesosaprobe (S 2) wateren, met voornamelijk stikstofautotrofe taxa (N 2) met een vrij hoge zuurstofbehoefte (O 1). Bijzonder is dat 17% van alle gevonden taxa voornamelijk op natte en vochtige of tijdelijk droogvallende plaatsen voorkomt (aerofiele soorten, M 4), terwijl nog eens 33% een bredere verspreiding heeft, maar af en toe droogte wel doorstaat, zoals in de bronnen ook verwacht mag worden. In de meeste andere wateren is het aantal aerofiele taxa veel lager.

Tabel 3 Verdeling van de aangetroffen hoeveelheden en aantallen taxa over de klassen van ecologische indicatiewaarden. Zie voor de klasse-indeling Bijlage 3a.

Klasse	Percentage abundantie							Percentage taxa						
	R	H	N	O	S	T	M	R	H	N	O	S	T	M
0	5	4	12	11	7	7	10	19	8	41	36	26	28	28
1		5	8	29	7	2	3		22	25	32	25	10	8
2	1	83	71	19	47	3	6	7	58	27	16	30	7	10
3	32	3	8	33	22	4	76	26	9	4	11	11	9	33
4	62	5	1	8	16	5	5	42	2	3	5	5	8	17
5	0			0	1	43	0	5			0	2	24	3
6	0							1						4
7							35							10

In Bijlage 6 zijn voor alle monsters de gemiddelden van de ecologische indicatiewaarden opgenomen. Significante rangcorrelaties hiervan met milieuvariabelen zijn vermeld in Bijlage 7. Er zijn veel verschillende significante correlaties, zoals van het zuurgraadindicatiegetal R, niet met de pH, maar wel negatief met geleidendheid, oxidatievermogen, sulfaat, calcium en kalktufsteen en positief met de waterdiepte. Deze correlaties zijn moeilijk te duiden. Pregnant zijn ook de correlaties tussen de zuurstof- en saprobieindicaties (O en S) enerzijds en de negatieve correlaties met geleidendheid, bicarbonaat, calcium, mos en habitatdiversiteit en de positieve correlaties met meandering en fijn mineraal substraat anderzijds. Dit betekent een betere kwaliteit bij een hogere mineralenrijkdom en habitatdiversiteit en een lagere kwaliteit op plaatsen waar fijn mineraal substraat tot rust komt. Het organisch gebonden stikstof (N) heeft nauwelijks significante correlaties met milieuvariabelen. De trofie-indicatie is vooral (negatief) gecorreleerd met de afvoer en positief met de bedekking van de watervegetatie en niet met de nutriënten. De aerofiele soorten (M) hebben significant positieve correlaties met zwevende stof, beschaduwning, fijne en grove detritus (organisch dood materiaal) en significant negatieve correlaties met waterbreedte en steen. Aerofiele soorten zijn vaak beweeglijke soorten met een raphe, die bij droogvallen van het water weg kunnen kruipen in het sediment.

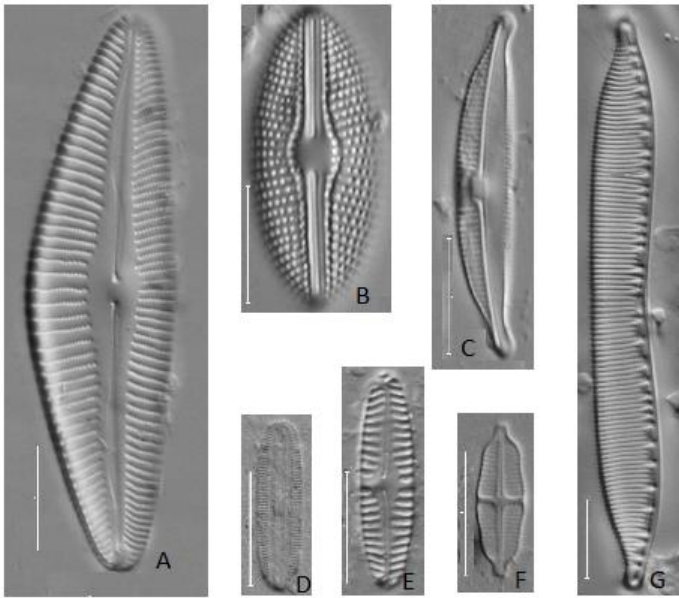
3.2.3 Zeldzame en Rode-Lijstsoorten, diversiteit

In totaal zijn er 212 taxa in de tellingen van de 64 monsters aangetroffen, waarvan er 98 zeldzaam zijn in Nederland, 11 nieuw zijn voor de Nederlandse flora, 20 in Limburg specifiek zijn voor bronnen en 10 vermeld zijn op de Duitse Rode Lijst. Dat zijn indrukwekkende aantallen, die de grote natuurwaarde van de bronnen goed aangeven.

De voor Nederland nieuwe soorten zijn vermeld in Tabel 4. Het zijn voornamelijk tamelijk recent beschreven soorten, die veelal ook in het buitenland karakteristiek zijn voor (kalkrijke) bronnen. Enkele van deze taxa zijn afgebeeld in Figuur 9 naast enkele andere niet veel in Nederland voorkomende soorten.

Tabel 4 Soorten die niet eerder in Nederland als zodanig zijn aangetroffen. Jaar = jaar van eerste beschrijving, aantal = aantal monsters.

Taxon	Jaar	Aantal	Ecologie
<i>Caloneis fontinalis</i>	1996	34	veel in kalkrijke, meso- eutrofe, oligotrofe bronnen en bronlopen, waarschijnlijk vroeger als <i>C. bacillum</i> gedetermineerd (Hofmann e.a. 2011)
<i>Diploneis separanda</i>	2004	10	kalkrijke, oligosaprobe wateren (Hofmann e.a. 2011)
<i>Fallacia lange-bertalotii</i>	2000	5	vooral in kalkrijke bronnen (Hofmann e.a. 2011)
<i>Gomphosphenia fontinalis</i>	2004	2	in kalkrijke eutrofe, soms α -mesosaprobe bronnen (Hofmann e.a. 2011)
<i>Hantzschia calcifuga</i>	2004	7	in ionenarme, vaak zwakzure bronnen en rietlanden (Hofmann e.a. 2011)
<i>Navicula moenofranconica</i>	1993	2	in zwak alkalische, meso- tot zwak eutrofe en oligo- tot β -mesosaprobe wateren (Lange-Bertalot 1993)
<i>Navicula muraloides</i>	1950	3	-
<i>Pinnularia castraregina</i>	2000	1	in beekjes, visvijvers etc. (Krammer 2000)
<i>Pinnularia frauenbergiana</i>	1985	2	aerofiele soort (Krammer 2000)
<i>Pinnularia marchica</i>	2000	2	stromingsminnend, vooral in hypertroof en β -mesosaprob water (Krammer 2000)
<i>Stauroneis parathermicola</i>	1934	1	aerofiel, op vochtige mossen in beekjes (Hofmann e.a. 2011)



Figuur 9 Enkele voor Nederland nieuwe en minder algemene taxa. A. *Cymbopleura austriaca*. B. *Diploneis krammeri*. C. *Halamphora normanii*. D. *Diploneis minuta*. E. *Pinnularia isselana*. F. *Stauroneis separanda*. G. *Hantzschia calcifuga*. De maatstreef is steeds 10 µm (foto's: Bert Pex, Waterschap Roer en Overmaas).

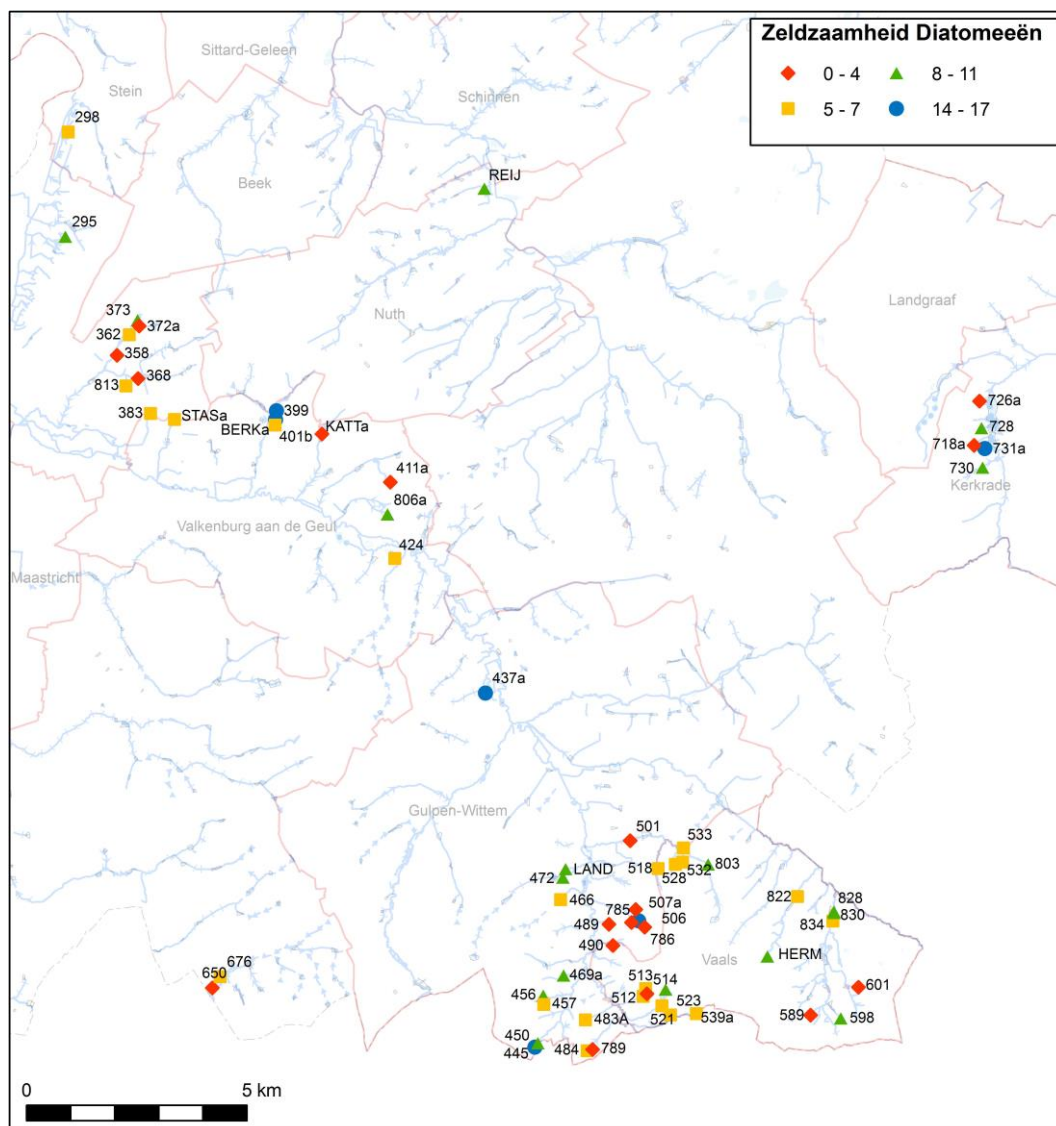
Tabel 5 geeft een samenvatting van de verschillende maten voor verspreiding van de diatomeeën in de bronnen. De gemiddelden van de aantallen zeldzame taxa, nieuwe taxa, en bronspecifieke taxa zijn zonder meer hoog te noemen, in vergelijking met andere Nederlandse wateren. Er is niet een bepaald gebied waar zeldzame soorten meer of minder voorkomen dan in andere gebieden (Figuur 10).

De correlaties met de milieuvariabelen zijn vermeld in Bijlage 7. Daarin springen de zeer significante correlaties met de bedekking van de moslaag eruit. Andere hoge correlaties betreffen o.a. alkaliniteit, geleidingsvermogen, bicarbonaat, aantal substraten en habitatdiversiteit. Het aantal nieuwe taxa is negatief gecorreleerd met verontreiniging door vee en het aantal taxa van kalkrijke bronnen is negatief gecorreleerd met vertrapping of recreatie.

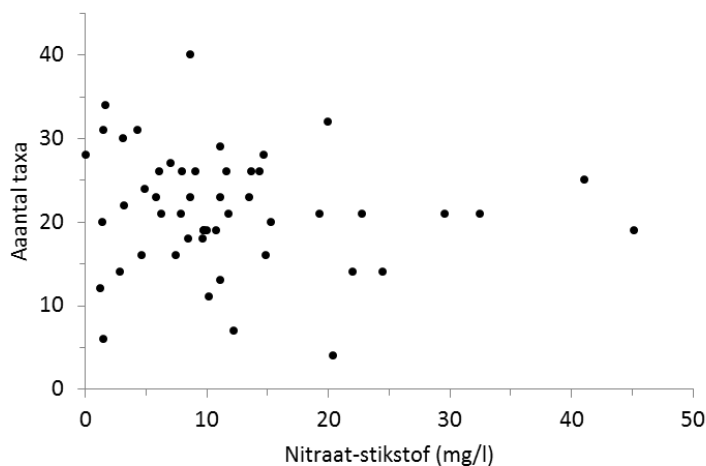
De aantallen taxa van de Duitse Rode Lijst zijn vooral positief gecorreleerd met variabelen als stroomsnelheid, afvoer en graasdruk. Het laatste is wellicht een schijnrelatie (hoge graasdruk gaat vaak samen met hoge stroomsnelheid en afvoer).

Tabel 5 Samenvatting van de criteria voor diversiteit en verspreiding van diatomeeën uit de bronnen.

Afk.	Variabele	Gemiddeld	Minimum	Maximum
St	Aantal taxa in telling	21,4	4	40
Dom	Dominantie (%)	34,8	15	96
zeldz	Aantal voor Nederland zeldzame taxa	6,7	0	17
nw	Aantal voor Nederland nieuwe taxa	1,0	0	4
RLt	Alle taxa Duitse Rode Lijst	0,4	0	3
RL2	Taxa Duitse Rode Lijst 2 (stark gefährdet)	0,0	0	1
RL3	Taxa Duitse Rode Lijst 3 (gefährdet)	0,3	0	2
bron	Aantal taxa in Limburg specifiek voor bronnen	2,2	0	8
brSi	Aantal taxa in Limburg specifiek voor kalkarme bronnen	0,9	0	3
brCa	Aantal taxa in Limburg specifiek voor kalkrijke bronnen	1,2	0	5

**Figuur 10** Aantallen zeldzame soorten per locatie. Alleen op locatie 372A zijn geen zeldzame soorten gevonden. Op alle andere locaties zijn tenminste twee zeldzame soorten aangetroffen.

De twee diversiteitsmaten, het aantal taxa in de telling en de dominantie, zijn onderling zeer significant negatief gecorreleerd ($r_{\text{Spearman}} -0,56$). Het aantal taxa in de telling ligt tussen 4 en 40 (gemiddelde 21) en de dominantie varieert tussen 15 en 96% (Tabel 5 en Bijlage 6). Dergelijke waarden komen in andere Nederlandse watertypen ook vaak voor. Uit de correlaties met milieuvariabelen (Bijlage 7) blijkt dat het aantal taxa toeneemt met de stromingsvariatie, afvoer en het aantal substraten en afneemt met de aanwezigheid van slib en fijn detritus zoals valt te verwachten. De dominantie volgt een omgekeerd patroon. Het aantal taxa is niet significant gecorreleerd met de nitraatconcentratie. Wel blijkt uit Figuur 11 dat bij nitraatconcentraties boven 20 mg/l geen aantallen taxa boven de 25 zijn waargenomen, maar dit kan toeval zijn.



Figuur 11 Relatie tussen aantal taxa in de telling en het nitraatgehalte.

3.2.4 Ecologische gilden

De procentuele hoeveelheden van de ecologische gilden per monster zijn vermeld in Bijlage 6 en samengevat in Tabel 6. De correlaties met de milieuvariabelen staan in Bijlage 7.

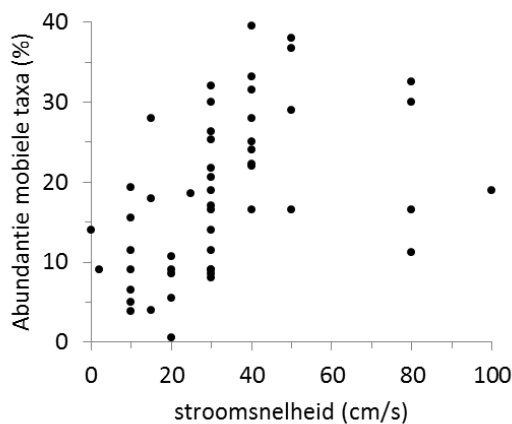
De meerderheid behoort tot het lage profiel (gemiddeld 70% van de abundantie). De soorten hiervan zouden zijn aangepast aan hoge stroomsnelheden en lage nutriëntenconcentraties. Dat blijkt echter niet uit de correlaties met de milieuvariabelen: er is een significant negatieve correlatie met stroomsnelheid en afvoer, evenals met mos.

Tabel 6 Procentuele hoeveelheden van de ecologische gilden van de diatomeeën.

Gilde	Gemiddeld	Minimum	Maximum
Laag profiel	70	39	100
Hoog profiel	11	0	48
Mobiel	18	1	40

Gemiddeld komen de soorten met hoog profiel het minst voor (11%). Dit gilde zou aangepast zijn aan hoge nutriëntconcentraties en lage stroomsnelheden. Dat blijkt echter niet uit de correlaties met de milieuvariabelen: significant positief gecorreleerd zijn alkaliniteit, calcium, N/P-verhouding, voorkomen van mos en verontreiniging door landbouwwater, negatief scoren totaal-fosfaat en stromingsvariatie.

De mobiele soorten komen met gemiddeld 18% iets meer voor dan het vorige gilde, maar steeds nog veel minder dan het gilde met laag profiel. Ze zijn uitgesproken significant gecorreleerd met stroomsnelheid, afvoer en graasdruk ($r_{\text{Spearman}} 0,52 - 0,61$) (Figuur 12) en daarnaast met stromingsvariatie ($r_{\text{Spearman}} 0,44$). De correlatie met zwevende stof is significant negatief. Dat klopt met de hypothese van Passy (2007). Opmerkelijk is de negatieve correlatie met fijn detritus en de positieve correlatie met stenig substraat. Mobiele soorten van genera als *Nitzschia* en *Navicula* bewegen zich namelijk zeer goed door detritus, dat niet als zodanig is bemonsterd. Een mogelijke oorzaak is dat stenen soms zwaar begroeid zijn met allerlei organismen en ingevangen fijn substraat. Dat is in het veld niet genoteerd.



Figuur 12 Relaties tussen hoeveelheid mobiele taxa en stroomsnelheid.

3.2.5 Clusteranalyse

De voor de clusteranalyse gebruikte taxa zijn met hun afkortingen aangegeven in Bijlage 5. De resultaten van de analyse zijn vermeld in Bijlage 8 en samengevat in Tabel 7. De mediane waarden van diatomeeën karakteristieken en milieuvariabelen zijn met hun significanties gepresenteerd in Tabel 8 en Tabel 9. In de laatste tabel zijn milieuvariabelen zonder significante verschillen niet vermeld. In Tabel 8 is ook het aantal monsters (4 – 13) per cluster aangegeven. De verspreiding van de clusters over de locaties is vermeld in Figuur 13.

Er zijn wel verschillen in mediane waarden van IPS en EKR per cluster, maar die zijn niet significant. De Clusters 1 – 5 hebben EKR-waarden rond 0,8 (goed / zeer goed), alleen Cluster 6 scoort gemiddeld lager (0,73), wat nog altijd goed is. Behalve de

milieuvariabelen zijn ook de verschillen in karakteristieke plantensoorten als Bittere veldkers en de beide Goudveilsoorten getoetst. Deze zijn niet significant.

Cluster 1

De meest voorkomende taxa in de 13 monsters van Cluster 1 zijn *Achnanthydium minutissimum* (23%), *Planothydium lanceolatum* (11%) en *P. frequentissimum* (5%). De mediane EKR is hier (niet-significant) hoger dan in de overige clusters. De indicatiegetallen voor zout, saprobie en trofie zijn relatief laag en het aantal taxa in de telling is hoog. Veel van de taxa zijn zeldzaam, nieuw voor Nederland en komen in Limburg vooral in bronnen voor. De alkaliniteit en de daarmee sterk gecorreleerde gehalten van bicarbonaat en calcium zijn hier hoog, evenals de habitatdiversiteit. In de diatomeeënmonsters van dit cluster komen de typische bronkenmerken het meest tot expressie. Het cluster komt vooral in het Geuldal voor en nauwelijks daarbuiten. Verder liggen de locaties van dit cluster vaak in de buurt van die in Cluster 3. Zie verder aldaar.

Tabel 7 De hoeveelheden van de 40 meest voorkomende diatomeeëntaxa per cluster met hun IPS-gevoeligheidswaarden (1 = slecht, ... , 5 = zeer goed) en ecologische indicatiegetallen volgens Bijlage 3. + betekent < 0,5%.

Taxon	Aantal monsters	gemiddelden (% abundantie) per cluster							Kwaliteit en ecologie							
		1	2	3	4	5	6	1-6	IPS-s	R	H	N	O	S	T	M
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>pseudolineata</i>	12	1	4			+		1,0	5	4	2					
<i>Cocconeis pediculus</i>	6	+	1		1			0,4	4	4	3	2	2	2	5	1
*!! <i>Diploneis krammeri</i>	11	1	+	+				0,2	4	3	1	1	1	1	3	4
*!! <i>Amphora indistincta</i>	23	7	1	1	+			1,8	5						2	
*!! <i>Achnanthydium lineare</i>	8	3		+	+			0,7	5	3	1	1	1	1	2	
<i>Gomphonema subclavatum</i>	15	3	+	+	+			0,7	5					1		
* <i>Psammothidium lauenburgianum</i>	15	1	+	1	+	+		0,6	4,8	3	2			2	4	1
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	51	23	20	15	16	2		14,8	5	3	2	2	1	2	7	3
* <i>Gomphonema affine</i>	9		2		1			0,4	4	4	2	1	1	2	3	3
<i>Sellaphora seminulum</i>	29	3	1	2	+		+	1,3	1,5	3	2	3	4	4	5	3
<i>Navicula cincta</i>	11	1		+			+	0,3	3	4	3	2	3	3	5	4
* <i>Gomphonema micropus</i>	31	3	1	12	+			3,8	3	4	2	2	2	2	7	3
<i>Surirella minuta</i>	9	+		1	1			0,3	3	4	2		3	3	5	3
<i>Cocconeis placentula</i>	26	1	9	+	1	4		2,6	4	4	2	2	3	2	5	2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	22	1	4	+	1	1	+	1,3	4	4	3	2	2	2	5	2
<i>Halamphora normanii</i>	23	2	1	+	+	+	11	1,4	4,2	3	1	1	1	1	3	4
*!! † <i>Navicula stroemii</i>	7	1		+		+		0,3	5	4	2		1		4	
**!! <i>Caloneis fontinalis</i>	34	3	1	1	1	1	1	1,2	4,8	4	2	1	2	2	4	2
<i>Gomphonema angustatum</i>	21	1	1	2	+	+	+	1,0	3	3	2				4	
* <i>Diademesis brekkaensis</i>	10	1		+	+		1	0,2	5	3		1	1		4	
*!! <i>Meridion circulare</i>	17	1	3	3	1	2	1	2,1	4,2	4	2	2	2	2	7	1
<i>Sellaphora joubaudii</i>	35	2	2	1	2	1	1	1,5	3	3	2			2	3	
<i>Nitzschia amphibia</i>	18	+	1	+	+	+	+	0,3	2	4	2	3	3	3	5	3
<i>Nitzschia linearis</i>	49	1	1	1	1	+	1	0,9	3	4	2	2	2	2	4	3
<i>Planothidium lanceolatum</i>	62	11	9	35	29	6	27	19,7	4,6	4	2	2	3	3	5	3
<i>Planothidium frequentissimum</i>	60	5	3	11	16	3	24	8,6	3,4	4	2	2	3	4	7	3
<i>Nitzschia frustulum</i>	15	+	+	1	+	1		0,6	2	4	3	4	3	2	5	3
<i>Nitzschia palea</i>	7			+	1	+		0,2	1	3	2	4	4	5	6	3
<i>Denticula tenuis</i>	15	1	2			2		0,7	5	4	1	1	1	1	3	3
* <i>Reimeria sinuata</i>	23	1	1		3	1	2	1,0	4,8	3	2	2	1	2	3	3
<i>Amphora pediculus</i>	47	4	14	2	9	18	1	7,7	4	4	2	2	2	2	5	3
<i>Eolimna minima</i>	50	3	5	1	4	4	12	3,8	2,2	4	2	3	4	4	5	3
*!! <i>Gomphonema angustum</i> [1]	8	1	+	+		1	+	0,4	5	4	2	1	1	1	1	
<i>Navicula tripunctata</i>	13	+	1		+	2		0,5	4,4	4	2	2	2	2	5	3
* <i>Achnanthydium affine</i>	15	+	+	+		29	4	4,9	5	3	4	2	1	2	7	3
<i>Gomphonema clavatum</i>	8					1	+	0,2	5	3	2	1	1	2	5	2
<i>Nitzschia dissipata</i>	20	+	+	+	+	1	1	0,3	4	4	2	2	2	2	4	3
* <i>Navicula sebigiana</i>	16		+	+	+	+	2	0,2	3		2					
<i>Gomphonema parvulum</i>	35	+	+	2	2	6	1	2,1	2	3	2	3	4	4	5	3
<i>Diploneis ovalis</i>	12		+		1	2	1	0,5	4	4	2	1	1	1	1	4

* zeldzame soort in Nederland, ** nieuwe soort voor Nederland, !! in Limburg karakteristiek voor bronnen, † volgens Duitse Rode Lijst bedreigde soort

Cluster 2

In Cluster 2 (11 monsters) zijn *Achnanthydium minutissimum* (20%), *Amphora pediculus* (14%), *Planothidium lanceolatum* (9%) en *Cocconeis placentula* (9%) de belangrijkste taxa. Er zijn geen diatomeeën karakteristieken die significant van andere clusters verschillen, maar de getallen voor zuurstofbehoefte en saprobie zijn vrij laag. Dit wijst op een goede waterkwaliteit. De vochtindicatie is wat lager dan in de andere clusters, wat zou kunnen betekenen dat de watervoerendheid wat beter is. Dat komt overeen met de hoge afvoerwaarden voor dit cluster. In samenhang hiermee is het substraat hier grover en meer mineraal van aard dan in de andere clusters. De habitatdiversiteit is hoog. De graasdruk is hoog. Dat zou een verklaring kunnen zijn voor de piek van de

begrazingsresistente (zie bijvoorbeeld Pan en Lowe 1994) *C. placentula* in dit cluster. Locaties van dit cluster komen verspreid in het gebied voor, maar vooral in de buurt van Mechelen en Cottessen.

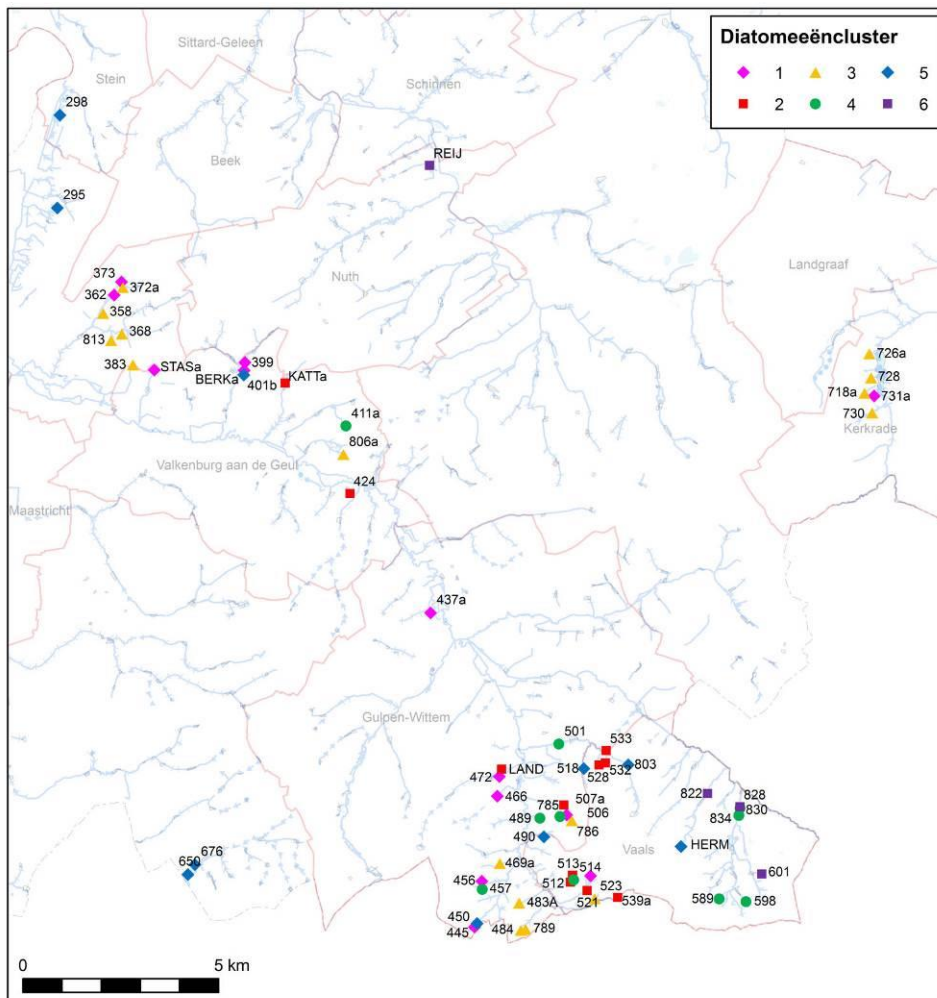
Tabel 8 Mediane waarden van diatomeeën karakteristieken per cluster. Significante overall verschillen zijn in de laatste kolom aangegeven (* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$). Medianen die significant ($p \leq 0,05$) verschillen van één of meer andere clusters zijn **vet onderstreept**.

Variabele	Cluster Aantal monsters	medianen						alle 64	p
		1 13	2 11	3 16	4 10	5 10	6 4		
<i>Kwaliteit</i>									
IPS		16,3	15,7	15,1	15,4	15,4	14,4	15,4	
Ecologische Kwaliteitsratio		0,83	0,81	0,77	0,79	0,80	0,73	0,79	
<i>Ecologische indicatiegetallen</i>									
Zuurgraad		3,5	3,7	3,8	3,7	3,6	3,8	3,7	**
Zoutgehalte (halobie)		<u>1,9</u>	2,0	<u>2,0</u>	2,0	<u>2,5</u>	2,0	2,0	***
Organisch gebonden stikstof		1,9	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1	2,0	
Zuurstofbehoefte		1,9	2,1	2,4	2,5	1,9	2,8	2,2	**
Saprobie		<u>2,3</u>	2,2	<u>2,7</u>	<u>2,8</u>	2,2	3,2	2,5	***
Trofie		<u>4,0</u>	4,6	<u>4,8</u>	<u>4,8</u>	4,8	4,7	4,6	***
Vochtindicatie		3,0	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	*
<i>Diversiteit</i>									
Totaal aantal taxa		<u>26</u>	22	<u>16</u>	19	22	23,5	21	**
Dominantie (%)		29	29	39	30	38	37	32	
Geteld aantal exemplaren		<u>200</u>	200	<u>200</u>	203	<u>330</u>	<u>310</u>	200	***
<i>Verspreiding</i>									
Zeldzame taxa		11	5	5	4	7	7	6	***
Nieuw voor Nederland		<u>2</u>	1	1	<u>0</u>	1	1	1	***
Rode Lijst categorie 2 en 3		0	0	0	0	0	0	0	
Rode Lijst categorie 2		0	0	0	0	0	0	0	
Rode Lijst categorie 3		0	0	0	0	0	0	0	
In Limburg vooral in bronnen		<u>4</u>	2	2	<u>0</u>	<u>1,5</u>	2	2	***
In Limburg vooral in kalkarme bronnen		<u>2</u>	1	1	0	<u>0</u>	1	1	**
In Limburg vooral in kalkrijke bronnen		<u>3</u>	1	1	<u>0</u>	2	0	1	***
<i>Ecologische gilden</i>									
Hoog profiel		13	7	<u>14</u>	<u>5</u>	7	<u>3</u>	9	***
Laag profiel		61	74	70	80	69	76	71	
Mobiel		24	17	10	15	19	21	17	

Tabel 9 Mediane waarden van milieuv variabelen met significante verschillen per cluster. Significante overall verschillen zijn in de laatste kolom aangegeven (* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$). Medianen die significant ($p \leq 0,05$) verschillen van één of meer andere clusters zijn **vet onderstreept**. n = aantal metingen.

Variabele	Eenheid	n	medianen per cluster							p
			1	2	3	4	5	6	1-6	
Zuurgraad	-	60	7,4	7,3	7,2	7,0	8,7	6,9	7,4	*
Alkaliteit	mmol/l	51	<u>5,2</u>	4,7	4,2	3,1	5,1	<u>2,0</u>	4,6	**
Ammonium-stikstof	mg/l	51	0,34	0,56	0,27	0,33	0,68	0,16	0,35	*
Fosfaat-totaal (P)	mg/l	51	0,05	0,05	0,10	0,19	0,05	0,24	0,10	*
Bicarbonaat	mmol/l	51	<u>4,8</u>	3,8	3,7	<u>2,5</u>	4,3	2,0	3,8	*
Calcium	mg/l	51	140	110	110	81	145	62	120	*
Kalkverzadigingsindex	-	51	0,02	-0,40	0,01	-0,58	1,44	-1,11	0,01	*
Stroomsnelheid	cm/s	63	30	30	10	35	30	35	30	*
Rheokreen	nom. †	64	0	0	0	0	0	0	0	*
Afvoer	ord. ‡	59	2	<u>3</u>	<u>1</u>	2	2	3	2	***
Graasdruk	d/m!!	64	19	<u>37</u>	<u>8</u>	22	<u>24</u>	24	19	***
(Water)planten	%	64	1	2	5	5	1	5	2	(*)
Fijn grind	%	64	10	15	1	10	10	3	10	*
Fijne detritus	%	64	10	5	13	6	5	15	10	**
Grof grind	%	64	15	<u>15</u>	<u>0</u>	5	7	1	5	**
Grove detritus	%	64	20	15	<u>28</u>	25	<u>10</u>	38	20	**
Mos	%	64	5	1	1	1	9	0	2	**
Steen	%	64	5	<u>15</u>	<u>0</u>	1	5	<u>0</u>	5	***
Aantal substraten	-	64	10	<u>10</u>	<u>7</u>	8	9	8	8	**
Habitatdiversiteit (15)	-	64	<u>2,0</u>	<u>1,9</u>	<u>1,6</u>	1,6	1,9	1,6	1,8	***
Habitatdiversiteit (6)	-	64	<u>1,4</u>	<u>1,4</u>	<u>1,0</u>	1,1	<u>1,4</u>	1,0	1,3	***
Grof mineraal	%	64	25	<u>30</u>	<u>1</u>	15	18	4	15	**
Vast mineraal	%	64	6	<u>15</u>	<u>0</u>	<u>1</u>	<u>23</u>	<u>0</u>	5	***
Organisch dood	%	64	31	<u>21</u>	<u>47</u>	38	<u>23</u>	56	32	***
Dikte sapropeliumlaag	cm/s	63	1	<u>0</u>	<u>4</u>	0	<u>0</u>	0	0	**
Bedekking moslaag	%	64	5	1	1	1	10	0	1	*

† nominale variabele (waarden 0/1), ‡ ordinaal (waarden 1, 2, 3), !! dieren per monster



Figuur 13 Verspreiding van de diatomeeënclusters.

Cluster 3

De meest voorkomende taxa in Cluster 3 (16 monsters) zijn *Planothidium lanceolatum* (35%), *Achnanthydium minutissimum* (15%) en *Gomphonema micropus* (12%). Laatstgenoemde is een in Nederland betrekkelijk zeldzame soort van vrij schoon (oligo- β -mesosaproob), voedselrijk en redelijk zuurstofrijk water. Het aantal taxa in de monsters is verhoudingsgewijs laag en de saprobie- en trofiegetallen zijn vrij hoog ten opzichte van andere clusters. Verhoudingsgewijs is het aantal exemplaren met hoog profiel hoog. In tegenstelling tot het vorige cluster zijn afvoer, stroomsnelheid en graasdruk laag. Het substraat is minder grof mineraal en meer organisch van aard. De mediane sapropeliumdikte is hier het hoogst van alle clusters, terwijl het aantal verschillende substraten juist het laagst is. De habitatdiversiteit is laag. De locaties van dit cluster liggen vooral in het Geuldal en ten noorden van Kerkrade, ook vaak in de buurt van locaties van Cluster 1. Bovendien clusteren de bronnen in de buurt van Kerkrade en de bronnen in de buurt van Ulestraten. De herkomst van het bronwater in deze gebieden is

echter totaal verschillend. Qua morfologie van de bronnen lijken deze twee gebieden maar matig op elkaar.

Cluster 4

De tien monsters van Cluster 4 worden gekenmerkt door gemiddelde procentuele abundantiewaarden van 19, 16 en 16% voor respectievelijk *Planothidium lanceolatum*, *P. frequentissimum* en *Achnanthydium frequentissimum*. Net als in het vorige cluster zijn de indicatiegetallen voor saprobie en trofie hoog, wat op een sterkere antropogene invloed wijst. Er zijn geen taxa aangetroffen die kenmerkend zijn voor de Limburgse bronnen. Er zijn in verhouding ook maar weinig zeldzame taxa. Het aantal individuen met hoog profiel is laag. De concentraties van bicarbonaat zijn laag en er is weinig vast mineraal substraat. De concentraties van totaal-fosfaat en de stroomsnelheid zijn hoog. Alle locaties van dit cluster liggen in het gebied tussen Gulpen, het Drielandenpunt en Slenaken, waar veel invloed van de landbouw is. Bijna de helft van de bronnen in dit cluster is gelegen in het stroomgebied van de Zieversbeek. De bronnen lijken op die van Cluster 6.

Cluster 5

In Cluster 5 bevinden zich tien monsters waarin *Achnanthydium affine*, zeer nauw verwant met *A. minutissimum*, met 29% de meest voorkomende soort is. Daarop volgen *Amphora pediculus* (18%), *Planothidium lanceolatum* (6%) en *Gomphonema parvulum* (6%). In de monsters van dit en het volgende cluster zijn vaak meer dan het standaard aantal van 200 exemplaren geteld, waardoor het aantal soorten in de telling niet goed vergelijkbaar is. Desondanks is het aantal Limburgse bronsoorten laag. De relatief hoge waarde voor het zoutgehalte kan wijzen op een wat hoger mineralengehalte, maar ook op veel exemplaren die relatief indifferent zijn voor het zoutgehalte. Wellicht hiermee samenhangend, is de calciumconcentratie vrij hoog. De graasdruk is vrij hoog en het substraat is vaak vast mineraal en weinig organisch dood en in verhouding is er veel mos. Dat is nergens anders zo goed ontwikkeld. Het cluster bevat veel bronnen met kalktufsteenontwikkeling. Er is geen sapropeliumlaag en het ammoniumgehalte is (niet significant) hoger dan in andere clusters.

Cluster 6

Cluster 6 heeft slechts vier monsters, die al op het eerste niveau van de overige monsters zijn afgesplitst doordat ze daarvan relatief sterk in soortensamenstelling verschillen. De twee meest voorkomende taxa zijn weliswaar de ook in andere clusters veel voorkomende *Planothidium lanceolatum* (27%) en *P. frequentissimum* (24%), maar met *Eolimna minima* (12%) en *Halamphora normanii* (11%) is dat in mindere mate het geval. De EKR wijst nog wel op een goede toestand, maar is (niet significant) lager dan in de overige clusters. Het zeer lage aandeel van de taxa met hoog profiel wijst op een achtergebleven successie. Misschien hangt dit samen met de hoge stroomsnelheid. De alkaliniteit is in dit cluster significant lager dan in overige clusters, terwijl ammonium en pH niet-significant lager zijn dan in de andere clusters. Opmerkelijk (maar niet significant) zijn de hoge fosfaatconcentraties, de hoge stroomsnelheid, het vele grove detritus en overig organisch materiaal en het ontbreken van mossen. Op één na liggen de bronnen

van dit cluster ten noorden van Vaals, waar veel landbouw is. De bonnen lijken op die van Cluster 4.

Slotopmerking

Uit deze analyse kan worden geconcludeerd dat er duidelijke verschillen zijn in de soortensamenstelling van de diatomeeën uit de onderzochte bronnen en dat er ook duidelijke correlaties zijn met fysische factoren (afvoer, substraat, habitatdiversiteit), chemische factoren (alkaliniteit, totaal-fosfaat) en biotische factoren (graasdruk). Er kan niet worden aangegeven wat de causale factoren zijn.

Opmerkelijk is het ontbreken van nitraat-stikstof bij de significante milieuvariabelen. De mediane concentraties hiervan zijn echter zo hoog (7 – 11 mg/l), dat het in overmaat aanwezig is en daardoor weinig effect heeft op verschillen in soortensamenstelling tussen de bronnen. Het kan echter zijn dat er wel een invloed is op de soortensamenstelling. Dat zou achterhaald kunnen worden door een vergelijking van de soortensamenstelling met minder belaste, buitenlandse, bronnen.

3.2.6 Ordinatie

De voor de ordinatie gebruikt soorten en variëteiten zijn met hun afkortingen aangegeven in Bijlage 5. Tabel 10 presenteert een samenvatting van de resultaten van beide ordinaties.

Tabel 10 Samenvatting van de resultaten van de PCA's van de diatomeeën.

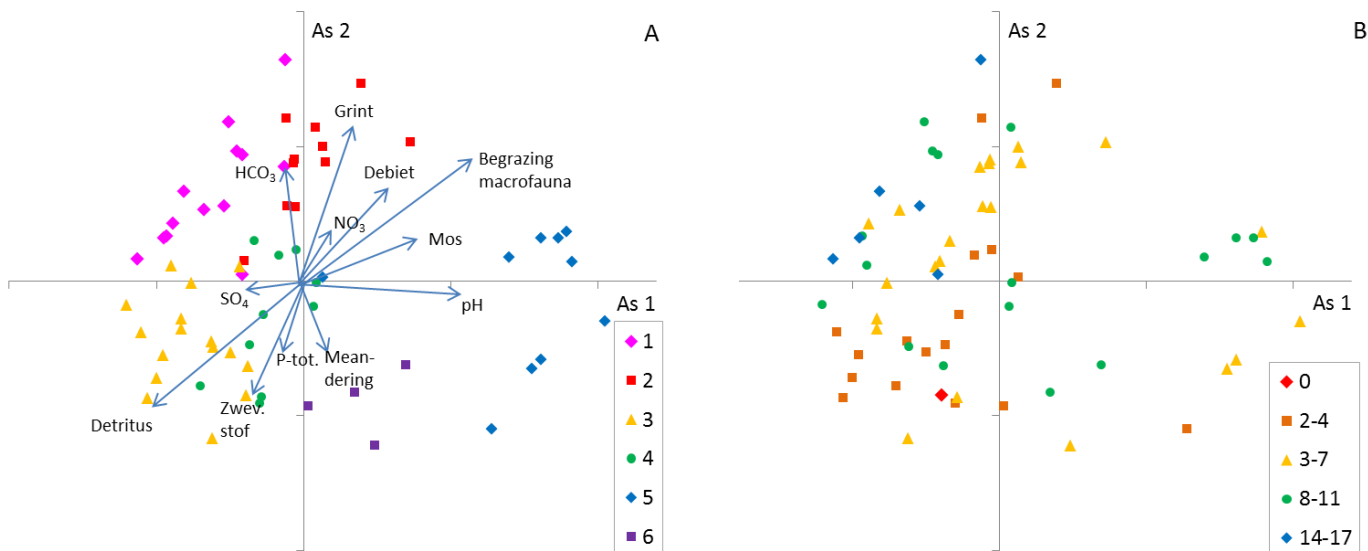
Assen	1	2	3	4	Totale variatie
<i>PCA soorten</i>					
Soort-omgevingscorrelaties	0,96	0,95	0,91	0,97	
Cumulatieve variatie (%)					
van de soorten	19,5	32,2	40,0	46,9	
van de soort-omgevingsrelatie	20,3	33,0	40,3	47,5	
Som van alle eigenwaarden					1,00
Som van alle canonische eigenwaarden					0,88
<i>PCA genera</i>					
Soort-omgevingscorrelaties	0,96	0,98	0,96	0,95	
Cumulatieve variatie (%)					
van de soorten	21,2	34,1	43,8	51,9	
van de soort-omgevingsrelatie	21,5	34,9	44,9	53,0	
Som van alle eigenwaarden					1,00
Som van alle canonische eigenwaarden					0,89

De eerste vier assen van de soortordinatie verklaren respectievelijk 20, 13, 8 en 7% van de totale variatie in de soortensamenstelling. Dat is helemaal geen slecht resultaat in vergelijking met veel andere ordinaties van diatomeeën. De eerste twee assen samen verklaren 33% van de soort-omgevingsrelaties (uiteraard alleen van de gebruikte

milieuv variabelen)³. Bij de genusordinatie liggen, zoals verwacht, al deze getallen hoger, maar zijn ze in dezelfde orde van grootte als de soortinformatie.

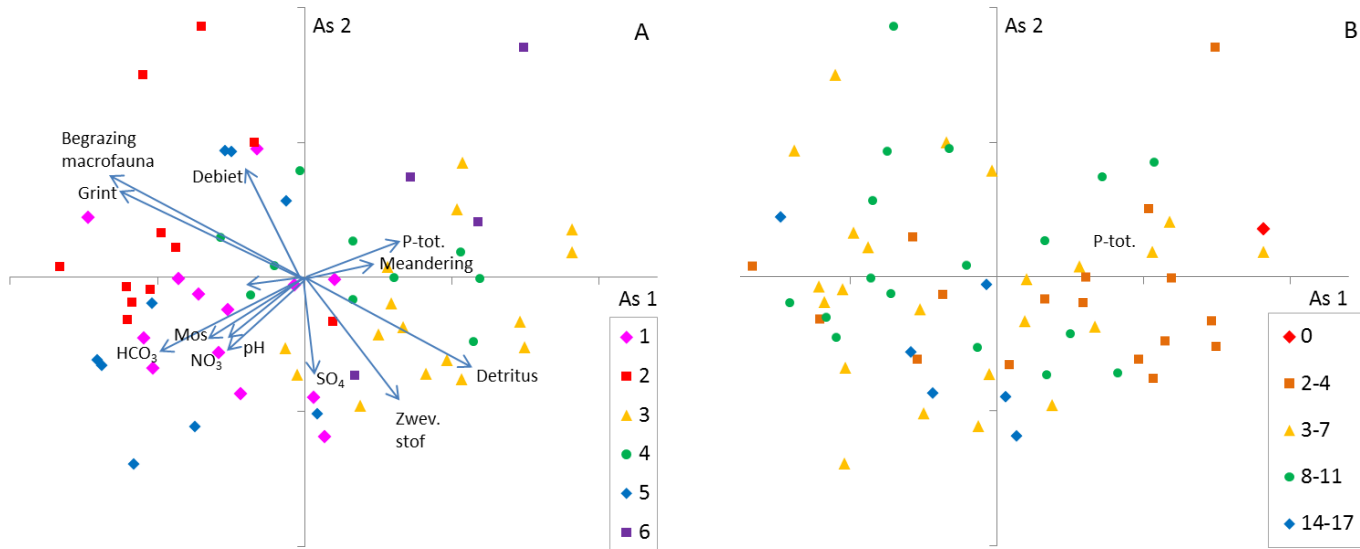
De correlaties van de assen met de gebruikte milieuv variabelen zijn vermeld in Bijlage 9, samen met de afkortingen van de milieuv variabelen, die gebruikt zijn in de ordinatiediagrammen van Bijlage 10. Deze diagrammen zijn samengevat in Figuur 14 en Figuur 15. Hierin is een selectie gemaakt van een aantal milieuv variabelen die naar verwachting van wezenlijke invloed zijn op de taxonomische samenstelling van de diatomeeën en/of de bronnen goed karakteriseren. De lengte van de pijlen is evenredig met de invloed op de taxonomische samenstelling.

Begrazing door de macrofauna en de aanwezigheid van veel mos lijken een grote invloed te hebben (Figuur 14). Het kan heel goed zijn dat deze relatie indirect is, bijvoorbeeld dat sommige milieuv variabelen een vergelijkbare invloed hebben op de aanwezigheid van grazers en mossen. Grind is in de diagrammen een verzamelvariabele van grovere en fijnere minerale substraten en detritus is een verzamelvariabele van allerlei dood organisch materiaal. Hun invloed is tegenovergesteld. Veel bicarbonaat geeft veel kalkrijk uittredend grondwater aan, met een hoog geleidingsvermogen. De aanwezigheid van detritus is min of meer gecorreleerd met zwevend stof en totaal-fosfaat en staat tegenover een groot debiet. Ook debiet is hier zo'n verzamelvariabele van afvoer, stroomsnelheid en stroomsnelheidsvariatie. De pH heeft een positieve samenhang met de eerste ordinatie-as en staat tegenover sulfaat, dat op zichzelf geen sterke invloed heeft. Nitraat lijkt geen invloed te hebben op verschillen in de taxonomische samenstelling van de diatomeeën.



³ Aan de getallen van de soort-omgevingsrelatie moet niet te veel waarde worden gehecht. Deze zijn sterk afhankelijk van het aantal gebruikte milieuv variabelen. Vaak geldt: hoe meer milieuv variabelen, hoe minder het percentage verklaarde variatie.

Figuur 14 Diagrammen van de eerste 2 assen van de soortordinatie. Monsterpunten en enkele geselecteerde milieuvariabelen. A. De kleur en vorm van de symbolen komt overeen met de nummers van de Twinspanclusters (Tabel 7). B. De symbolen komen overeen met de in de legenda aangegeven aantallen zeldzame soorten in de monsters.



Figuur 15 Diagrammen van de eerste 2 assen van de genusordinatie. Overigens als Figuur 14.

De verschillende clusters worden in Figuur 14A vrij goed van elkaar gescheiden. Uit Figuur 14B blijkt dat de meeste zeldzame soorten voorkomen in de linkerbovenhoek van het diagram, waar ook de monsters uit Cluster 1 liggen. Dat karakteriseert het meest typische bronmilieu, met veel calciumbicarbonaat.

De ordination op basis van de genussamenstelling geeft ongeveer een vergelijkbaar beeld als die op basis van de soortensamenstelling, vooral als het assenstelsel van Figuur 15 een kwartslag naar rechts wordt gedraaid. De scheiding van de clusters is hier minder dan in Figuur 14, vooral doordat de monsters van Cluster 5 nu over het diagram worden verspreid. Deze monsters bevatten veel *Achnantheidium affine*, die wordt samengevoegd met *A. minutissimum*, die veel in de Clusters 1-4 voorkomt.

3.3 Macrofauna

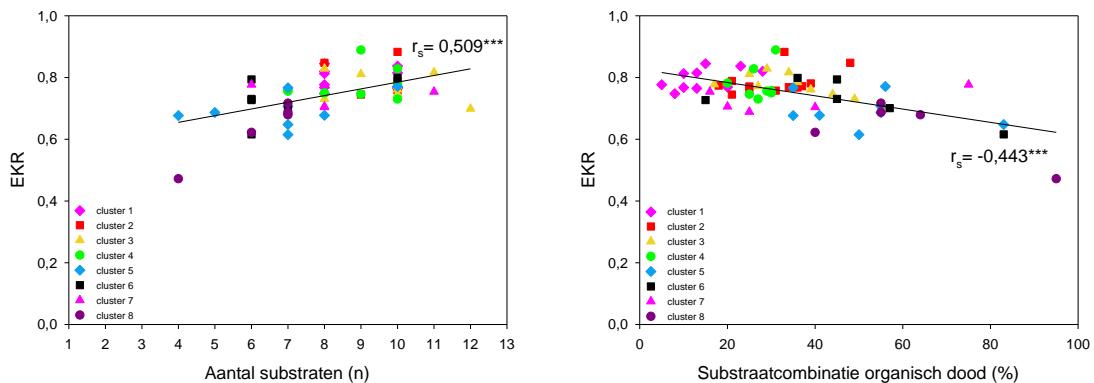
De matrix met de gegevens (na harmonisatie van de taxa) is opgenomen in Bijlage 11 en Bijlage 12 samen met de kenmerken van de taxa betreffende verspreiding, kwaliteit en ecologie. De basisgegevens voor de univariate analyses en de toetsingen aan de R2 maatlat zijn vermeld in Bijlage 11. In Bijlage 12 zijn de basisgegevens voor gebruik van de clustering en de ordinaties weergegeven.

3.3.1 Ecologische kwaliteit KRW

Op de maatlat van de permanente bronnen (R2) scoren de bronnen bijna allemaal 'goed' tot 'zeer goed'. Slechts één locatie scoort matig (Reijmersbekervloedgraaf zijtak, REIJ). De ecologische kwaliteitsratio (EKR) van 45 bronnen scoort 'goed' en achttien bronnen hebben zelfs een 'zeer goede' kwaliteit (Bijlage 13). Significante rangcorrelaties hiervan met milieuvariabelen zijn vermeld in Bijlage 7.

De EKR is significant ($p < 0,01$) positief gecorreleerd met geleidingsvermogen, afvoer, totaal aantal substraten, substraatcombinatie grof materiaal en substraatcombinatie vast materiaal ($r_{\text{Spearman}} 0,34 - 0,60$), significant ($p < 0,05$) positief met alkaliniteit, nitraat, totaal-stikstof, sulfaat, populatie uitwisseling en stroomsnelheid ($r_{\text{Spearman}} 0,26 - 0,32$), significant ($p < 0,05$) negatief met zwevend stof ($r_{\text{Spearman}} -0,35$) en significant negatief ($p < 0,01$) met kwel, substraatcombinatie organisch dood en de dikte van de sapropeliumlaag ($r_{\text{Spearman}} -0,35 - -0,51$).

De stijging van de EKR bij een toenemend aantal substraten en een hogere afvoer en de afname van de EKR bij een hoger gehalte zwevend stof en een groter aandeel organisch materiaal als substraat, is conform de verwachting (Figuur 8). De toename van de EKR met het geleidingsvermogen en het gehalte van nitraat, komt niet overeen met de verwachting.



Figuur 16 Relaties tussen de EKR en enkele milieuvariabelen met regressielijnen. De clusters worden nader besproken in paragraaf 3.3.4 en 3.3.5. *** $p < 0,001$.

3.3.2 Ecologische indicatiewaarden

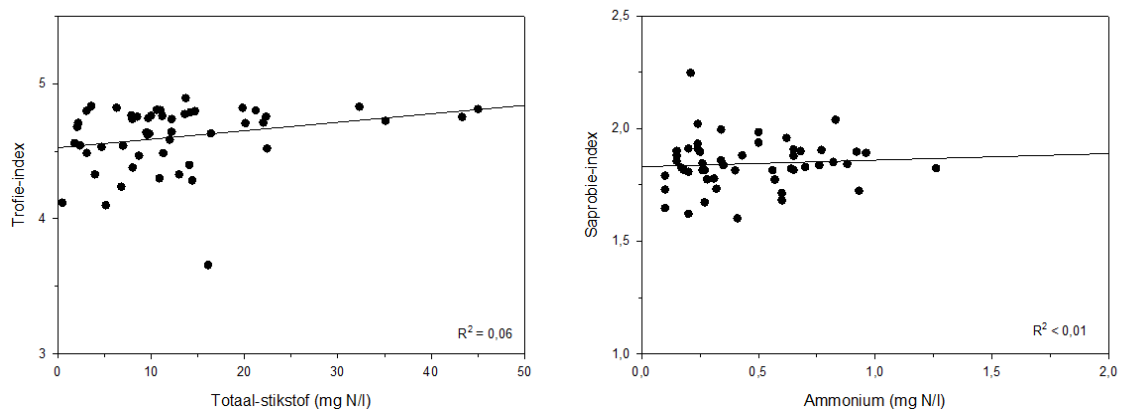
De milieu- en habitatpreferenties van de macrofauna geven een beeld van de ecologische toestand van de bron. In Tabel 11 is voor alle 64 monsters samen het gemiddelde percentage aangegeven van de in Bijlage 3B genoemde klassen van ecologische indicatiewaarden. De factoren zoutgehalte, droogval, diepte en oppervlakte gebruiken we niet omdat het in alle gevallen gaat om zoete permanente bronnen. Bronnen zijn daarnaast altijd klein van oppervlak en hebben een geringe diepte.

Tabel 11 Gemiddelde percentage per klasse voor de factoren uit Verberk *et al.* 2012.

Klasse	Percentage per klasse				
	Zuurgraad	Stroomsnelheid	Substraat	Saprobie	Trofie
1	23	2	1	42	1
2	24	11	< 1	37	1
3	27	13	21	15	7
4	26	29	27	6	18
5		45	37		73
6			2		
7			1		
8			< 1		
9			9		
10			1		

De gegevens indiceren dat het hier gaat om zure tot alkalische (Zuurgraad 1-4), matig tot snelstromende (Stroomsnelheid 4-5), voedselrijke (Trofie 5), oligosaprobe tot β -mesosaprobe (Saprobie 1-2) bronnen. De taxa die zijn aangetroffen hebben een voorkeur voor slib, stenen, grind en waterplanten.

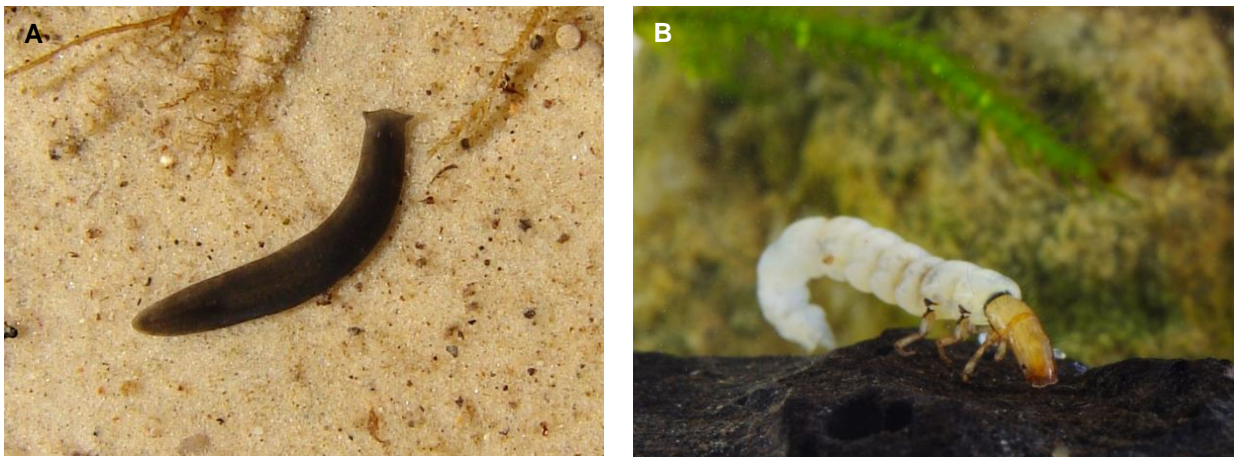
De factoren saprobie, trofie, stroomsnelheid en zuurgraad zijn omgerekend naar indexen. In Figuur 17 zijn enkele relaties tussen nutriënten en de trofie-en saprobie-index weergegeven. De relaties zijn zwak en niet significant.



Figuur 17 Relaties tussen totaal-stikstof en de trofie-index (links) en tussen ammonium en de saprobie-index (rechts).

3.3.3 Zeldzame, kenmerkende en nieuwe soorten

In totaal zijn er 295 taxa in de tellingen van de 64 monsters aangetroffen, waarvan er 77 zeldzaam of zeer zeldzaam zijn in Nederland. Het aantal taxa dat per bron is waargenomen varieert tussen de 14 en 63 (gemiddeld 40 taxa). Het aandeel zeldzame soorten varieert tussen de 2 en 24 (gemiddeld 12 zeldzame taxa). Vier soorten zijn nieuw voor de Nederlandse fauna (hierover wordt nog gepubliceerd door Waterschap Roer en Overmaas) en vijftien staan op de Nederlandse Rode Lijst. Deze aantallen laten duidelijk zien dat de Zuid-Limburgse bronnen een schat aan natuurwaarden herbergen. Door het onderzoek is de kennis van de verspreiding van veel typische bronnensoorten (onder andere de watermijten *Atractides fonticolus* en *A. pennatus*, de platworm *Crenobia alpina* (Figuur 18) en de kokerjuffers *Drusus annulatus*, *Ernodes articularis*, *Tinodes unicolor* en *Wormaldia occipitalis* (Figuur 18)) sterk toegenomen.



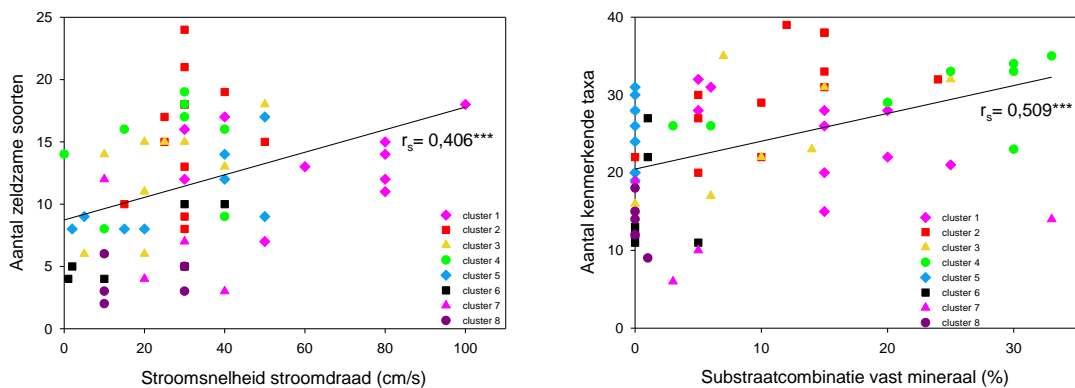
Figuur 18 Twee voor Nederland minder algemene taxa. A. De platworm *Crenobia alpina* B. De naakte kokerjuffer *Wormaldia occipitalis* (foto's: Barend van Maanen).

De correlaties van het aandeel zeldzame soorten en de KRW indicatorsoorten met de milieuv variabelen zijn vermeld in Bijlage 7. Het aantal zeldzame macrofaunasoorten is significant ($p < 0,01$) positief gecorreleerd met ammonium, stromingsvariatie, stroomsnelheid, afvoer, totaal aantal substraten, substraatcombinatie grof materiaal en substraatcombinatie vast materiaal ($r_{\text{Spearman}} 0,35 - 0,55$), significant ($p < 0,05$) positief met de ligging van een bron ($r_{\text{Spearman}} 0,28$), significant ($p < 0,01$) negatief met substraatcombinatie organisch dood en de dikte van de sapropeliumlaag ($r_{\text{Spearman}} -0,39 - -0,55$) en significant negatief ($p < 0,05$) met de natuurlijke morfologie van de bron ($r_{\text{Spearman}} -0,26$).

De bronnen herbergen vele kenmerkende soorten. Zo zijn 136 (ruim 46%) van de aangetroffen taxa aangewezen als karakteristiek voor bronnen op de KRW maatlat voor het type R2. Typische bronsoorten zijn vooral te vinden in de groep van de kokerjuffers (bijvoorbeeld *Plectrocnemia brevis*, *Adicella filicornis*), watermijten (bijvoorbeeld *Protzia eximia*, *Ljania bipapillata*) dansmuggen (bijvoorbeeld *Eukiefferiella gracei*, *Rheocricotopus effusus*) en platwormen (bijvoorbeeld *Polycelis felina*).

Het aantal kenmerkende soorten voor de R2 maatlat laat precies hetzelfde beeld zien als het aantal zeldzame soorten, met correlaties die dezelfde richtingen uitwijzen. Hiernaast is het aantal kenmerkende soorten eveneens significant ($p < 0,05$) positief gecorreleerd met de zuurgraad van het water ($r_{\text{Spearman}} 0,27$).

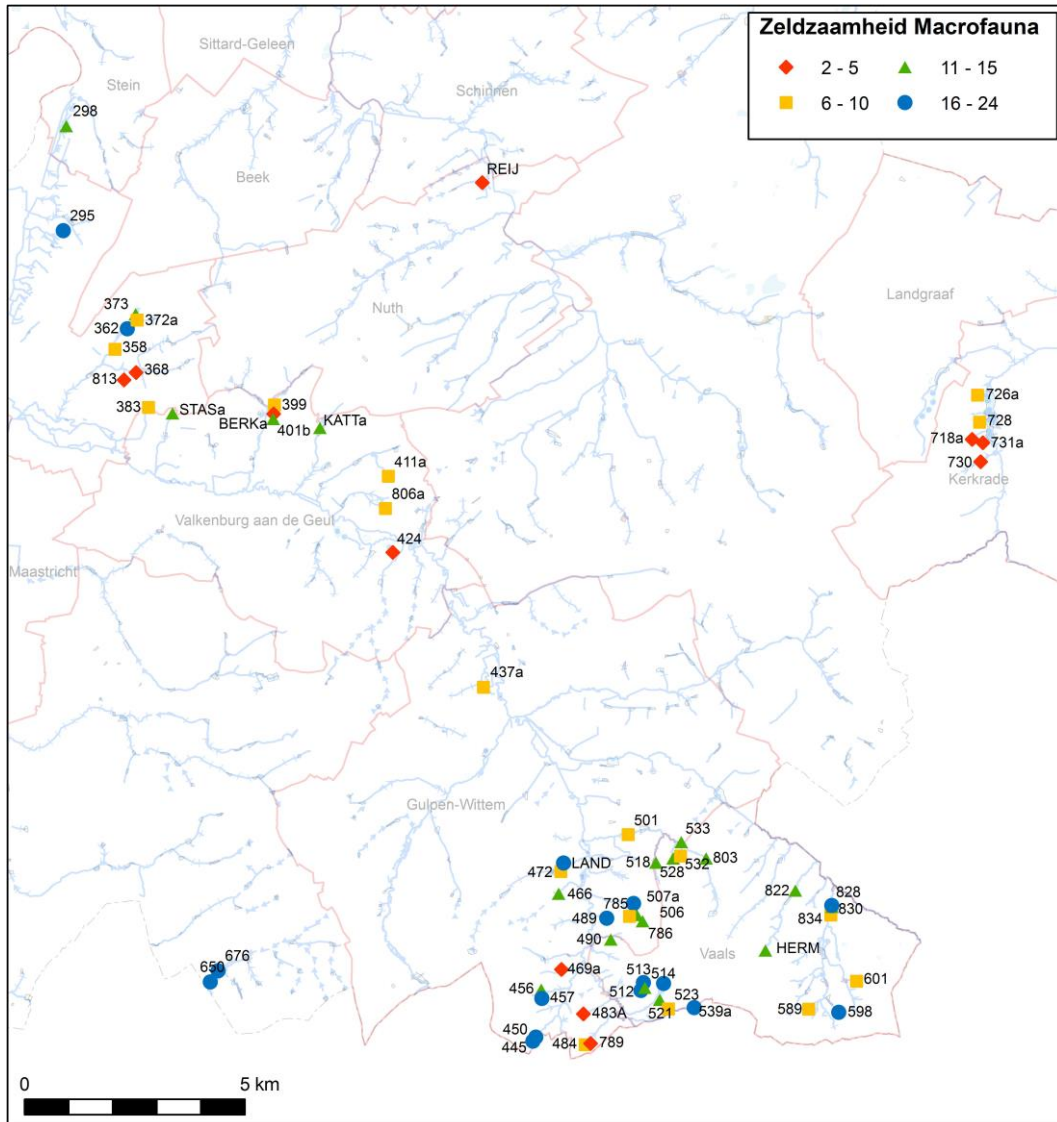
De toename van het aantal zeldzame en kenmerkende soorten bij een toenemend aantal substraten, een hogere afvoer, stromingsvariatie, stroomsnelheid en een afname van het aantal zeldzame soorten bij een groter aandeel organisch materiaal als substraat of een beïnvloede morfologie, is conform de verwachting (Figuur 19). De toename van het aantal zeldzame soorten bij een nutriënt als ammonium komt niet overeen met de verwachting.



Figuur 19 Relaties tussen het aantal zeldzame of kenmerkende soorten en enkele milieuv variabelen met regressielijnen. De clusters worden nader besproken in paragraaf 3.3.4 en 3.3.5. *** $p < 0,001$.

Door het aantal zeldzame soorten per locatie te plotten op de kaart van het beheersgebied van het waterschap is direct inzichtelijk waar zich waardevolle bronnen bevinden (Figuur 20). De meest waardevolle bronnen qua zeldzaamheid van macrofauna bevinden zich nabij Noorbeek, in en rondom het Vijlenerbos en in het Bunder- en Elslöerbos. Deze bronnen maken deel uit van broncomplexen en zijn in loofbos gelegen. Een cluster van bronnen die minder zeldzame soorten bevatten, bevindt zich tussen Landgraaf en Kerkrade. In algemene zin bevatten de bronnen in het zuidelijke deel meer zeldzame soorten dan de noordelijker gelegen bronnen.

Omdat niet van alle taxonomische hoofdgroepen Rode Lijsten beschikbaar zijn, is hier voor de rest niet uitvoerig mee gewerkt. Vijf procent van de aangetroffen taxa staat op één van de Rode Lijsten voor macrofaunagroepen.



Figuur 20 Aantallen zeldzame macrofaunasoorten per locatie. Op alle locaties zijn tenminste twee zeldzame soorten aangetroffen.

Het totale aantal soorten is significant ($p < 0,01$) positief gecorreleerd met ammonium en de substraatcombinatie vast materiaal ($r_{\text{Spearman}} 0,37 - 0,41$), significant ($p < 0,05$) positief met stromingsvariatie, stroomsnelheid en het totale aantal substraten ($r_{\text{Spearman}} 0,29 - 0,31$), significant ($p < 0,01$) negatief met de dikte van de sapropeliumlaag ($r_{\text{Spearman}} -0,40$) en significant negatief ($p < 0,05$) met de morfologie van de bron ($r_{\text{Spearman}} -0,30$).

3.3.4 Clusteranalyse

Met behulp van TWINSPAN zijn de bronnen op basis van macrofaunasoorten ingedeeld in acht clusters. De voor de clusteranalyse gebruikte taxa zijn met hun afkortingen aangegeven in Bijlage 12. De resultaten van de analyse zijn vermeld in Bijlage 14. In

Tabel 12 zijn de veertig meest voorkomende macrofaunataxa, op basis van het aantal locaties waar een soort voorkomt, weergegeven. De mediane waarden van de macrofaunakaracteristieken en milieuvariabelen zijn met hun significanties vermeld in Tabel 13 en Tabel 14. In de laatste tabel zijn milieuvariabelen zonder significante verschillen niet vermeld. In Tabel 13 is ook het aantal monsters (5 – 12) per cluster aangegeven. De berekende indexen voor saprobie, trofie, stroming en zuurgraad per cluster zijn vermeld in Figuur 26 en indicatiewaarden voor substraataanwezigheid zijn weergegeven in Figuur 28. De verspreiding van de clusters over de locaties is gepresenteerd in Figuur 30.

Tussen de clusters zijn significante verschillen aantoonbaar in mediane waarde van de EKR, van de aantallen positief dominante taxa, kenmerkende taxa, negatief dominante taxa en zeldzame taxa en van het totaal aantal taxa per cluster. De Clusters 1 – 4 hebben EKR-waarden van 0,76 – 0,80 (goed/zeer goed), Clusters 5 – 8 scoren gemiddeld lager (0,68 – 0,73), wat nog altijd goed is. Het totale aantal taxa en het aandeel kenmerkende en zeldzame taxa is significant hoger in Clusters 1 – 5 ten opzichte van Clusters 6 – 8. Cluster 5 heeft een significant hoger aantal negatief dominante taxa in vergelijking met de andere clusters. Cluster 7 en 8 hebben een significant lager aantal positief dominante taxa.

Cluster 1

De meest voorkomende taxa in de tien monsters van Cluster 1 zijn de vlokreeft *Gammarus fossarum* (45%), de kokerjuffer *Agapetus fuscipes* (12%) en de steenvlieg *Nemoura marginata* gr. (6%).

Indicatieve soorten voor dit cluster zijn de haften *Baetis rhodani*, *B. vernus*, *Electrogena ujhelyii* en *Rhithrogena picteti*, de kokerjuffers *Drusus annulatus* (doelsoort voor bronnen), *Tinodes assimilis* en *Rhyacophila fasciata*, de watermijt *Protzia eximia*, de platworm *Crenobia alpina* (doelsoort voor bronnen) en de kever *Elmis aenea*.

De mediane EKR is hier het hoogst van alle clusters. De indicatiegetallen voor saprobie zijn relatief laag en voor stroming hoog. Het aantal taxa is hoog en veel van de taxa zijn zeldzaam. Naast vele typische bronsoorten zijn veel soorten van boven- en middenlopen in dit cluster aangetroffen. Het aandeel schrapers en grazers is in dit cluster hoger dan in de andere clusters. De substraatcombinaties grof- en vast materiaal (stenen, beton, kalktuf, fijn- en grof grind) zijn hier volop aanwezig, terwijl detritus bijna niet als substraat aanwezig is. De gehalten magnesium en natrium zijn het laagst voor dit cluster. De morfologie van de bronnen is beïnvloed bij een deel van de bronnen in dit cluster. In de macrofaunamonsters van dit cluster komen naast typische bronkenmerken ook kenmerken van bovenlopen tot expressie. Het cluster komt vooral voor in het stroomgebied van de Mechelderbeek en in grotere zin in het stroomgebied van de Geul, maar nauwelijks daarbuiten. Zie Figuur 21 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 1.



Figuur 21 Links: Bermentijnbron (OBRON0803). Rechts: Hermansbeek zuidoost bron (OHERM060). (Foto's: Monique Korsten, WRO).

Tabel 12 De hoeveelheden van de 40 meest voorkomende macrofauna taxa per cluster. De taxa zijn gerangschikt op basis van het voorkomen in het aantal monsters. + betekent < 0,5%.

Taxon	Aantal monsters	gemiddelden (% abundantie) per cluster								
		1	2	3	4	5	6	7	8	1-8
#Elodes	64	4	3	4	8	9	5	15		6,1
#Gammarus fossarum	61	45	41	46	45	46	42	66	9	44,5
#Dixa submaculata	53	+	2	2	2	1	1	1		1,3
*#Dugesia gonocephala	51	4	6	4	5	2	2	8		4,5
#Sericostoma personatum	51	1	1	3	3	2	1	+		1,5
#Parametrioctenemus stylatus	51	+	1	1	+	1	1	+	+	0,6
#Ulomyia fuliginosa	50	+	1	1	1	+	+	+	+	0,7
Micropsectra	47	+	+	+	+	1	1	+	3	0,5
*#Nemoura marginata (gr.)	47	6	12	13	4	+	17	1		6,9
Ceratopogonidae	46	+	+	1	+	+	+	+	1	0,3
*#Sperchon thienemanni	46	1	1	1	1	+	+	+		0,6
*#Crunoecia irrorata	46	+	2	2	2	3	1	+	1	1,5
Tipulidae	43	1	+	1	+	+	+	+	+	0,3
Lumbriculidae	43	+	+	1	+	1	+	+	1	0,5
#Elocephila	43	+	+	+	+	+	1	+	+	0,2
#Plectrocnemia conspersa	40	1	1	+	2	1	2	+	1	1,0
#Brillia bifida	40	+	1	+	+	+	1	+	1	0,4
#Krenopelopia	39	+	+	+	+	+	+	+		0,2
Lumbricidae	37	+	+	+	+	+	+	+	1	0,3
*#Niphargus schellenbergi	37	+	1	1	1	3	2	1	+	1,0
*#Thaumalea	35	2	3	1	1	+				1,2
*#Lebertia glabra	35	+	+	+	1	+		+	+	0,4
#Dicranota	35	+	+	+	+	+	+	+		0,2
!!Ptychoptera	35	+	1	+	2	2	+	+	4	0,9
#Tonnoiriella pulchra	33	+	+	+	+	+	+	1	1	0,2
*#Atractides fonticolus	30	+	+	1	+	+	+			0,3
#Oxycera pardalina	29	1	+	1	2		+			0,7
#Chaetocladius piger gr.	29	+	2	+	+	1	+		1	0,8
#Pisidium personatum	27	+	+	+	+	+	1	+	8	0,5
#Agapetus fuscipes	27	12	4	3	4					4,1
Pneumia	25	+	+	1	+	+	+	+	1	0,2
*#Crenobia alpina	25	4	2	1	+					1,2
!!Microtendipes chloris gr.	25	+	1	2	4	3	2			1,5
#Gammarus pulex	24	+	+		2	4	1	13	4	2,0
#Limnophyes	23	+	+	+	+	+	+		+	0,1
*#Potamophylax nigricornis	22	+	+	+	+	+	+	+		0,2
*#Pedia rivosa	22	+	+	+	+	+	+	+		0,1
!!Tubificidae	20	+	+			+	10	+	2	0,7
Anacaena globulus	20	+	+	+		+	+		+	0,1
*#Atractides pennatus	19	+	+		+	+	+	+		0,1

* zeldzame soort in Nederland, # kenmerkende- of postief dominante soort op KRW-maatlat R2,

!! Negatief dominante soort op KRW-maatlat R2

Cluster 2

In Cluster 2 (12 monsters) zijn de vlokreeft *Gammarus fossarum* (41%), de steenvlieg *Nemoura marginata* gr. (12%) en de platworm *Dugesia gonocephala* (6%) het meest algemeen.

Indicatieve soorten voor dit cluster zijn de kokerjuffers *Agapetus fuscipes*, *Chaetopteryx major*, *Plectrocnemia brevis* en *Crunoecia irrorata*, de platworm *Crenobia alpina* (doelsoort van bronnen), de dansmug *Orthocladius lignicola* en de brondruppelmug *Thaumalea*. In dit cluster zijn tevens op zeven van de twaalf locaties veel typische planten van bronbossen en -gebieden zoals Paarbladig goudveil, Verspreidbladig goudveil en Reuzenpaardestaart aangetroffen.



Figuur 22 Belleterbeek bron (OBRON0513). In deze bron is het hoogste aantal zeldzame soorten aangetroffen. Daarnaast worden vele kenmerkende soorten gevonden op deze locatie. (Foto: Monique Korsten, WRO).

De enige macrofaunakaracteristiek die opvalt en die significant van andere clusters verschilt, is het relatief hoge aantal schrapers en grazers. Het totale aantal taxa, het aantal zeldzame taxa en het aantal kenmerkende taxa, zijn het hoogst binnen dit cluster (Figuur 22). De EKR is eveneens relatief hoog. Het aandeel vast materiaal als substraat is relatief hoog, maar ook de andere (organische) substraten zijn beter vertegenwoordigd dan in Cluster 1. De habitatdiversiteit is dus hoog en de bronnen zijn veelal natuurlijk van aard en vaak beschermd en liggen veelal in gemengd loofbos. Soorten zoals *Crunoecia irrorata* zijn afhankelijk van blad dat door een natuurlijk afvoerregime beschikbaar blijft. De bronnen van Cluster 2 zijn dus zeer waardevol te noemen en bevatten vele karakteristieke zeer specifieke bronsoorten. Locaties van dit cluster komen vooral langs de Cottesserbeek, Bervesbergbeek en Belleterbeek voor en in meer algemene zin in het stroomgebied van de Geul. Zie Figuur 23 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 2.



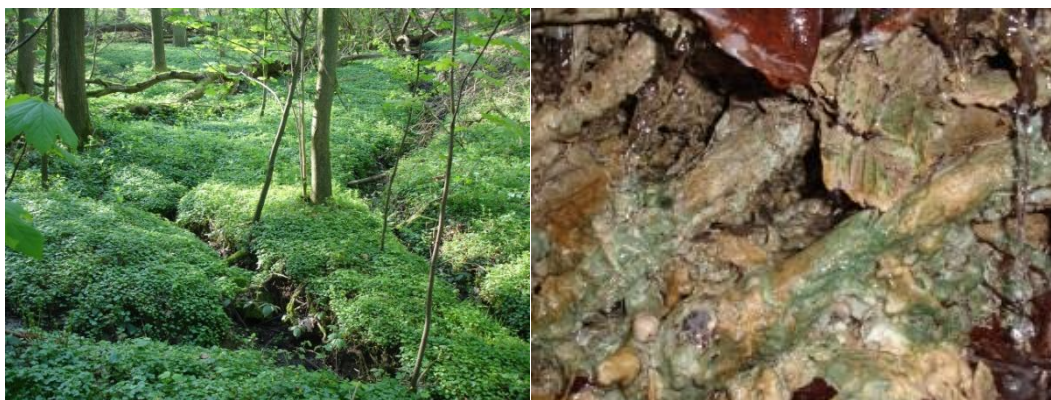
Figuur 23 Links: Belleterbeek 2^{de} zijtak bron (OBRON0512). Rechts: Bervesbergbeek bron benedenstrooms (OBRON0522A). (Foto's: Monique Korsten, WRO.)

Cluster 3

De meest voorkomende taxa in Cluster 3 (10 monsters) zijn de vlokreeft *Gammarus fossarum* (46%), de steenvlieg *Nemoura marginata* gr. (13%), larven van de kever *Elodes* sp. (4%) en de platworm *Dugesia gonocephala* (4%).

Indicatieve soorten voor dit cluster zijn de larve van de langpootmug *Rhypholophus* sp. en de kokerjuffers *Ernodes articularis* (doelsoort voor bronnen) en *Crunoecia irrorata*.

Ondanks een hoge EKR is het aantal taxa in de monsters verhoudingsgewijs laag. Het aandeel zeldzame taxa is hoog en het aantal negatief dominante taxa is laag. Saprobie- en trofiegetallen zijn iets hoger dan in Cluster 2 en Cluster 4 waar deels overlap mee is in de ordinaties (zie paragraaf 3.3.5). De substraten vast- en grof materiaal zijn juist iets minder vertegenwoordigd in dit cluster dan in Cluster 2 en 4. Net als in Cluster 2 is de habitatdiversiteit hoog en zijn de bronnen veelal beschermd. Het bladafval dat van deze bomen in de bronnen valt, komt terug in een relatief hoog aandeel knippers. Het zwevend-stofgehalte in de bron is relatief hoog evenals de alkaliniteit en het daarmee sterk gecorreleerde bicarbonaat- en calciumgehalte. De locaties van dit cluster liggen vooral ten noordoosten van Epen, en in het stroomgebied van Geul ten noorden van Valkenburg. Zie Figuur 24 voor een visuele impressie van de bronnen uit Cluster 3.



Figuur 24 Links: Vliekerwaterlossing zijtak broncomplex (OBRON03) (Foto Monique Korsten, WRO). Rechts: detailopname Berkenhofbeek zijtak nabij bronloop bruine aanslag zijn vermoedelijk diatomeeën, blauwe kleur vermoedelijk blauwalgen (OBROL0401B). (Foto Barend van Maanen, WRO).

Cluster 4

In Cluster 4 (8 monsters) zijn de vlokreeft *Gammarus fossarum* (45%), larven van de kever *Elodes* sp. (8%) en de platworm *Dugesia gonocephala* (5%) het meest algemeen.

Indicatieve soorten voor dit cluster zijn de larve van de motmug *Pericoma trifasciata*, de kokerjuffers *Tinodes unicolor* (doelsoort voor bronnen en een typische soort van bronnen met kalktufsteenontwikkeling (pers. med. W. Graf)), *Wormaldia occipitalis* (doelsoort voor bronnen), *Agapetus fuscipes*, *Crunoecia irrorata* en *Lype reducta* en de watermijt *Sperchon insignis*.

De EKR, het totale aantal taxa, het aantal zeldzame taxa en het aantal kenmerkende taxa zijn erg hoog binnen dit cluster. Ten opzichte van de Clusters 1 – 3 zijn er weinig andere macrofaunakaracteristieken onderscheidend. De milieuv variabelen laten een duidelijk ander beeld zien. Zo zijn de zuurgraad en de daarmee verband houdende variabelen als alkaliniteit, calcium en bicarbonaat het hoogst binnen dit cluster. Dit geldt ook voor het geleidend vermogen en het totale stikstofgehalte.

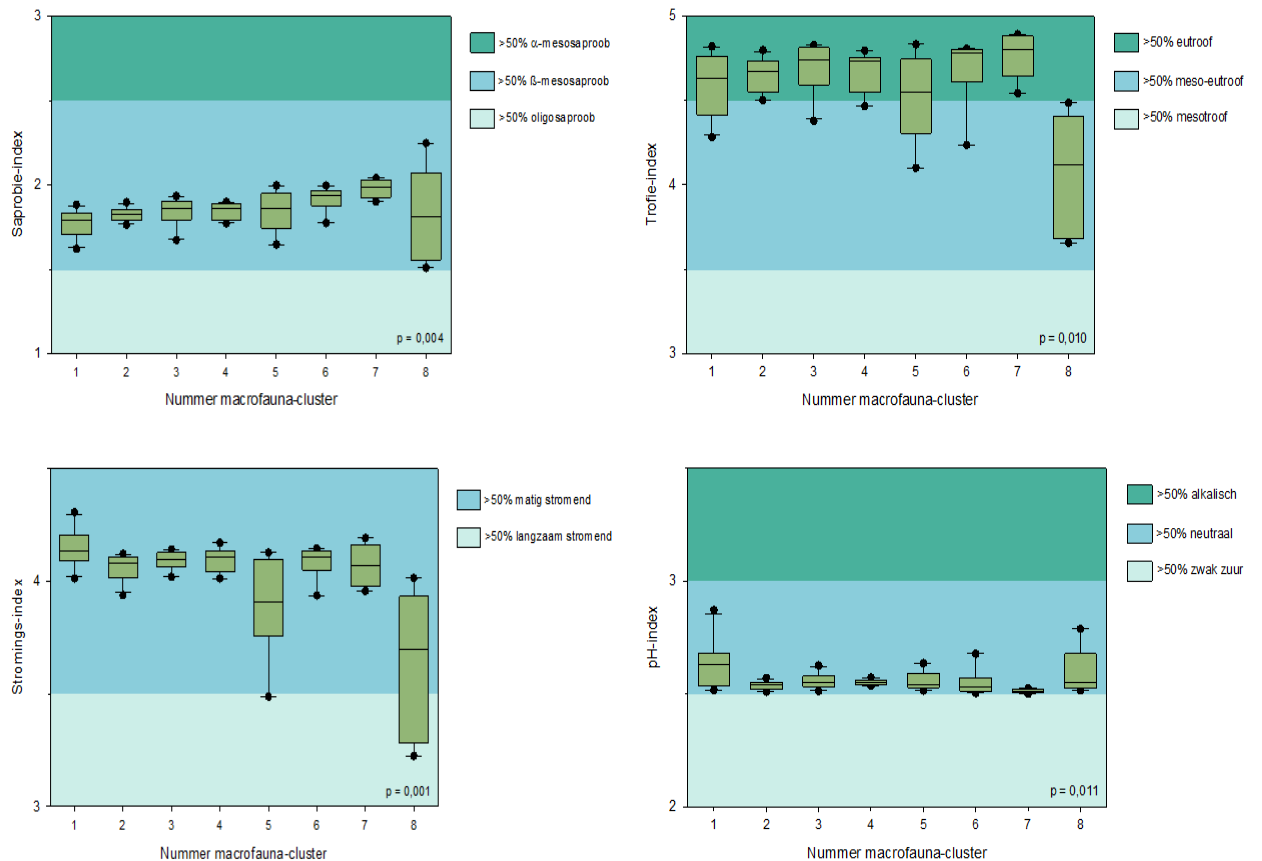
De mediane waarde van het aandeel vast materiaal als substraat is zeer hoog. Met uitzondering van de Onderzietlossing bron hebben alle bronnen volop kalktufsteenontwikkeling. Verder zijn de bronnen veelal natuurlijk van aard en liggen ze allemaal beschut. De bronnen maken deel uit van broncomplexen en liggen in gemengde loofbossen. Het aandeel knippers is significant hoger ten opzichte van andere clusters (bladinval). Binnen dit cluster komen de meeste bronkenmerken van calciumrijke gebieden het beste tot uitdrukking. De bronnen van dit cluster zijn onder andere te vinden in het Bunder- en Elsloërbos, de Noorbeemden, het bronnenbos Terzieterbeek, het Ravensbos en het Bos Wijngaardsberg. Behalve de bronnen in het Bunder- en Elsloërbos en de Noorbeemden liggen alle bronnen in het Geuldal. Zie Figuur 25 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 4.



Figuur 25 Links: Terzieterbeek zijtak bronloop (OBROL0450); terrasvorming door met kalk geïncrusteerde mossen met daar bovenop Paarbladig goudveil (Foto Barend van Maanen, WRO). Rechts: detail Noor zijtak bron (OBRON0676). (Foto Monique Korsten, WRO)

Tabel 13 Mediane waarden van macrofaunakaracteristieken per cluster. Significante overall verschillen zijn in de laatste kolom aangegeven (* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$). Medianen die significant ($p \leq 0,05$) verschillen van één of meer andere clusters zijn **vet onderstreept**.

Variabele	Cluster	medianen								alle	p
		1	2	3	4	5	6	7	8		
	Aantal monsters	10	12	10	8	8	6	5	5	64	
<i>Kwaliteit, verspreiding, diversiteit</i>											
Ecologische kwaliteitsratio		0,80	0,77	0,78	0,76	0,68	0,73	0,71	0,68	0,76	***
Positief dominante taxa		5	4	4	4	5	5	2	2	4	***
Kenmerkende taxa		27	31	26	31	25	13	12	14	25	***
Negatief dominante taxa		2	3	1	3	5	3	2	3	2	**
Zeldzame taxa (zz en z)		14	16	14	16	9	5	5	3	12	***
Totaal aantal taxa		40	47	36	45	45	24	22	26	38	***
<i>Milieu- en habitatpreferenties</i>											
<i>Saprobie</i>											
Oligosaproob		4,8	4,5	4,7	4,3	4,1	4,5	3,7	4,1	4,4	**
β-mesosaproob		3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	4,0	3,7	*
α-mesosaproob		1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,2	1,9	1,4	1,3	**
Polysaproob		0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	0,5	0,5	
<i>Stroomsnelheid</i>											
Stilstaand		0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,2	0,6	0,1	***
Zeer langzaam stromend		1,0	1,2	1,2	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	1,2	**
Langzaam stromend		1,5	1,6	1,6	1,4	1,4	1,8	1,3	1,8	1,5	*
Matig stromend		3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	3,0	2,9	2,8	2,9	**
Snel stromend		4,5	4,3	4,3	4,6	4,1	3,9	4,6	3,5	4,3	**
<i>Trofie</i>											
Oligotroof		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	
Meso-oligotroof		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	
Mesotroof		0,6	0,5	0,5	0,4	0,9	0,4	0,3	1,9	0,5	**
Meso-eutroof		1,6	1,6	1,5	1,5	2,1	1,4	1,4	4,2	1,5	*
Eutroof		7,7	7,8	8,0	8,1	6,9	8,3	8,3	3,7	7,8	**
<i>Zuurgraad</i>											
Zuur		2,1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,5	2,2	2,3	**
Zwak zuur		2,4	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,5	2,6	2,5	
Neutraal		2,9	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,5	2,8	2,8	***
Basisch		2,6	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	
<i>Soort eigenschappen</i>											
<i>Voedingsstrategie</i>											
Grazers and scrapers		2,6	1,5	1,0	1,3	1,2	0,9	1,0	1,3	1,3	***
Knippers		3,8	4,2	4,9	4,5	3,8	5,4	5,8	3	4,3	**
Verzamelaars		2,1	2,4	2,5	2,4	3,1	2,6	2,1	3,1	2,4	***
Actieve filteraars		0,0	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	1,0	0,2	*
<i>Bewegingsgedrag</i>											
Zwemmen/duiken		3,8	2,8	3,1	3,5	2,8	2,8	4,3	1,7	3,1	**
Wroeten/ingraven		0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4	0,2	**
(semi)sessiel		0,1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,1	0,0	1,9	0,1	**



Figuur 26 Indexen berekend uit de factoren van de milieu- en habitatpreferenties voor macrofauna genoemd in Tabel 13. De significantie van de verschillen tussen de medianen van de indexen tussen de verschillende clusters is getoetst met een eenzijdige ANOVA.

Cluster 5

In Cluster 5 bevinden zich acht monsters, waarin de vlokreeft *Gammarus fossarum* met 46% de meest voorkomende soort is. Daarop volgen de keverlarve *Elodes* sp. (19%) en de vlokreeft *Gammarus pulex* (4%).

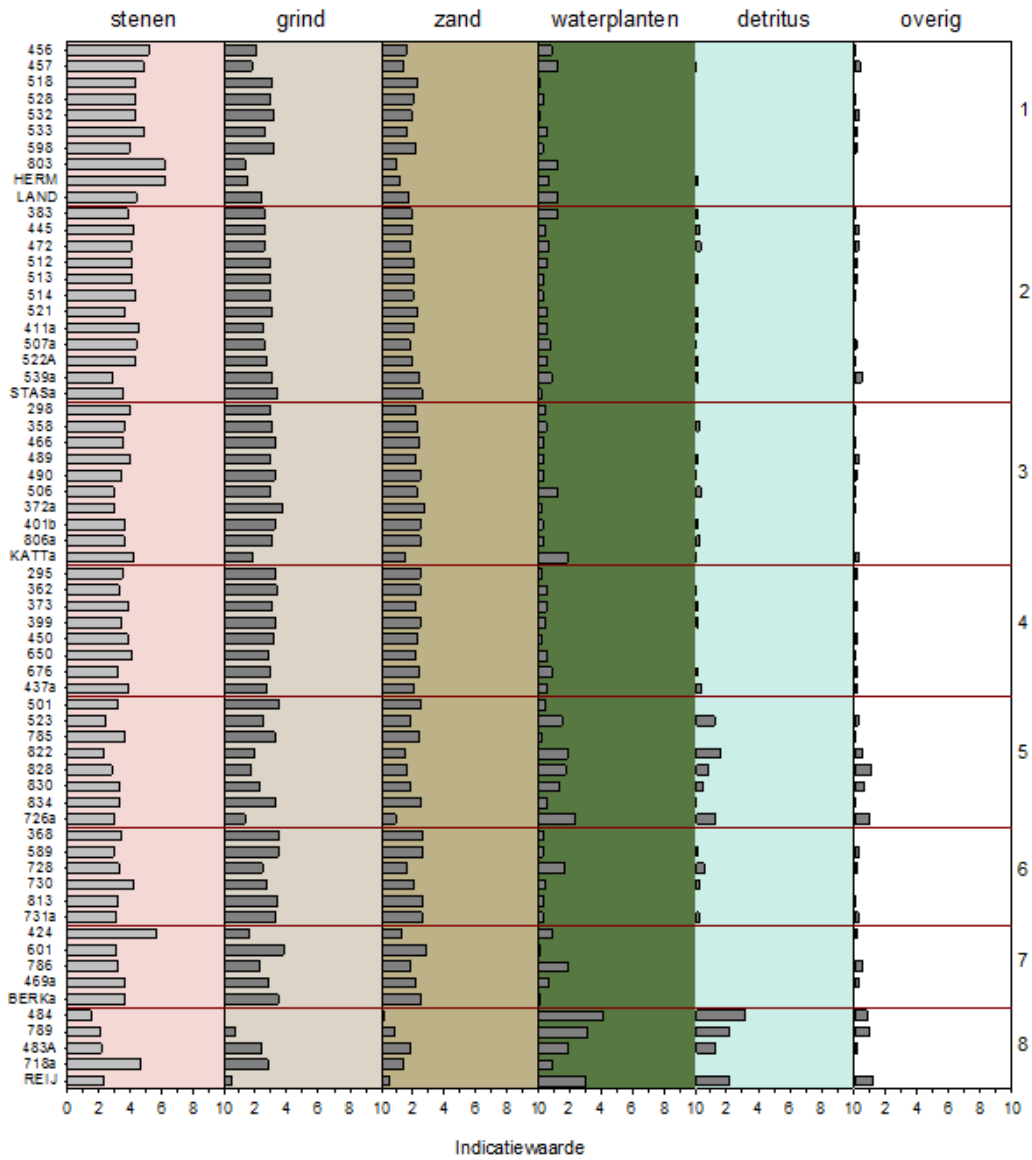
Een indicatieve soort bij uitstek voor dit cluster is de steenvlieg *Nemurella pictetii*. De larven van deze soort zijn in alle bronnen van dit cluster aangetroffen. In Nederland wordt deze soort vooral gevonden in heldere, stromende bronbeken met vaak bladafval (Koese 2008). Naast deze steenvlieg zijn ook de wormenfamilies Lumbriculidae en Tubificidae, de langpootmuglarven *Pilaria* sp. en *Eloeophila* sp., de kokerjuffer *Plectonemia conspersa* en de dansmug *Macropelopia notata* indicatief voor Cluster 5.

De mediane EKR waarde is het laagst van dit cluster (gezamenlijk met Cluster 8). Het totale aantal taxa, het aantal positief dominant als ook het aantal negatief dominante taxa, zijn hoog. Het aandeel zeldzame soorten is intermediair tussen de Clusters 1 – 4 en de Clusters 6 – 8. Het aandeel specifieke bronnensoorten is ook lager dan in de Clusters 1-4 maar beduidend hoger dan in de Clusters 6-8. Het aandeel soorten van stilstaand

water is significant hoger dan alle clusters, uitgezonderd Cluster 8. Een zelfde beeld komt terug in de stromingsindex. Tevens zijn de semi-sessiele organismen en de wroeters/gravers in dit cluster relatief veel aanwezig. De indicatiewaarden voor de substraten waterplanten en detritus zijn relatief hoog. In tegenstelling tot Cluster 4 zijn de zuurgraad en de daarmee verband houdende variabelen als alkaliniteit, calcium en bicarbonaat, het laagst binnen dit cluster. Tevens zijn het geleidingsvermogen en het gehalte totaal-stikstof laag. Het totale aantal substraten en de substraatcombinaties vast- en grof materiaal zijn laag, terwijl de aanwezigheid van de substraatcombinatie organisch dood hoog is. De aanwezigheid van een sapropeliumlaag is in overeenstemming met het verhoogde aantal wormen dat in dit cluster is aangetroffen. De bronnen zijn over het algemeen natuurlijk van aard en in de helft van de bronnen zijn indicaties van ijzerrijke kwel aangetroffen. De bronnen in dit cluster zijn het meest van het helokrene (moerasachtige) type, of ze zijn gelegen in een populierenbos of gedegrademd bronnenbos. De bronnen bevinden zich ten noordwesten van Vaals langs de Zieversbeek en Hermansbeek, tussen Kerkrade en Landgraaf en in het Geuldal ten zuiden van Gulpen-Wittem. Zie Figuur 27 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 5.



Figuur 27 Links: Klitserbeek zijtak kwelmoeras bron (OBRON0785). Rechts: Zieversbeek zijtak bron (OBRON0828). (Foto's Monique Korsten, WRO).



Figuur 28 Substrataanwezigheid per locatie op basis van indices van de aangetroffen macrofaunasoorten. De substraten 'detritus' en 'overig' zijn gecombineerde klassen uit Verberk *et al.* 2012.

Tabel 14 Mediane waarden van milieuv variabelen met significante verschillen per cluster. Significante overall verschillen zijn in de laatste kolom aangegeven (* = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$, *** = $p \leq 0,001$). Medianen die significant ($p \leq 0,05$) verschillen van één of meer andere clusters zijn **vet onderstreept**. n = aantal metingen.

Variabele	Eenheid	n	medianen per cluster										p
			1	2	3	4	5	6	7	8	1-8		
Zuurgraad	-	60	7,2	7,7	7,8	8,7	6,7	7,2	7,5	7,2	7,4	*	
Aciditeit	mmol/L	51	0,5	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3	0,6	0,3	*	
Alkaliteit	mmol/L	51	4,5	4,2	4,7	5,5	2,5	4,1	3,5	2,4	4,6	**	
EGV	mS/m	60	55	46	68	86	34	63	44	56	55	**	
Zwevend stof	mg/L	51	1	3	15	16	27	8	3	33	8	*	
Totaal stikstof	mg/L	51	10	11	12	19	4	12	10	8	11	*	
Bicarbonaat	mmol/L	51	3,5	3,7	3,7	5,2	2,0	4,7	3,0	3,4	3,8	**	
Calcium	mg/L	51	93	110	120	155	53	125	93	95	120	**	
Kalium	mg/L	51	2	2	1	2	1	6	2	6	2	*	
Magnesium	mg/L	51	2,6	5,2	11,0	12,8	3,7	15,0	3,4	9,7	3,9	*	
Natrium	mg/L	51	4,6	9,8	12,0	10,5	7,8	13,0	6,5	14,5	7,9	*	
Kwel	nom.†	63	0	0	0	0	1	0	1	1	0	**	
Stromingsvariatie	ord.‡	63	3	2	2	2	3	2	2	2	2	*	
Stroomsnelheid	cm/s	63	70	30	20	30	30	20	25	10	30	**	
Afvoer	ord.‡	59	3	2	2	2	2	2	2	1	2	***	
Waterdiepte	cm	62	8	5	4	4	5	5	8	10	5	**	
Aantal substraten	-	64	8	10	10	9	7	6	8	7	8	***	
Grof materiaal	%	64	40	25	23	20	2	3	7	0	15	***	
Vast materiaal	%	64	15	11	9	28	0	1	3	0	5	***	
Organisch dood	%	64	13	32	35	28	53	45	25	55	32	***	
(Water)planten	%	63	5	4	5	3	9	10	9	10	5	*	
Dikte sapropeliumlaag	cm	63	0	0	0	0	1	1	3	3	0	***	
Morfologie	nom.†	64	1	0	1	0	0	1	1	1	1	*	

† nominale variabele (waarden 0/1), ‡ ordinaal (waarden 1, 2, 3)

Cluster 6

Cluster 6 bevat eveneens zes monsters. De drie meest voorkomende taxa zijn de vlokreeft *Gammarus fossarum* (42%), de steenvlieg *Nemoura marginata* gr. (17%) en de wormenfamilie Tubificidae (negatief dominant taxon op R2 maatlat).

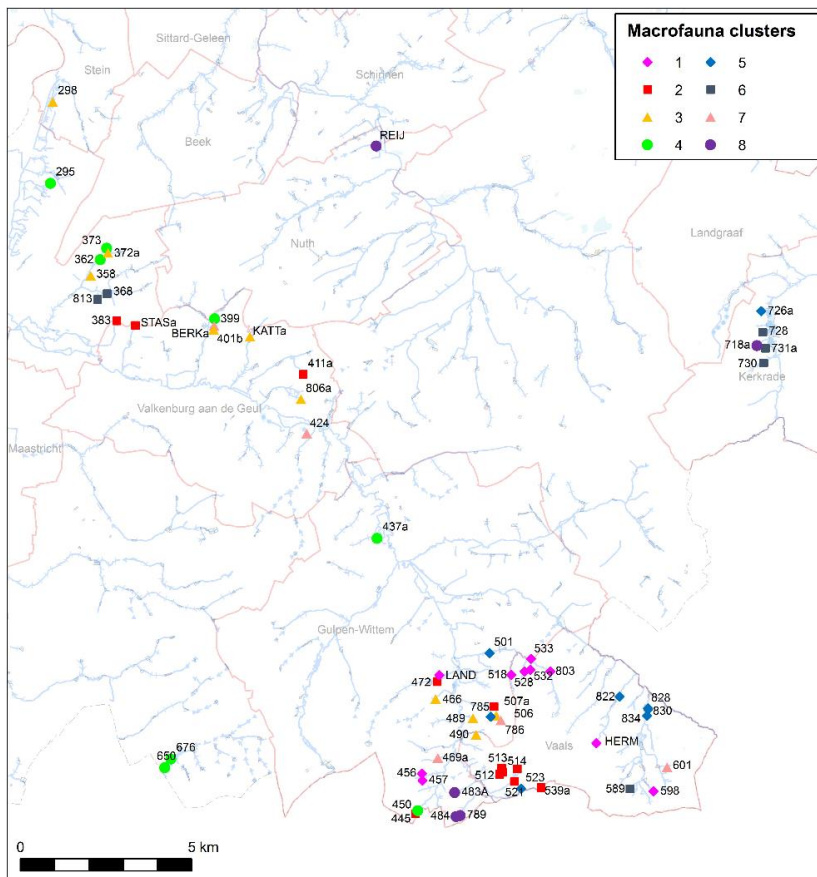
Indicatieve soorten zijn de langpootmug *Eloeophila* sp. en de kokerjuffer *Plectrocnemia conspersa*, welke beide in alle bronnen van dit cluster worden aangetroffen. Eveneens indicatief en vaker voorkomend dan in andere clusters is de wormenfamilie Tubificidae.

De EKR wijst op een goede toestand, maar is relatief laag ten opzichte van de andere clusters. Het totale aantal taxa, het aantal zeldzame taxa en het aantal kenmerkende taxa zijn eveneens laag te noemen. Wel is het aantal positief dominante taxa verhoudingsgewijs hoog. De mediane waarden van de saprobie- en trofie-index zijn relatief hoog voor dit cluster. Het aantal substraten is significant het laagst binnen dit cluster. De substraatcombinaties vast- en grof materiaal zijn laag, terwijl de aanwezigheid van de substraatcombinatie organisch dood hoog is. Het hoge aandeel knippers zal een

gevolg zijn van dit hoge aandeel organisch materiaal. De aanwezigheid van een sapropeliumlaag is in overeenstemming met het hoge aantal Tubificidae dat in dit cluster is aangetroffen. De helft van de bronnen van dit cluster liggen ten noorden van Kerkrade, twee liggen ten noordoosten van Meerssen en één ten zuidwesten van Vaals. Zie Figuur 29 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 6.



Figuur 29 Links: Watervalderbeek zijtak bron (OBRON0368). (Foto Monique Korsten, WRO). Rechts: Klooster-Anstelerbeek bron (OBRON0728). (Foto Barend van Maanen, WRO)



Figuur 30 Verspreiding van de macrofaunacusters.

Cluster 7

De meest voorkomende taxa in de vijf monsters van Cluster 7 zijn de vlokreeften *Gammarus fossarum* (66%) en *G. pulex* (13%). Het aandeel vlokreeften is nergens zo hoog als in dit cluster. Hiernaast komen de platworm *Dugesia gonocephala* (8%) en de larven van de kever *Elodes* sp. (5%) nog in hogere aantallen voor.

Soorten die relatief veel voorkomen en indicatief zijn voor dit cluster zijn de oppervlaktewants *Velia caprai*, de dansmug *Prodiamesa olivacea*, de blinde vlokreeft *Niphargus schellenbergi* en de waterkevers *Elmis aenea* en *Helophorus obscurus*.

Het totale aantal taxa en het aantal positieve taxa zijn het laagst voor dit cluster. Ook het aandeel zeldzame taxa, kenmerkende taxa en de EKR zijn laag. De mediane waarden van de saprobie- en trofie-index zijn het hoogst voor dit cluster en ook het aandeel knippers is het hoogst van alle clusters. Soorten van relatief langzaam stromend water zijn minder aanwezig, terwijl het aandeel soorten van snel stromend water het hoogst is. Het aandeel soorten met een preferentie voor zuurder water is in dit cluster eveneens significant hoger. Op basis van de milieu- en habitatpreferenties van de soorten kunnen we afleiden dat detritus geen substraat is in dit cluster, maar de metingen laten een ander beeld zien. De dikte van de sapropeliumlaag is juist significant hoger dan in de andere clusters. Het aantal substraten is hoog te noemen ondanks de beïnvloede morfologie van de bronnen. Het milieu van de bronnen in dit cluster is aangetast of afwijkend. De bron is gecapteerd, er zijn drainagebuizen aangelegd, er is veel blad en weinig afvoer, of er is een eenzijdig substraat. De locaties liggen verspreid door het beheergebied. Zie Figuur 31 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 7.



Figuur 31 Links: Aan de Esch zijtak bron (OBRON0601). Rechts: Genhoesbeek zijtak bron (OBRON0424). (Foto's Monique Korsten, WRO).

Cluster 8

In Cluster 8 bevinden zich vijf monsters. De keverlarve *Elodes* sp. (15%), de vlokreeft *Gammarus fossarum* (9%) en de erwtenmossel *Pisidium personatum* (8%). Dit is het enige cluster waar *G. fossarum* niet het meest dominante taxon is en de gemiddelde abundantie beneden de 40% ligt.

Indicatieve soorten voor dit cluster zijn de kokerjuffer *Beraea pullata*, de dansmuggen *Rheocricotopus atripes* en *Micropsectra* sp. en de reeds eerder genoemde erwtenmossel *P. personatum*. Net als in Cluster 5 heeft de steenvlieg *Nemurella pictetii* ook in dit cluster een indicatieve waarde. Opvallend voor dit cluster is het ontbreken van typische algemenere bronsoorten, zoals de platworm *Dugesia gonocephala*, de dansmug *Krenopelopia* sp., de watermijt *Sperchon thienemanni* en de steenvlieg *Nemoura marginata* gr.

De mediane EKR waarde is het laagst van dit cluster (gezamenlijk met Cluster 5). Het totale aantal taxa, het aantal positief dominant en het aantal kenmerkende taxa zijn laag. Het aandeel zeldzame soorten is significant lager dan bij de overige clusters. Het aandeel soorten van stilstaand water is significant hoger en het aandeel soorten van snel stromend water is significant lager in dit cluster ten opzichte van de overige clusters. Een zelfde beeld komt terug in de stromingsindex. De trofie-index is significant lager wat duidt op matig voedselrijke omstandigheden. De aanwezigheid van semi-sessiele organismen is in dit cluster significant hoger en organismen die zwemmen/duiken zijn significant minder aanwezig in Cluster 8. De indicatiewaarden voor de substraten waterplanten en detritus zijn hoog op basis van de aangetroffen soorten. Het totale aantal substraten is laag, de substraatcombinaties vast- en grof materiaal zijn afwezig, terwijl de aanwezigheid van de substraatcombinatie organisch dood en het percentage (water)planten het hoogst is. De dikte van de sapropeliumlaag is in dit cluster hoog. De bronnen zijn grotendeels beïnvloed en in het merendeel van de bronnen zijn indicaties van ijzerrijke kwel aangetroffen. De bronnen bevinden zich ten zuiden van Epen langs de Terzieterbeek, tussen Kerkrade en Landgraaf en ten noorden van Nuth. Zie Figuur 32 voor enkele foto's van de bronnen uit Cluster 8.



Figuur 32 Links: Tergraatbeek bron (OBRON0483A). Rechts: Elzeveldlossing bron (OBRON0484). (Foto's Monique Korsten, WRO).

Slotopmerking

Uit deze analyse kan worden geconcludeerd dat er duidelijke verschillen zijn in de soortensamenstelling van de macrofauna uit de onderzochte bronnen en dat er ook duidelijke correlaties zijn met fysische factoren (afvoer, substraat), chemische factoren

(alkaliniteit, geleidingsvermogen, zuurgraad) en biotische factoren (voedingsstrategie, bewegingsgilde). Er kan niet worden aangegeven wat de causale factoren zijn.

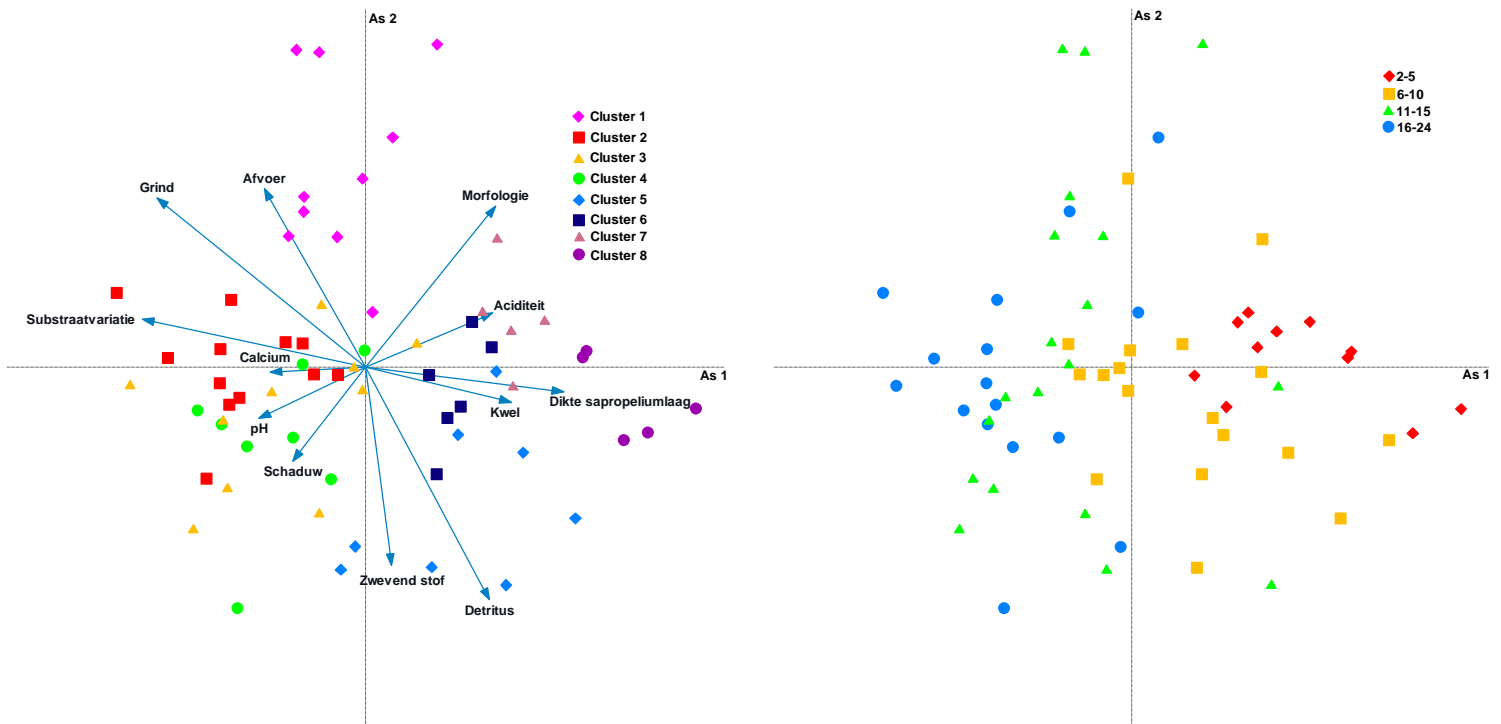
3.3.5 Ordinatie

De voor de ordinatie gebruikte taxa zijn met hun afkortingen aangegeven in Bijlage 12. Tabel 15 geeft een samenvatting van de resultaten van de ordinatie.

Tabel 15 Samenvatting van de resultaten van de PCA van de macrofauna.

Assen	1	2	3	4	Totale variatie
<i>PCA</i>					
Soort-omgevingscorrelaties	0,97	0,95	0,79	0,93	
Cumulatieve variatie (%)					
van de soorten	15,1	27,7	34,9	40,9	
van de soort-omgevingsrelatie	17,9	32,4	38,1	44,7	
Som van alle eigenwaarden					1,00
Som van alle canonische eigenwaarden					0,79

De eerste vier assen van de soortordinatie verklaren respectievelijk 15, 13, 7 en 6% van de totale variatie in de soortensamenstelling. De eerste twee assen samen verklaren 32% van de soort-omgevingsrelaties (uiteraard alleen van de gebruikte milieuv variabelen). Aan de getallen van de soort-omgevingsrelatie moet niet te veel waarde worden gehecht. Deze zijn sterk afhankelijk van het aantal gebruikte milieuv variabelen. De correlaties van de assen met de gebruikte milieuv variabelen zijn vermeld in Bijlage 15, samen met de afkortingen van de milieuv variabelen die gebruikt zijn in de ordinatiediagrammen van Bijlage 16. Deze diagrammen zijn samengevat in Figuur 33. Hierin is een selectie gemaakt van een aantal milieuv variabelen die naar verwachting van wezenlijke invloed zijn op de taxonomische samenstelling van de diatomeeën en/of de bronnen goed karakteriseren. De lengte van de pijlen is evenredig met de invloed op de taxonomische samenstelling.



Figuur 33 Diagram van de eerste 2 assen van de soortordinatie. Monsterpunten en enkele geselecteerde milieuv variabelen. A. De kleur en vorm van de symbolen komt overeen met de nummers van de Twinspanclusters (Tabel 12). B. De symbolen komen overeen met de in de legenda aangegeven aantallen zeldzame soorten in de monsters.

Substraatvariatie, afvoer, grind, detritus, morfologie en de aanwezigheid van een sapropeliumlaag, lijken voor de macrofauna een grote invloed te hebben op de soortensamenstelling (Figuur 33). Grind is in de diagrammen een verzamelvariabele van grovere en fijnere minerale substraten en detritus is een verzamelnaam voor allerlei dood organisch materiaal. Hun invloed is tegenovergesteld. Kalkrijk uittredend grondwater geeft hogere calciumgehalten en een hogere zuurgraad. Vele kalktufbronnen zijn te vinden linksonder in het diagram. Deze bronnen zijn natuurlijk van aard met veel schaduw van bossen en struweel. Hiertegenover staan de morfologisch beïnvloede bronnen met een zuurder (lees: neutraal) karakter. De aanwezigheid van detritus is min of meer gecorreleerd met het gehalte zwevende stof en staat tegenover een groot debiet. Ook debiet is zo'n verzamelvariabele van afvoer, stroomsnelheid en stroomsnelheidsvariatie. Kwel (in de vorm van ijzerafzettingen en niet opwelling) en de dikte van de sapropeliumlaag hebben een positieve samenhang met de eerste ordinatie-as en staan tegenover substraatvariatie, die sterk negatief samenhangt met de eerste as.

De verschillende clusters worden in Figuur 33A vrij goed van elkaar gescheiden. Clusters 3 en 4 vertonen wel een grotere mate van overlap. Uit Figuur 33B blijkt dat de meeste zeldzame soorten voorkomen in de linkerhelft van het diagram, waar ook de monsters uit Cluster 1 – 4 liggen. Cluster 2, 3 en 4 typeren het typische bronmilieu, zijn morfologisch natuurlijk en verrijkt door het substraat tufsteen (kalktufbronnen). De antropogeen

beïnvloede bronnen met hoge afvoer en het daarmee samenhangende minerale substraat, zijn ook rijk aan zeldzame soorten (Cluster 1). Bronnen in Cluster 1 – 4 hebben gemiddeld een hogere habitatdiversiteit dan de bronnen in Cluster 5 – 8 (Tabel 14).

3.4 Integratie

Tabel 16 geeft een overzicht van de mate van overeenkomst tussen de diatomeeën- en macrofaunaclusters. Diatomeeën reageren op veranderingen in de chemische waterkwaliteit en stroomsnelheid, terwijl macrofaunasoorten waarschijnlijk eerder reageren op veranderingen in de substraatsamenstelling (als gevolg van de afvoer en stroomsnelheid). De milieuvariabelen afvoer, substraat en habitatdiversiteit zijn sterk significant verschillend tussen de clusters voor zowel de macrofauna als de diatomeeën. Desondanks is de overlap tussen de diatomeeën- en macrofaunaclusters niet eenduidig.

In Cluster 1 van de diatomeeën komen de karakteristieke kenmerken van calciumrijke bronnen het meeste tot expressie. De meeste overlap vertoont dit cluster met Cluster 2, 3 en 4 van de macrofauna (dit zijn de meest natuurlijke en soortenrijke bronnen en hebben veel kalkafzettingen).

Cluster 2 van de diatomeeën vertoont veel overlap met Cluster 1 en 2 van de macrofauna. Deze clusters worden allemaal gekarakteriseerd door een hoge afvoer en een groot aandeel grazers in de faunagemeenschap.

Cluster 3 van de diatomeeën is een intermediair cluster en vertoont overlap met zes macrofaunaclusters. De meeste overeenkomsten zijn hier met Cluster 6 en 8 van de macrofauna. Dit zijn verstoorde, soortenarme bronnen met een hoog aandeel organisch materiaal.

Cluster 4 van de diatomeeën vertoont de meeste overeenkomst met Cluster 5 van de macrofauna. Het betreft bronnen met hoge waarden voor saprobie en trofie. De hogere stroomsnelheid van enkele monsters in Cluster 4 van de diatomeeën komt overeen met Cluster 1 en 2 van de macrofauna.

Cluster 5 van de diatomeeën kan worden gekenmerkt als kalk- en mineraalrijk. Daarnaast is er veel variatie aan substraten. De overlap met Cluster 1, 3 en 4 van de macrofauna is dan ook niet vreemd. Deze clusters zijn eveneens kenmerkend voor habitats met veel minerale substraten en de aanwezigheid van kalkafzettingen.

Het laatste en zesde cluster van de diatomeeën is een restgroep. De hoge fosfaatconcentraties, de hoge stroomsnelheid en het vele grove detritus en het overig organisch materiaal, komen overeen met de macrofaunaclusters 5, 7 en 8. Macrofaunacluster 5 en 8 hebben een hoog organisch gehalte, terwijl Cluster 7 juist hogere afvoeren kent en morfologisch aangetast is.

Tabel 16 Kruistabel van de diatomeeën- en macrofaunaclusters. In de matrix is het aantal bronnen weergegeven dat toebehoort aan zowel een diatomeeën- als macrofaunacluster.

		Diat					
		1	2	3	4	5	6
Mafa	1	1	4	-	2	3	-
	2	4	5	1	2	-	-
	3	2	1	3	1	3	-
	4	4	-	-	-	4	-
	5	-	-	2	4	-	2
	6	1	-	4	1	-	-
	7	1	1	2	-	-	1
	8	-	-	4	-	-	1

4 Discussie

In deze discussie geven we een analyse van de soortensamenstelling van de diatomeeën en macrofauna van de Limburgse bronnen en de daarvoor verantwoordelijke milieufactoren aan de hand van literatuur uit Europa. Dit is gerechtvaardigd, daar volgens Sabater en Roca (1992) voor diatomeeën in bronnen de lokale milieuv variabelen belangrijker zijn dan geografische verschillen. Cantonati *et al.* (2012a) noemen hydrologische factoren zoals stroming van het grondwater, de chemische waterkwaliteit en de temperatuur als belangrijke sleutelprocessen voor de verspreiding van organismen in bronnen. Voor macrofauna is de geografische ligging in ieder geval veel belangrijker, omdat de verspreidingsarealen veel kleiner zijn. Een faunistische typologie heeft alleen zin op regionale schaal, omdat brontypen worden beïnvloed door de geologie en bijbehorende variaties in fysische en chemische omstandigheden van het bronwater. Deze voorwaarden hebben in elke regio een ander effect op de faunistische gemeenschap (Gerecke *et al.* 2005, Von Fumetti *et al.* 2006).

Uit de literatuur na ongeveer 1985⁴ blijkt dat de soortensamenstelling van de diatomeeën en macrofauna in bronnen afhangt van een groot aantal milieuv variabelen, zoals temperatuur (hoogte boven de zeespiegel), stroomsnelheid en de variatie daarin (droogvallen), habitatdiversiteit (substraatvariatie), het aandeel organische stof, beschaduwing, chemische samenstelling van het bronwater (zuurgraad, kalkgehalte en overige macro-ionen, nutriënten) en in mindere mate het seizoen. De effecten van de verschillende milieuv variabelen op de soortensamenstelling en afgeleide parameters worden hieronder besproken. Ze zijn vaak niet gemakkelijk uit elkaar te houden.

4.1 Kwaliteit

Diatomeeën

Op één na hebben alle onderzochte bronnen volgens de maatlat (IPS) een (zeer) goede kwaliteit. Die is, conform de verwachting, negatief gecorreleerd met het totaal-fosfaatgehalte en positief met macro-ionen, zoals calcium, maar ook, tegen de verwachting, met nitraat. Voor de kiezelwieren is nitraat (schijnbaar) van mindere betekenis dan fosfaat, vermoedelijk door de grote overmaat waarmee deze stof aanwezig is.

De ecologische indicatiewaarden geven aan dat de bronnen voedselrijke systemen zijn, met veel meer aerofiele soorten dan in andere Nederlandse watertypen, maar wel in overeenstemming met de gegevens van buitenlandse bronnen (zie verder). De indicatiegetallen voor zuurstof en saprobie worden hoger bij afname van het

⁴ Ook vóór die tijd is onderzoek in bronnen gedaan naar diatomeeën, bijvoorbeeld door Hustedt (1945) in de Balkan, Round (1960) in Yorkshire en Warncke (1980) en Foged (1984) in Jutland, maar dat blijft hier buiten beschouwing omdat er gebruik werd gemaakt van verouderde taxonomie, omdat de telmethoden niet waren gestandaardiseerd en er vaak geen begeleidende milieumetingen zijn gedaan. Warncke bemonsterde bovendien niet de mossen onder de waterlijn, maar juist erboven.

geleidingsvermogen en de gehalten van bicarbonaat en calcium. Dat betekent in de kalkrijke bronnen een gunstiger situatie bij hogere mineralengehalten, wat overeenkomt met het gedrag van de IPS. In kalkarme bronnen kan dit anders zijn (B. Pex, pers. med.).

Macrofauna

Op één locatie na hebben alle bronnen volgens de ecologische kwaliteitsratio van de R2 maatlat (Van der Molen *et al.* 2013) een (zeer) goede kwaliteit. De EKR is negatief gecorreleerd met het zwevend-stofgehalte, de substraatcombinatie organisch dood en de dikte van de sapropeliumlaag. Een positieve correlatie met de EKR is gevonden voor de afvoer, de substraatvariatie, de alkaliniteit en het gehalte van nitraat en sulfaat. Net als bij de diatomeeën vertoont het gehalte nitraat bij de macrofauna een significant positief verband met de maatlatscore, maar anders dan bij de diatomeeën heeft het een significant negatief effect op het aantal positief dominante taxa. Dit tegenstrijdige beeld geeft al aan dat de correlaties niet sterk zijn en dat nitraat zeer waarschijnlijk niet belangrijk is in de clusteropdeling van de bronnen. Een oorzaak van deze tegenstrijdigheid kan de onnauwkeurigheid van de KRW-maatlat voor bronnen zijn, die voor dit onderzoek in bijna alle gevallen (zeer) goed scoort. Een andere mogelijke verklaring is, dat het nitraat in dusdanig hoge gehalten aanwezig is in het grondwater, dat het de aanwezigheid van positief dominante soorten remt, maar dat de (sterke) afvoer wel zorgt voor een hoge EKR door de aanwezigheid van veel kenmerkende organismen die van stroming afhankelijk zijn.

Op basis van de milieu- en habitatpreferenties (Verberk *et al.* 2012) kunnen we bronnen karakteriseren als matig tot snelstromende, voedselrijke, oligosaprobe tot β -mesosaprobe bronnen. De taxa die zijn aangetroffen hebben een voorkeur voor slib, stenen, grind en waterplanten. Bronnen waar het aandeel soorten op minerale substraten hoog is scoren hoger op de maatlat dan bronnen die voor een groter deel organische substraten bevatten.

Aangezien er tussen de bronnen veel verschil is in onder andere de soortensamenstelling, sommige chemische- en fysische parameters en de mate van beïnvloeding, is het opvallend te noemen dat op één na alle bronnen voldoen aan een goede ecologische kwaliteit. De lijst van kenmerkende soorten op de R2-maatlat is lang, terwijl er weinig negatieve indicatoren zijn aangewezen. Doordat we in deze studie van doen hebben met een brede range aan bronnen die verschillen in faunistische- en chemische samenstelling, is het voorstelbaar dat de maatlat te positief uitpakt voor de bronnen in het zuiden van Limburg. De maatlat is in beginsel gevalideerd met deels oude determinatielijsten van verstoorde bronnen (pers. med. M. Korsten). In 2013 zijn de maatlaten voor de KRW herzien (Van der Molen *et al.* 2013). De dataset van de Zuid-Limburgse bronnen is gebruikt voor aanpassing van de diatomeeën- en macrofaunamaatlat. Er zijn veel bronnensoorten toegevoegd. De EKR blijkt nu echter niet 'streng' genoeg. Tijdens de uitvoering van dit verkennende onderzoek is M. Korsten bezig geweest met verdere aanpassing van de maatlat door onderscheid te maken in de mate van kenmerkendheid van de soorten (sommige soorten zijn verplaatst van de categorie 'kenmerkende soort' naar 'positief dominante soort' etcetera). Deze aanpassingen geven

het kwaliteitsverschil binnen de clusters beter weer dan de huidige EKR. Dit spoor dient dus verder uitgewerkt te worden om zodoende te komen tot een verbeterde R2-maatlat.

Een ander spoor dat verkend kan worden om tot een meer kritische R2-maatlat te komen is de methode van Martin en Rückert (2011). Zij hebben een methode ontwikkeld waarbij alle aangetroffen soorten een ecologisch waardegetal hebben gekregen. De som van deze waarden, die in vijf verschillende klassen kan vallen (vergelijkbaar met de KRW-maatlat), geeft aan of de soortensamenstelling indicatief is voor bronnen of juist alleen bestaat uit soorten die overal kunnen voorkomen.

4.2 Diversiteit

Diatomeeën

Het aantal in de monsters aangetroffen soorten is afhankelijk van het aantal getelde exemplaren, dat bij de meeste auteurs tussen 250 en 500 ligt. Met 200 zitten wij dus aan de lage kant. Het gemiddelde aantal taxa in tellingen van diatomeeënmonsters uit bronnen, ligt meestal tussen 15 en 30 en varieert dan tussen 3 en 51 (Aboal 1998, Bertrand *et al.* 1999, Werum 2001, Angeli *et al.* 2010, Cantonati en Lange-Bertalot 2010, Cantonati *et al.* 2012b, Gesierich en Kofler 2010, Wojtal en Sobczyk 2012). Meestal zijn er weinig taxa die abundant in de monsters voorkomen en is er een groot aantal dat met lage hoeveelheden of incidenteel wordt aangetroffen. Bij herhaalde bemonstering en het scoren van taxa buiten de telling vond Želazna-Wieczorek (2011) 87 tot 188 (gemiddeld 143) taxa in tien bronnen. Spitale en Cantonati (2012a) vonden in 15 monsters uit dezelfde bron ongeveer twee maal zoveel soorten als in één monster. In de Limburgse bronnen zijn gemiddeld 21 taxa (4 – 40) aanwezig, wat goed met de buitenlandse gegevens overeenstemt.

Cantonati en Lange-Bertalot (2010) vonden het laagste aantal taxa in de bron met de hoogste nitraatconcentratie (0,6 mg/l N). Bertrand *et al.* (1999) vonden bij nitraatconcentraties hoger dan 15 mg/l N circa 12 taxa, daar beneden ongeveer 20 taxa. Voor de huidige variatie tussen de Limburgse bronnen lijkt nitraat niet van betekenis (Figuur 11). Ook bij lage concentraties nitraat-stikstof (< 5 mg/l) kan het aantal taxa sterk variëren (6 – 34).

Een ander aspect is de totale soorten rijkdom ('overall diversiteit') van een groep van bronnen. In de Limburgse bronnen zijn in totaal 212 taxa aangetroffen, waarvan er veel (89 dat is 42%), maar op één locatie zijn aangetroffen. Dat komt overeen met de situatie in buitenlandse bronnen. Het aantal taxa in één bron kan laag zijn, maar door de grote verschillen in milieu tussen de bronnen is de 'overall diversiteit' vaak hoog (Aboal 1998, Bertrand *et al.* 1999, Gesierich en Kofler 2010, Cantonati *et al.* 2012, Wojtal 2013). Elke bron heeft een eigen karakter en kan als tamelijk geïsoleerd worden beschouwd. Specifieke milieucondities en de afstand tot andere vergelijkbare habitats zijn waarschijnlijk van belang (Želazna-Wieczorek 2011). Ook anderen vinden dat de gemeenschappen in nabijgelegen bronnen sterk kunnen verschillen (Aboal 1998).

Macrofauna

Het aantal soorten dat in macrofaunamonsters aangetroffen wordt, is sterk afhankelijk van het aantal groepen dat uiteindelijk tot op soort is gedetermineerd. Martin en Brunke (2012) vinden in 174 bronnen 121 taxa, maar hebben de soortenrijke groep Diptera hoogstens tot op genusniveau gedetermineerd. Smith en Wood (2002) vinden 65 soorten in 132 bronnenmonsters afkomstig uit kalksteengebieden. Ook in deze studie zijn niet alle groepen (Diptera en watermijten) gedetermineerd. De soortenrijkdom per bron varieert van 10 – 32. In kalkrijke en veenmos gedomineerde bronnen (n = 11) zijn in totaal 138 taxa op de kalkrijke en 163 taxa op de veenmos gedomineerde locaties aangetroffen. In deze studie van Kroupalova *et al.* 2011 zijn echter geen watermijten gevonden in de bronnen of ze zijn niet meegenomen in de analyse. Een studie van Ilmonen en Paasivirta (2005) in Zuid-Finse bronnen laat zien dat in 34 monsters 78 taxa zijn waargenomen. Deze studie was vooral gericht op insecten. Het belang om alle groepen te determineren wordt door de studie van Spitale *et al.* (2012b) aangetoond, waarin alleen al 103 dansmuggen en 65 watermijten zijn gevonden in 84 bronnen gelegen in de Italiaanse Alpen.

Meestal zijn er weinig taxa die abundant in de monsters voorkomen en is er een groot aantal dat met lage hoeveelheden of incidenteel wordt aangetroffen. Maiolini *et al.* (2011) concluderen op basis van lange monsterreeksen in twee bronnen dat herhaalde monsternamen nodig is om een compleet beeld te krijgen van de soortenlijst van een bron. Resultaten gebaseerd op eenmalige bemonsteringen zouden de soortensamenstelling en eventuele verschillen en overeenkomsten in soortensamenstelling met andere bronnen kunnen onderschatten. Dit fenomeen is natuurlijk ook geldig in andere wateren.

In de Limburgse bronnen zijn gemiddeld 40 taxa (14 – 63) aanwezig. Omdat in deze studie alle groepen tot op het laagst mogelijke niveau zijn gedetermineerd, zijn de taxa-aantallen hoger dan in vele andere studies. De studie van Spitale *et al.* (2012b) laat de duidelijke meerwaarde zien om alle groepen te determineren. Hoe de aantallen aangetroffen taxa in de Limburgse bronnen zich dus in werkelijkheid verhouden tot buitenlandse bronnen is moeilijk te zeggen.

Een ander aspect is de totale soorten rijkdom ('overall diversiteit') van een groep van bronnen. In de Limburgse bronnen zijn in totaal 295 taxa aangetroffen, waarvan er veel (99 dat is 34%), maar op één locatie zijn waargenomen. Dit is in overeenstemming met de situatie in buitenlandse bronnen. Elke bron heeft een eigen karakter en kan als tamelijk geïsoleerd worden beschouwd (Lencioni *et al.* 2011). Individuele bronnen kunnen als een eiland dienen voor soorten die zijn aangepast aan de specifieke condities van de bron, terwijl deze soorten niet de mogelijkheid hebben om zich te verplaatsen zonder dat ze tijdelijk in een minder geschikt milieu moeten overleven. Dit maakt elke bron dus uniek (Gathmann *et al.* 2009).

4.3 Zeldzaamheid, Rode-Lijstsoorten

Diatomeeën

De aantallen zeldzame soorten en bedreigde soorten van de Rode Lijst zijn volgens Werum en Lange-Bertalot (2004) goede indicatoren voor de toestand van bronnen. In de tellingen van de Zuid-Limburgse monsters is steeds bijna een derde zeldzaam in Nederland, wat een hoog aantal is.

In veel buitenlandse bronnen, met name voedselarme, is het aandeel van bedreigde soorten uit de (Duitse) Rode Lijst (Lange-Bertalot 1996) hoog, soms wel de helft van het totaal aantal taxa⁵. Uit 17 onderzoeken, voornamelijk in de Alpen, maar ook in Duitse middelgebergten en Frans heuvelland die door Cantonati *et al.* (2012b) zijn samengevat, blijkt dat het aandeel van Rode-Lijstsoorten afneemt met toenemende verstoring, met name door nitraat en verdroging. Getallen voor nitraatconcentraties worden echter niet gepresenteerd.

Bij bronnenstudies worden ook regelmatig nieuwe soorten voor de regio of voor de wetenschap gevonden. Met 46% taxa die zeldzaam zijn in Nederland, 5% voor Nederland nieuwe taxa en 5% op de Duitse Rode Lijst, doen de Zuid-Limburgse bronnen daarmee niet onder voor de buitenlandse. Overigens zijn acht van de tien voor Nederland nieuwe soorten pas na 1990 beschreven, wat het belang van het gebruik van recente determinatieliteratuur en determinatie tot op soort nog eens benadrukt.

Macrofauna

Zeldzaamheid van taxa is vaak de oorzaak van de milieuomstandigheden (nichebreedte) op een locatie en het koloniserend vermogen van een organisme (Gaston 1994). Een aanvullende oorzaak van zeldzaamheid kan veroorzaakt worden door het verschijnsel dat soorten naar een plek drijven/migreren waar ze geen vitale populaties kunnen vestigen (Shmida en Wilson 1985). Een belangrijke conclusie die Spitalo (2012c) trekt, is dat de meeste zeldzame taxa (in bijna alle taxonomische groepen) op gemeenschapsniveau in brongemeenschappen kunnen voorkomen vanwege de ongebruikelijke eisen die deze soorten stellen aan hun milieu. Bronnen dragen ondanks hun geringe grootte significant bij aan de lokale en regionale biodiversiteit en zijn vaak habitat voor vele zeldzame- en Rode Lijstsoorten (hot spots van aquatische biodiversiteit) (Cantonati *et al.* 2012).

In de soortenlijsten van de Limburgse monsters is gemiddeld een kwart van het aantal aangetroffen taxa zeldzaam in Nederland, wat een hoog aantal is. Aangezien bronnen beperkt zijn tot de provincies Overijssel, Gelderland en Limburg, is het habitat in Nederland niet sterk vertegenwoordigd en zijn soorten dus al snel zeldzaam voor Nederland. Temeer daar het oppervlak aan geschikt biotoop per definitie klein is, door de geringe omvang van bronmilieus. Cantonati *et al.* (2012a) concludeert dat bronnen vaker

⁵ Het aantal Rode-Lijsttaxa dat door verschillende auteurs wordt opgegeven is niet altijd goed vergelijkbaar. Sommigen (ook wij) verstaan hieronder alleen de bedreigde ('gefährdete') soorten, anderen ook de in Lange-Bertalot (1996) genoemde overige zeldzame en zeldzamer wordende soorten.

dan andere wateren soorten van de Rode Lijst bevatten. In Nederland zijn voor een aantal taxonomische macrofaunagroepen Rode lijsten beschikbaar. Vijf procent van de in bronnen gevonden taxa staat op een Nederlandse Rode Lijst. Veel typische bronsoorten zijn kwetsbaar omdat ze een gering dispersievermogen hebben.

In bronnenstudies worden met enige regelmaat nieuwe soorten voor de regio of voor de wetenschap gevonden. Met 25% taxa die zeldzaam zijn in Nederland, 1% voor Nederland nieuwe taxa en 5% op de Nederlandse Rode Lijst, doen de Zuid-Limburgse bronnen daarmee niet onder voor de buitenlandse bronnen. De nieuw aangetroffen soorten zijn al zeker meer dan honderd jaar geleden beschreven, wat aangeeft dat de bronnen van Nederland nog steeds onderbemonsterd zijn. Een eventuele andere verklaring kan zijn dat de kwaliteit van de bronnen is toegenomen, maar door het geringe dispersievermogen van de meeste macrofaunasoorten is de eerste aanname waarschijnlijk plausibeler.

4.4 Droogtetolerantie (alleen diatomeeën)

Het is opmerkelijk dat er in bronnen relatief veel soorten voorkomen die tijdelijk droogvallen kunnen verdragen of specifiek in dit milieu voorkomen. Deze soorten worden xerotolerant genoemd (de soorten met vochtindicatiegetal 3 in Bijlage 3), of aerofiel (de soorten met vochtindicatiegetal 4 of 5) (Aboal 1998, Werum en Lange-Bertalot 2004, Cantonati en Spitale 2009, Želazna-Wieczorek 2011).

In de Limburgse bronnen behoort ruim de helft tot één van deze groepen, terwijl het aantal aerofiele taxa 20% bedraagt van het totaal. Ten opzichte van andere Nederlandse watertypen is dat een hoog percentage. De oorzaak van het optreden van xerotolerante soorten in bronnen is waarschijnlijk het voorkomen van spatzones en de continue waterverzadiging in de zone net boven de (wisselende) waterspiegel, wat begunstigd wordt door beschaduwing.

4.5 Bronsoorten

Diatomeeën

Hustedt (1939) classificeerde sommige soorten als krenobiont, dat wil zeggen dat ze alleen in bronnen zouden voorkomen en andere, die een voorkeur lijken te hebben voor bronnen als krenofiel. Volgens Cholnoky (1968) is een bron slechts een topografisch begrip: "Für die Diatomeen sind Quellen sicher ebenso Gewässer, wie alle anderen Gewässer, die also gewisse chemisch-physikalische Eigenschaften haben, die aber in jeder Quelle verschieden sein können." In bronnen komen dus soorten voor die ook in andere wateren voorkomen. Wel is het zo dat door de vaak bijzondere combinatie van milieufactoren sommige soorten in bronnen meer voorkomen dan in andere wateren en daardoor als krenofiel kunnen worden aangeduid (Cantonati 1998, Werum en Lange-Bertalot 2004). Cantonati (1998) heeft echter een ruime opvatting als hij soorten als *Eunotia exigua* en *Cymbopleura naviculiformis* als krenofiel classificeert. Deze soorten

komen in Nederland ook en misschien wel hoofdzakelijk in veel stilstaande wateren voor. Andere van zijn voorbeelden, als *Diatoma mesodon* en *Meridion circulare*, hebben een duidelijke voorkeur voor stromende wateren en zijn daardoor op zijn minst rheofiel (stroomminnend) te noemen, maar of ze krenofiel zijn is de vraag. Foged (1984) onderzocht bronnen in Jutland en concludeerde: 'On the basis of the here performed investigation it does not seem possible to demonstrate a specific spring-flora of diatoms'.

Van de twintig soorten die in Limburg alleen in bronnen zijn gevonden, behoren er zes tot de taxa die volgens Reichardt (2011) een voorkeur voor kalktufbronnen hebben: *Caloneis fontinalis* (34 monsters), *Diploneis krammeri* (11), *D. separanda* (10), *Gomphonema angustum* (8), *Fallacia lange-bertalotii* (5) en *Caloneis alpestris* (2). Daarnaast zijn er nog zes andere soorten uit Duitse kalktufbronnen aangetroffen, waaronder *Denticula tenuis* (15) en *Navicula striolata* (6), die op de Duitse Rode Lijst (Lange-Bertalot 1996) als 'gefährdet' staat vermeld. Aanvullend kunnen nog worden genoemd *Gomphosphenia fontinalis* en *Stauroneis separanda*, die volgens Werum en Lange-Bertalot (2004) vooral in bronnen voorkomen.

Macrofauna

Bronnen bevatten vele typische soorten die sterke gebonden zijn aan het bronmilieu. De krenobionte of krenofiele soorten zijn aangepast aan de unieke leefomstandigheden in deze wateren. In Bobbink *et al.* (2013) wordt een overzicht gegeven van de kenmerkende macrofaunasoorten van bronmilieus. 70% van de soorten in deze lijst is aangetroffen in de Limburgse bronnen. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de lijst ook enkele taxa staan (zoals *Krenopelopia binotata*, *K. nigropunctata*) die alleen als imago te determineren zijn. Larven van *Krenopelopia* zijn volop gevonden, dus het percentage ligt eigenlijk nog hoger.

In de groep van watermijten bevinden zich vele krenobionte en krenofiele soorten (Di Sabatino *et al.* 2000, 2003). Watermijten zijn daarom goede indicatoren voor een brontypologie (Martin en Brunke 2012). In de Limburgse bronnen zijn de watermijten met negentien soorten goed vertegenwoordigd. Een hoog aandeel soorten van de familie Hydryphantidae is bijvoorbeeld typisch voor helokrenen (moerasachtige bronnen) (Gerecke *et al.* 2005). Vergeleken met dansmuggen en kokerjuffers, die vaak abundanter voorkomen in bronnen dan mijten, is de soortenrijkdom en habitatspecificiteit van watermijten hoger (Di Sabatino *et al.* 2003). In een studie naar dansmuggen in bronnen van de Alpen in Noord-Italië is bijna 40% van de gevonden taxa aangemerkt als krenofiel (Lencioni *et al.* 2011). Het aandeel typische bronsoorten is in een Zweedse studie een stuk lager met maar 15% (Hoffsten en Malmqvist 2000). Een verklaring voor dit relatief lage aantal is zeer waarschijnlijk te wijten aan het feit dat dansmuggen en watermijten niet zijn gedetermineerd tot op soort. Door deze groepen te negeren in onderzoek naar bronnen wordt belangrijke informatie gemist over de typologie, functionaliteit, stabiliteit en kwetsbaarheid van deze wateren.

Hoffsten en Malmqvist (2000) merken op dat er een afnemende trend is voor het aantal krenobionte en krenofiele kokerjuffersoorten van Zuid- naar Noord-Europa. Het aantal

kokerjuffersoorten in de Limburgse bronnen (29) komt goed overeen met de 28 soorten die Robert (1998) vond in Nordrhein-Westfalen.

Binnen de studie naar de Limburgse bronnen zijn alle vier de habitatsoorten voor kalktufbronnen waargenomen (H7220). De kokerjuffer *Plectrocnemia brevis* wordt voornamelijk aangetroffen in Cluster 2, 3 en 4 (de natuurlijkere en kalkrijke bronnen). De platworm *Crenobia alpina* is een soort van krachtigere puntbronnen en wordt voornamelijk in Cluster 1 en 2 gevonden. Dit zijn de bronnen met hoge afvoer en veel mineraal substraat. De platworm *Dugesia gonocephala* wordt in Cluster 1 – 7 aangetroffen en lijkt dus niet een specifieke voorkeur te hebben. Deze platworm komt ook voor in beken in Zuid-Limburg en Twente. De laatste habitatsoort is alweer een platworm, *Polycelis felina*. Deze soort is in dit onderzoek in acht bronnen aangetroffen, waarvan op twee kalktuf aanwezig is. Alleen de kokerjuffer *P. brevis* lijkt dus een echte indicator voor kalktufsteenbronnen te zijn. De overige drie indicatoren hebben een bredere amplitude qua voorkomen. Bij een eventuele herziening van de habitatsoorten voor het type H7220 moet overwogen worden de kokerjuffer *Tinodes unicolor* op te nemen. Deze kokerjuffer is zeer indicatief voor kalktufbronnen.

4.6 Soortensamenstelling

Diatomeeën

Verreweg de meeste taxa die in bronnen leven, kunnen dat volgens veel auteurs ook in andere watertypen. Dat blijkt ook uit onze top tien, die bestaat uit *Planothidium lanceolatum* (gemiddelde hoeveelheid 20%), *Achnanthydium minutissimum* (15%), *Planothidium frequentissimum* (9%), *Amphora pediculus* (8%), *Achnanthydium affine* (5%), *Eolimna minima* (4%), *Gomphonema micropus* (4%), *Cocconeis placentula* (3%), *Gomphonema parvulum* (3%) en *Meridion circulare* (3%). Ze komen voor in 23% (*Achnanthydium affine*) tot 95% (*Planothidium lanceolatum*) van de monsters. *Meridion circulare* is een typische soort voor voornamelijk kalkrijke voedselarme tot (zeer) voedselrijke stromende wateren. *Achnanthydium affine* lijkt een soort te zijn van wat minder voedselrijke wateren (Hoffman *et al.* 2011), de overige soorten zijn zeer algemeen in allerlei stromende en stilstaande voedselarme wateren.

Hoewel er tamelijk veel literatuur is over de diatomeeën uit Europese bronnen, is het lastig de soortensamenstelling van de Limburgse bronnen daarmee te vergelijken. Dit komt door verschillen in nomenclatuur en presentatie van de gegevens (gemiddelden, medianen, frequenties, aanwezigheid of compleetheid van samenvattende tabellen, etcetera).

In bronnen in het löss- en mergellandschap van het Hessische middelgebergte behoren van de top tien diatomeeën acht ook tot de Limburgse top tien, maar *Meridion* wordt daar niet genoemd en *Gomphonema parvulum* lijkt er minder voor te komen, terwijl *Eunotia bilunaris* daar meer voorkomt dan in Limburg. De nitraat-stikstofconcentraties zijn daar met 8-12 mg/l vergelijkbaar met die in onze bronnen (Werum en Lange-Bertalot 2004). Cantonati *et al.* (2012b) onderscheiden op grond van de diatomeeën in de Alpen zeven typen bronnen, waarvan de soortensamenstelling van hun type 'Rheocrenes on

carbonate substrat with nitrate enrichment or shading' het meest overeen komt met de Limburgse bronnen. 'Nitrate enrichment' houdt in dat nitraat-stikstof hoger is dan 1 mg/l. Daar zijn in de top-tien *Amphora pediculus*, *Caloneis fontinalis*, (variëteiten van) *Cocconeis placentula*, *Denticula tenuis*, *Planothidium lanceolatum* en *P. frequentissimum* vertegenwoordigd. *Eolimna minima*, *Gomphonema micropus* en *G. parvulum* worden wel hier, maar niet in de Alpenbronnen gevonden. Dat zijn soorten van doorgaans sterker belaste wateren. Daarentegen komen *Amphora inariensis*, *Achnanthydium pyrenaicum* en *Diatoma mesodon* juist wel in de Alpenbronnen, maar niet in de Limburgse bronnen voor. De ecologie van *Achnanthydium pyrenaicum* spreekt uit de naam. In enkele van de Limburgse bronnen komt ze weinig voor. *Amphora inariensis* is niet in de Limburgse monsters aangetroffen, maar is wel in enkele andere, overwegend voedselarme, stromende en stilstaande Nederlandse wateren gevonden (A. Mertens, pers. med.). *Diatoma mesodon* komt in Nederland voor in kalkarme en voedselarme Veluwe sprengen (Van Dam en Mertens 1995). Een soort als *Reimeria sinuata*, die veel voorkomt in Limburgse bronnen en beken, komt weliswaar niet in de top tien van Cantonati *et al.* (2012b) voor, maar kan in de Alpen toch als indicatorsoort voor het genoemde type bronnen worden beschouwd.

Wojtal (2013) onderzocht diverse brongebieden in Zuid-Polen, waarvan de 23 bronnen in het heuvelland van Krakowsko-Częstochowska (natuurlijk, agrarisch, stedelijk, kalk- en nitraatrijk, > 5 mg/l NO₃-N) het best vergelijkbaar zijn met de Zuid-Limburgse bronnen. De meest voorkomende soorten komen ook in de Limburgse top tien voor en hebben nitraat-stikstofoptima boven 3 mg/l.

In deze Poolse bronnen komen fragilarioïde diatomeeën als *Staurosira venter* en *Staurosirella pinnata* veel voor, evenals in andere brongebieden (bijvoorbeeld Aboal 1998), die in de Mergellandbronnen vrijwel ontbreken. In vergelijking met andere brongebieden zijn in het Mergelland ook de cymbelloïden (*Cymbella*, *Delicatula*, *Encyonema*, *Encyonopsis*) uiterst schaars vertegenwoordigd. De meeste soorten uit deze genera zijn indicatief voor wat voedselarme wateren met een goede kwaliteit (Van Dam *et al.* 1994).

Macrofauna

De fauna van bronnen wordt meestal gedomineerd door enkele abundante taxa en kent vele taxa die in lagere aantallen voorkomen. Zo stelt Stoch *et al.* (2011) dat de meest voorkomende soorten in bronnen vaak generalisten zijn met een hoge habitattolerantie en een brede hoogteverspreiding. Binnen het bronnenonderzoek in Zuid-Limburg is de vlokreeft *Gammarus fossarum* alleen al verantwoordelijk voor 44% van de aangetroffen individuen in het gehele onderzoek. De bronnen van Limburg zijn kalkrijk en ook andere onderzoekers vinden in harde, kalkrijke bronwateren vaak een dominantie van kreeftachtigen. Zo vinden Kroupalova *et al.* (2011) en Koperski *et al.* (2011) *G. fossarum* eveneens als meest abundante soort in hun onderzoek, terwijl Smith *et al.* (2003) en Martin en Brunke (2012) juist *G. pulex* als meest abundante soort aantreffen. In het alpengebied zijn soorten van het geslacht *Gammarus* in grote delen, en grotere amphipoden over het algemeen afwezig. Deels heeft dit te maken met lage calciumconcentraties in deze gebieden, maar ook de laatste ijstijden hebben er

waarschijnlijk voor gezorgd dat deze gebieden nog herkoloniseerd moeten worden door soorten van deze groep (Cantonati *et al.* 2006). We kunnen dus stellen dat soorten van het genus *Gammarus* een grote invloed hebben op het bronmilieu en vaak als meest abundante groep in dit milieu aanwezig zijn. Door hun talrijkheid zorgen ze voor een groot deel van de afbraak van het allochtone organisch materiaal in de bron (Barquin en Death 2004).

Op basis van voorkomen zijn larven van het kevergeslacht *Elodes* sp. in alle onderzochte bronnen gevonden. Martin en Brunke (2012) vonden *Elodes minuta* in 87% van de onderzochte bronnen. Cantonati *et al.* (2006) stellen dat *Elodes* sp. een algemeen kevertaxon in bronnen van de Alpen is. De larven van *Elodes* sp. kunnen gebruikt worden als indicator van een structuurrijke oever (Korsten en van Maanen 2010).

In tegenstelling tot de diatomeeën behoren tot de top tien van aangetroffen macrofaunasoorten wel een groot aantal krenofiele soorten. De kokerjuffers *Sericostoma personatum* en *Crunoecia irrorata*, de motmug *Ulomyia fuliginosa* en de meniscusmug *Dixa submaculata* zijn veelvuldig aanwezig in de Zuid-Limburgse bronnen en worden ook landelijk eigenlijk alleen in bronbeken en bronnen aangetroffen.

Naast oudere studies uit Zuid-Limburg (onder andere Boer 1983, Cuppen en Moller Pillot 1978, Geraedts 1980, Van Dael 1982, Van der Ploeg en Upperman 1982) is er een studie die handelt over de bronnen in Noord- en Midden Limburg (Verdonschot *et al.* 1996). Tevens is er een studie met betrekking tot de helokrene bronnen van Overijssel (Verdonschot en Schot 1987). Dit onderzoek is dus slecht vergelijkbaar met de Limburgse situatie. In de bronnen van Zuid-Limburg zijn minimaal dertig taxa aangetroffen die tot op heden alleen voor Limburg zijn gemeld en niet in de rest van Nederland voorkomen.

De Limburgse bronnenfauna is tevens moeilijk vergelijkbaar met bronnenonderzoek van de Alpen en mediterrane landen (Barquin en Death 2004, Bottazzi *et al.* 2011, Cantonati *et al.* 2006, Lencioni *et al.* 2011, Maiolini *et al.* 2011, Von Fumetti *et al.* 2006). De soorten die daar veelvuldig voorkomen zijn bij ons niet aanwezig.

Bronnen van West- en Noord-Europa zijn beter te vergelijken met de bronnen in Zuid-Limburg. Martin en Brunke (2012) onderscheiden vier brontypen in Schleswig-Holstein, waarbij Cluster 5 en 8 uit ons onderzoek de meeste overeenkomsten vertonen met de helokrenen. Cluster 1 – 4 vertonen de meeste overlap met de rheo- en rheohelokrenen uit dat onderzoek. In achttien kalksteenbronnen in het Verenigd Koninkrijk zijn 65 soorten gevonden (Smith en Wood 2002). Hiervan wordt 46% ook in de Limburgse bronnen aangetroffen. In een studie van zes Zuid-Finse bronnen die vier- tot achtmaal zijn bemonsterd, is de overlap zelfs 55% (Ilmonen en Paasivirta 2005). Vooral de dansmuggengemeenschap van de Finse bronnen vertoont veel overeenkomsten met de Zuid-Limburgse bronnen. Slechts 38% van de taxa die wordt opgevoerd door Hoffsten en Malmqvist (2000) is ook in de Zuid-Limburgse bronnen aanwezig. Tien van de dertien dansmugsoorten die door Orendt (2000) in bronnen in Oost-Duitsland zijn verzameld komen voor in Zuid-Limburgse bronnen.

Geconcludeerd kan worden dat de Zuid-Limburgse bronnen maar gedeeltelijk in soortensamenstelling overeenkomen met de fauna van de bronnen in naburige landen. De matige overlap in soortensamenstelling laat zien dat bronnen unieke habitats vormen voor macrofaunasoorten en dat ze bijdragen aan de lokale en regionale biodiversiteit (Cantonati *et al.* 2012a).

Von Fumetti en Nagel (2011) delen 25 niet verstoorde bronnen in op basis van voedselkilde en onderscheiden drie typen: (1) Continue (snel)stromende bronnen met veel hard substraat waar schrapers dominant zijn (2) stilstaande tot langzaam stromende bronnen met lage afvoer waar veel opgelost fijn organisch materiaal en fijn organisch substraat aanwezig is waar filteraars dominant zijn en (3) een intermediair type van bronnen met instabiele lage afvoer met grover organisch materiaal en afzettingen van kalktufsteen. Dit laatste type omvat vaak structuurrijke bronnen met een hoge habitatdiversiteit. In dit type bron zijn verzamelaars en knippers dominant aanwezig. In de Limburgse situatie vertonen de bronnen van Cluster 1 en 2 (sneller stromende bronnen) verhoogde aantallen schrapers en Cluster 8 (organisch verrijkte langzaam stromende bronnen) verhoogde aantallen filteraars. Verzamelaars en knippers die het meest voorkomen in het intermediaire type worden bij ons het meest aangetroffen in Cluster 3 - 7. Di Sabatino *et al.* (2003) stelt dat deze intermediaire vorm met vele verschillen microhabitats vaak een hoge soortenrijkdom herbergt. Voor de bronnen in Zuid-Limburg gaat dit ten dele op. De bronnen van Cluster 6 – 8 zijn significant lager in taxa-aantallen dan de overige clusters. Ook Von Fumetti *et al.* (2006) vindt niet de hoogste diversiteit in de intermediaire bronnen met veel habitatvariatie.

4.7 Integratie van de clusterindeling

De overlap tussen de clusterindeling van diatomeeën en macrofauna is matig te noemen in de Limburgse bronnen. Diatomeeën reageren op veranderingen in de chemische waterkwaliteit en stroomsnelheid, terwijl macrofaunasoorten waarschijnlijk eerder reageren op veranderingen in substraatsamenstelling (Spitale *et al.* 2012d). Spitale *et al.* (2012b) melden dat een generieke classificatie van bronnen lastig is en dat diatomeeën niet gezamenlijk clusteren met de heterotrofe macrofauna organismen.

4.8 Taxa van hogere niveaus

Diatomeeën

Het determineren van diatomeeën tot op het niveau van de soort of lager eist veel specialistische kennis, die pas na langdurige praktijk wordt verkregen. Goldenberg Vilar *et al.* (2014) vonden in Noord-Hollandse sloten dat met behulp van determinatie op genusniveau of bij onderscheid van een klein aantal ecologische gilden vrijwel dezelfde informatie kan worden verkregen als bij determinatie tot op soortniveau. Dat blijkt in de Limburgse bronnen niet het geval te zijn.

De relaties tussen de ecologische gilden zijn niet erg overtuigend, behalve de zeer sterke correlatie van het percentage mobiele soorten met stroomsnelheid, afvoer en graasdruk. Dat klopt met de hypothese van Passy (2007).

Determinatie tot op genusniveau is tegenwoordig niet meer zo eenvoudig als vroeger, toen bijvoorbeeld de lichtmicroscopisch sterk op elkaar gelijkende *Eolimna minima* en *Sellaphora seminulum* beide nog in het geslacht *Navicula* werden geplaatst. In dit geval moet er eerst tot op soortniveau worden gedetermineerd, voordat kan worden besloten over het genus.

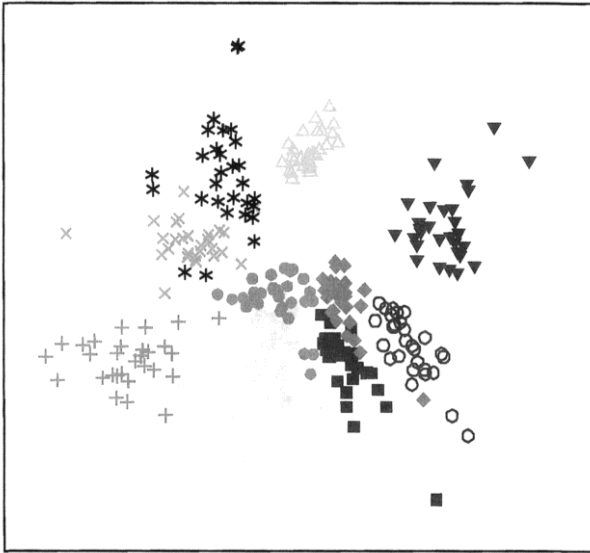
Het verdient daarom geen aanbeveling in het vervolg te volstaan met een hoger determinatieniveau. Bovendien kunnen zeldzame taxa, waaraan de bronnen juist hun waarde ontleen, dan niet meer worden herkend.

4.9 Temporele variatie

Diatomeeën

Met betrekking tot de seizoensvariatie van de diatomeeën hebben we het in bronnen gemakkelijk: die is namelijk gering. Żelazna-Wieczorek (2011) bemonsterde in Polen (circa 200m + NAP) dertig maanden lang tien meer of minder door de mens beïnvloede Poolse bronnen. Iedere bron had een specifieke, betrekkelijk constante soortensamenstelling (Figuur 34). De variatie van jaar tot jaar is eveneens gering: Spitale en Cantonati (2012a) bemonsterden 15 jaar lang jaarlijks enkele bronnen in de Alpen en vonden op termijnen van ongeveer vijf jaar weinig variatie. Ook andere auteurs wijzen op de geringe seizoensvariatie van diatomeeën in bronnen (Cantonati 1998, Werum 2001, Werum en Lange-Bertalot 2004, Gesierich en Kofler 2010).

Dat betekent dat de éénmalige bemonstering van de Limburgse bronnen tussen 2008 en 2012 een goed beeld geeft van de toestand van de bronnen over een langere periode.



Figuur 34 Positie op de eerste assen van een ordinatorie van maandelijkse monsters (januari 2003 – juni 2006) uit tien bronnen bij Łódź (Żelazna-Wieczorek 2011).

Macrofauna

De Zuid-Limburgse bronnen zijn op één locatie na allemaal eenmalig bemonsterd tussen 2008 en 2012 in de maanden maart en april. Omdat algemeen bekend is dat met een enkele standaardbemonstering in de meeste wateren meestal minder dan de helft van de aanwezige soorten wordt aangetroffen, vragen we ons af of dat ook voor de relatief stabiele bronmilieus geldt en of hetzelfde beeld als voor de diatomeeën kan worden geschetst.

Mori en Brancelj (2006) en Bottazzi *et al.* (2011) vinden grote verschillen in soortenrijkdom en relatieve abundanties tussen monsters uit verschillende seizoenen. Bottazzi *et al.* (2011) laat duidelijk zien dat in vier permanente rheokrenen het aantal individuen in herfstmonsters duidelijk lager is dan in de ander seizoenen. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor de lagere score van de Reijmersbekervloedgraaf (OREIJ710). Dit monster is als enige in de herfst genomen.

Spitale *et al.* (2012) concluderen dat tijd (seizoen) ongeveer hetzelfde aandeel variatie verklaart als de plaats van bemonstering (locatiekeuze) in de bron en bovenstroomse delen van brongevoede systemen. Ze voegen echter wel gelijk toe dat als er veel verschillende brontypen zijn bemonsterd in verschillende watersystemen dit veel belangrijker is dan tijd. Juist binnen een groep bronnen met een zelfde typologie is het seizoen wel een belangrijke voorwaarde om rekening mee te houden in de bemonstering (Myrkä *et al.* 2008).

Net als in andere watertypen varieert de soortensamenstelling in bronnen gedurende het seizoen. Zoals Spitale *et al.* (2012) ook benoemt, is met de brede range van typen bronnen een eenmalige bemonstering op zijn plaats om een goed beeld te geven van de

toestand van de Limburgse bronnen. Een belangrijke voorwaarde die helpt voor een betere onderbouwing van het vergelijken van de bronnen is dat monsters genomen zijn in hetzelfde seizoen.

4.10 Habitatvariatie

Diatomeeën

Een van de redenen voor de soortenrijkdom van bronnen is de habitatvariatie. Taxböck (z.j.) onderzocht 82 natuurlijke Zwitserse bronnen en nam samengestelde monsters van mossen, sediment, stenen en blad, zoals dat ook in Zuid-Limburg is gedaan. Hij vond een zeer significante relatie tussen het aantal gevonden soorten en het aantal substraten in het monster.

Mossen verschillen in structuur van andere substraten en er is ook een ander lichtklimaat dan op bijvoorbeeld stenen. De mossen nemen licht weg en er is een andere spectrale verdeling van het licht. Ook hebben de mossen invloed op de vorm waarin anorganisch koolstof aanwezig is en de beschikbaarheid van nutriënten. Deze, en andere factoren, beïnvloeden de soortensamenstelling van de diatomeeën. Zo vonden Cantonati *et al.* (2012b) in de Alpenbronnen significant meer *Caloneis fontinalis*, *Diploneis krammeri* en *Meridion circulare* op mossen dan op stenen, terwijl voor *Amphora pediculus* en *Reimeria sinuata* het omgekeerde gold. Ook zijn hier de diatomeeëngemeenschappen op mossen in bronnen meer divers en soortenrijker dan op stenen (Cantonati 1998, Angeli *et al.* 2010). Echter 40% van de variatie in de diatomeeëncombinaties wordt veroorzaakt door milieuv variabelen en maar 3% door substraat (Cantonati en Spitale 2009).

Ook in bronnen in het Poolse Krakowsko-Częstochowska heuvelland kwamen *Caloneis fontinalis*, *Diploneis krammeri* en *Meridion circulare*, naast andere soorten, zoals *Planothidium lanceolatum*, meer op mossen voor dan op stenen, terwijl bijvoorbeeld *Denticula tenuis*, *Eolimna minima* en *Gomphonema micropus* meer op stenen werden gevonden (Wojtal en Sobczyk 2012). Het lijkt er hier op alsof de kwalitatief 'betere' soorten een voorkeur hebben voor de mossen.

Macrofauna

Een zeer belangrijke reden voor de soortenrijkdom van macrofauna in bronnen is habitatvariatie. Bronnen zijn heterogene milieus met vaak een mozaïekachtige structuur van microhabitats (mossen, detritus pockets, takken, stenen, grind). De daarmee samenhangende hoge diversiteit aan substraten en dus een grote voedselbeschikbaarheid is vaak de belangrijkste reden voor een grote biodiversiteit in bronnen (Cantonati *et al.* 2006).

Belangrijke variabelen die verschillen verklaren tussen bronnen zijn onder andere substraatkarakteristieken, sedimentkarakter en organische-stofgehalte (Gerecke *et al.* 2005, Ilmonen en Paasivirta 2005, Koperski *et al.* 2011, Martin en Brunke 2012, Von Fumetti *et al.* 2006). Von Fumetti *et al.* (2006) kon echter geen bronnen groeperen op basis van de substraatsamenstelling.

In onze studie lijken de variabelen substraatvariatie, afvoer, grind, detritus, morfologie en de aanwezigheid van een sapropeliumlaag een grote invloed te hebben op de macrofaunagemeenschap.

Veel van deze variabelen worden gestuurd door de mate van afvoer. Bij een hoge afvoer kan weinig organisch materiaal blijven liggen en als substraat dienen en zijn juist minerale substraten (grind, stenen, kalktuf) aanwezig. Wanneer de afvoer lager is, is juist het aandeel organisch materiaal hoger. Het belangrijkste sturende proces in bronnen is de stroming van het grondwater (afvoer/debiet) en permanent natte omstandigheden zijn essentieel (Bobbink *et al.* 2013, Cantonati *et al.* 2012, Ilmonen en Paasivirta, 2005, Smith *et al.* 2003, Von Fumetti *et al.* 2006).

4.11 Begrazing (alleen diatomeeën)

Er is in dit onderzoek een sterke samenhang vastgesteld tussen begrazing door de macrofauna en de soortensamenstelling van de diatomeeën. Het kan heel goed dat de diatomeeën en de soortensamenstelling op een zelfde manier reageren op een milieufactor, bijvoorbeeld stroming. Dat verdient nader te worden onderzocht, daar er in de literatuur niets is gevonden over relaties tussen macrofauna en diatomeeën van bronnen.

4.12 Overige milieuv variabelen

Diatomeeën

In de Pyreneeën zijn geleidbaarheid (ionenrijkdom) en stroomsnelheid de belangrijkste factoren (Sabater en Roca 1990). Bij hoge stroomsnelheid (de mediane afvoer van die bronnen is met 7,5 l/s drie maal zo hoog als die van Zuid-Limburgse bronnen; Hendrix 2005) is de diversiteit het geringst. Daarnaast kan ook beschaduwing een rol spelen.

Cantonati en Spitale (2009) onderzochte 16 (tamelijk) kalkrijke, onverstoorde bronnen in de Dolomieten (Ca 17 – 54 mg/l, NO₃-N 0,3 – 1,0 mg/l). De belangrijkste milieuv variabelen voor de diatomeeën daar zijn deeltjesgrootte van het substraat (bepaald door de stroomsnelheid), permanentie, beschaduwing, nitraat en totaal-fosfaat (het laatste meestal < 0,01 mg/l P).

Cantonati *et al.* (2012b) onderzochten 110 merendeels kleine beschaduwde en onbeschaduwde bronnen (medianen afvoer 0,5 l/s, pH circa 7,0, NO₃-N circa 0,5 mg/l, P-totaal circa 0,008 mg/l) in de Alpen en vonden met canonische correspondentieanalyse als belangrijkste milieuv variabelen pH, hoogte boven de zeespiegel, temperatuur, P-totaal en beschaduwing. In de Limburgse bronnen zijn stroomsnelheid en nitraat geen significante factoren in een ordinatie van de hele dataset, maar ze onderscheiden wel een type kalkrijke rheokrenen met invloed van nitraat en/of beschaduwing.

Enkele jaren eerder vonden Cantonati en Lange-Bertalot (2010) in negen kalkrijke, maar nitraatarme (NO₃-N 0,1 – 0,6 mg/l) bronnen in de Beierse Alpen een heel andere flora

dan in de Limburgse bronnen, wel met veel *Achnantheidium minutissimum*, *Meridion*, *Reimeria*, etcetera, maar ook met soorten als *A. dolomiticum* en *Diatoma mesodon*. In de bron met het hoogste nitraatgehalte kwamen de minste, maar dan vooral eutrafente soorten voor, zoals *Planothidium lanceolatum* en *Gomphonema micropus*.

Gesierich en Kofler (2010) vonden in de Oostenrijkse Alpen nitraat en pH als belangrijkste variabelen, maar ook hoogte boven de zeespiegel, stroming, ionenrijkdom en habitatvariatie waren hier belangrijk. Nitraat-stikstof liep hier uiteen van < 1 tot 10,8 mg/l, maar is nauw verbonden met hoogte boven de zeespiegel (temperatuur en geleidbaarheid (ionenrijkdom)).

Angeli *et al.* (2010) vergeleken de diatomeeën van 57 kalkrijke bronnen in twee vergelijkbare gebieden in Italiaanse middelgebergten, die verschilden in menselijke beïnvloeding. Nitraat had hier een belangrijke invloed op de soortensamenstelling. In de niet- tot weinig beïnvloede bronnen was de range 0,2 – 2 mg/l NO₃-N en in de beïnvloede bronnen 0,5 – 5 mg/l, maar ook hier waren er verschillen in ionengehalte (Geleidingsvermogen rond 300 vs rond 500 µS/cm. Ook binnen de beïnvloede bronnen was in de soortensamenstelling nog een gradiënt van minder naar meer nitraatrijckdom. Die is in de Limburgse bronnen afwezig.

Ook Aboal *et al.* (1998) stellen in bronnen in het Oost-Spaanse middelgebergte invloed van nitraat vast, maar ze geven geen getallen en ook gaan hoge nitraatgehalten vaak samen met een hoge ionenrijkdom, die als de belangrijkste milieufactor wordt gezien.

Hoewel Werum en Lange-Bertalot (2004) de diatomeeën en chemie van 97 bronnen in Hessen uitgebreid hebben onderzocht, presenteren zij hun gegevens niet zo dat er gemakkelijk relaties tussen de diatomeeën en hun milieu kunnen worden afgeleid. Ook in hun mergelgebied was het gehalte van nitraat-stikstof hoog met concentraties tussen 8 en 12 mg/l.

In zeven relatief weinig antropogeen beïnvloede bronnen in het Krakowsko-Czestochowska heuvelland (NO₃-N gemiddeld 3,9 mg/l, geleidingsvermogen gemiddeld 407 µS/cm) was de soortensamenstelling duidelijk verschillend van die in zes sterk beïnvloede bronnen (NO₃-N gemiddeld 6,5 mg/l, geleidingsvermogen gemiddeld 538 µS/cm). Naast ionensterkte (geleidingsvermogen) en nitraat waren ook zuurstof en bicarbonaat belangrijke factoren die correleerden met de diatomeeën (Wojtal en Sobczyk 2012). Wojtal (2013) vond dat de macro-ionen in kalkrijke bronnen de belangrijkste factoren voor de soortensamenstelling zijn en daarop volgen o.a. alkaliniteit, zuurstof en nitraat.

In de tien maandelijks door Żelazna-Wieczorek (2011) bemonsterde kalkrijke antropogeen beïnvloede Poolse bronnen (NO₃-N 0,7 – 9,5 mg/l) waren macro-ionen (onder andere bicarbonaat), pH en zuurstof (redoxpotentiaal) belangrijker dan nitraat voor de kiezelwieren.

Macrofauna

In het onderzoek door Martin en Brunke (2012) in 174 bijna natuurlijke bronnen in noord-Duitsland zijn de hardheid van het water en het geleidingsvermogen naast de substraatsamenstelling de belangrijkste onderscheidende factoren voor de opdeling in brontypen.

In het onderzoek van Stoch *et al.* (2011), waarin 110 bronnen zijn onderzocht op meiofauna (borstelwormen, mijten, kreeftachtigen), zijn de verschillen op regionale schaal het beste te verklaren door de hoogteligging, de afvoer en chemisch-fysische parameters (gerelateerd aan de geologie; geleidingsvermogen, alkaliniteit, calcium, magnesium, chloride). Menselijke beïnvloeding en microhabitatstructuren waren van minder belang. De meeste borstelwormen (vooral de Naididae) zijn gevonden in kalkarme bronnen met een lage stromingsindex. De mijten hebben een specialistische habitatpreferentie, maar zijn het meest aangetroffen in kalkarme milieus. In de Limburgse bronnen zijn de wormen van de familie Tubificidae eveneens in de langzamere stromende bronnen aangetroffen (Cluster 5 – 8). De watermijten in de Limburgse bronnen laten ook een hoge mate van specifieke voorkeur zien voor de verschillende clusters. Zo wordt *Parathyas palustris* (familie Hydryphantidae) bijvoorbeeld alleen in Cluster 5 (moerasachtige bronnen) gevonden. Soorten van deze mijtenfamilie worden geassocieerd met dit type bronmilieu (Gerecke *et al.* 2005).

De verspreiding van soorten in kalkrijke bronsystemen op de grens van Tsjechië en Slowakije wordt voornamelijk veroorzaakt door grof organisch materiaal, kalkafzettingen (tufsteen) en variatie in temperatuur. Een substantieel aandeel van de soorten was echter uniform verdeel over het onderzoeksgebied, vooral de kokerjuffers, vliegen en muggen (Kroupalova *et al.* 2011). In Limburg is de temperatuur geen variabele die significante invloed heeft op de samenstelling van soorten in de bronnen. 87% van gemeten waarden ligt tussen de 8 en 12 °C (Bijlage 0).

In een studie naar dansmuggen in natuurlijke bronnen in de Alpen en voor-Alpen van noordelijk Italië is naast de hoogteligging, beschaduwing, het hydrologische regime en substraat (stenen) ook de zuurgraad een variabele die verantwoordelijk is voor de scheiding van clusters (Lencioni *et al.* 2011). Het aantal dansmugsoorten neemt af bij een afnemende zuurgraad. Dit lijkt karakteristiek te zijn voor gematigde zones (Orendt 2000). In de Limburgse bronnen is de afname van de zuurgraad negatief gecorreleerd met het aantal kenmerkende taxa van de R2-maatlat (Bijlage 7).

Nutriënten zoals stikstof en fosfaat worden in de wetenschappelijke literatuur over bronnen voor de macrofauna niet als belangrijke variabele beschouwd. Ook in de bronnen van Limburg is dit voor de macrofauna geen onderscheidende variabele in de ordinaties (zie paragraaf 3.3.5). Het totale stikstofgehalte is positief gecorreleerd met de EKR, maar negatief met het aantal positief dominante soorten. Dit spreekt elkaar tegen en er is dus niet sprake van een eenduidig effect. Als we inzoomen op ammonium vinden we positieve verbanden met het totale aantal soorten, het aantal kenmerkende soorten en het aantal zeldzame soorten. Ammonium is echter in zeer lage hoeveelheden gemeten en de correlaties die zijn gevonden zeggen in dat opzicht niet heel veel. Nitraat,

dat in overvloed aanwezig is in de bronwateren, is positief gecorreleerd met de EKR. Net als bij het totale stikstofgehalte is de trend voor het aantal positieve taxa juist negatief. Er is bij nitraat dus ook geen eenduidig effect op de macrofaunakaracteristieken. De gehalten aan ortho-fosfaat en totaal fosfaat vertonen geen significante verbanden met macrofaunakaracteristieken.

4.13 Stuurvariabelen

Diatomeeën

Uit de eigen onderzoeksresultaten en die uit de bovenvermelde literatuur kan een beeld worden geschetst van de belangrijkste milieuvariabelen voor de diatomeeën in de Zuid-Limburgse bronnen. De belangrijkste factor is wel de stroomsnelheid en de variatie daarin. Die heeft niet alleen op zichzelf effect, maar veroorzaakt ook de habitatvariatie, waardoor diatomeeën van verschillende substraattypen, zoals grind en detritus, naast elkaar kunnen voorkomen.

Van de chemische variabelen zijn in elk geval de macro-ionen, in het bijzonder bicarbonaat belangrijk. Waarschijnlijk omdat de nitraatconcentraties in vrijwel alle bronnen hoog zijn (gemiddeld 12 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$) is nitraat in de Zuid-Limburgse bronnen geen differentiërende factor (meer). In kalkrijke buitenlandse bronnen kunnen nitraat-stikstofconcentraties van 1-2 mg/l al effect hebben op de soortensamenstelling (toename van eutrafente soorten). De grens van 2,3 mg/l totaal-stikstof tussen de matige en goede toestand (Van der Molen *et al.* 2014) is daarom eerder te ruim dan te krap (in de bronnen is 95% van het gebonden stikstof als nitraat aanwezig). Het is echter moeilijk de effecten van nitraat en macro-ionen te scheiden, daar verhoging van nitraat meestal samengaat met verhoging van andere ionenconcentraties.

De N/P-verhouding (gemiddeld 394 mol/mol) geeft aan dat fosfor limiterend is voor de algen (in de algen is de verhouding ongeveer 16 mol/mol), maar dat blijkt niet zeer sterk uit de analyses uit het gebied en de buitenlandse literatuur. Het is goed denkbaar dat fosfaat zeer snel wordt opgenomen door de algen en overige planten, zoals mossen.

De invloed van mossen op de soortensamenstelling is waarschijnlijk minder groot dan hij lijkt. Weliswaar zijn er verschillen in het aangroei van mossen en overige substraten, maar deze worden overschaduwd door verschillen in fysisch-chemische factoren.

Macrofauna

Uit de eigen onderzoeksresultaten en die uit de bovenvermelde literatuur kan een beeld worden geschetst van de belangrijkste milieuvariabelen voor de macrofauna in de Zuid-Limburgse bronnen. De belangrijkste factor is net als bij de diatomeeën de stroomsnelheid en de variatie daarin. Die heeft niet alleen op zichzelf effect, maar veroorzaakt ook de habitatvariatie (substraatvariatie), waardoor macrofaunasoorten van verschillende substraattypen, zoals stenen/grind en detritus/waterplanten, naast elkaar kunnen voorkomen.

De chemische variabelen die indicatief zijn voor harder, kalkrijk water, vormen ook een belangrijke sturende factor. Zo zijn de hoge zuurgraad en de daarmee verband houdende variabelen als alkaliniteit, calcium, bicarbonaat en het geleidingsvermogen positief gecorreleerd met de meeste kalktufbronnen.

De morfologie (natuurlijk/beïnvloed) en de beschaduwing (open/beschut) van de bronnen is een derde factor van belang voor de verschillen tussen de bronnen op basis van macrofauna.

5 Conclusies

5.1 Chemische typologie en voedselrijkdom

- 1 Het water van de onderzochte bronnen is karakteristiek voor gerijpt grondwater met dominantie van calcium onder de kationen en in de meeste gevallen bicarbonaat onder de anionen.
- 2 Van de 51 bronnen waar de samenstelling van macro-ionen in het bronwater is onderzocht, behoren 48 tot het calcium-bicarbonaat type, 2 tot het calcium-chloride type en één tot het calcium-sulfaat type. De verhoogde gehalten van chloride en sulfaat in deze laatste bronnen kunnen het gevolg zijn van het strooien van pekels in de winter, respectievelijk de oxidatie van pyriet in de ondergrond.
- 3 Er is tussen de bronnen een groot verschil in totale ionenrijkdom (range 176-825 mg/l) en daarmee in het elektrisch geleidingsvermogen (range 27-114 mS/m). Deze range zal worden veroorzaakt door de hoeveelheid kalk in de ondergrond en de mate van rijpheid van het grondwater.
- 4 De meeste bronnen bezitten hard tot zeer hard water met een hoge alkaliniteit (> 2 meq HCO_3/l). Van enkele bronnen wordt het water gekarakteriseerd als matig hard (1-2 meq HCO_3/l) en van één als zacht (< 1 meq HCO_3/l). De pH loopt uiteen van 6,3 tot 9,8 zonder duidelijk verband met de alkaliniteit.
- 5 Vrijwel alle bronnen bezitten water met een matig tot sterk verhoogd nitraatgehalte (range 0,1-45,2 mg N/l en gemiddeld 12 mg N/l). Door deze overmaat aan stikstof is de primaire productie in alle bronnen op één na in potentie fosfaat gelimiteerd.

5.2 Kieselwieren

- 1 In het algemeen is de soortensamenstelling van diatomeeën in bronnen in de tijd tamelijk constant, mits er geen ingrijpende milieuveranderingen plaatsvinden. We veronderstellen daarom dat de bemonsteringen tussen 2008 en 2012 een goed beeld geven van de toestand van de diatomeeëngemeenschappen van de Zuid-Limburgse bronnen.
- 2 In de 64 bronnen zijn in totaal 212 taxa aangetroffen taxa waarvan er 98 zeldzaam zijn in Nederland en 11 nieuw zijn voor Nederland. Twintig taxa zijn in Limburg specifiek voor bronnen en 10 komen er voor op de Duitse Rode Lijst.
- 3 Op één matig scorende bron na, wordt de ecologische toestand van alle bronnen op basis van de kieselwieren beoordeeld als goed tot zeer goed (lees ook conclusie 8). De EKR ligt tussen 0,50 en 0,94 en bedraagt gemiddeld 0,78.

- 4 Op grond van de soortensamenstelling zijn zes clusters onderscheiden. De milieuv variabelen afvoer, graasdruk van de macrofauna, substraat en habitatdiversiteit zijn het meest significant verschillend tussen de clusters. In mindere mate is dit het geval met alkaliniteit. Wat nutriënten betreft zijn er verschillen in ammonium-stikstof en totaal-fosfaat, maar niet in nitraat.
- 5 De meeste bijzondere soorten komen voor in het cluster waarvan de locaties zeer rijk zijn aan bicarbonaat, vooral in het Geuldal en nauwelijks daarbuiten. De minst bijzondere soorten zijn aangetroffen in een cluster met relatief weinig bicarbonaat, een sterke kalk onderverzadiging en hoge fosfaatconcentraties, in het gebied met intensieve landbouw tussen Gulpen, het Drielandenpunt en Slenaken, waarvan een groot deel van de locaties ligt in het stroomgebied van de Zieversbeek.
- 6 Uit de onderzoeksresultaten uit het Limburgse Mergelland en gegevens van elders in Europa kan worden geconcludeerd dat de stroomsnelheid en de variatie daarin voor de diatomeeën de belangrijkste milieufactor is. Die heeft niet alleen op zichzelf effect, maar veroorzaakt ook de habitatvariatie, waardoor diatomeeën van verschillende substraattypen, zoals grind en detritus, naast elkaar kunnen voorkomen.
- 7 Waarschijnlijk omdat de nitraatconcentraties in vrijwel alle Limburgse bronnen tegenwoordig hoog zijn, is nitraat in deze bronnen geen differentiërende factor meer. In kalkrijke buitenlandse bronnen kunnen veel lagere concentraties van 1-2 mg/l N al effect hebben op de soortensamenstelling (toename van eutrafente soorten). De grens van 2,3 mg/l totaalstikstof tussen de matige en goede toestand is daarom eerder te ruim dan te krap en is de gebruikte KRW-maatlat niet streng genoeg. Het is echter moeilijk de effecten van nitraat en macro-ionen te scheiden, daar verhoging van nitraat meestal samengaat met verhoging van andere ionenconcentraties.
- 8 Een belangrijke leemte in de kennis is de betrouwbaarheid van de huidige maatlat en de soortensamenstelling in referentiesituaties zonder hoge nitraatbelasting. Ondanks hoge nitraatbelasting scoren op één na alle bronnen goed tot zeer goed op de huidige maatlat, maar ontbreken soorten die elders wel aanwezig zijn in minder stikstofbelaste bronnen.

5.3 Macrofauna

- 1 In de monsters van 64 bronnen zijn in totaal 295 taxa aangetroffen. Hiervan zijn 77 zeldzaam of zeer zeldzaam in Nederland. Vier soorten zijn nieuw voor de Nederlandse fauna en vijftien staan op de Nederlandse Rode Lijst. Het aantal taxa dat per bron is waargenomen, varieert tussen de 14 en 63 met een gemiddelde van 40 taxa. Het aantal zeldzame soorten per bron varieert tussen de 2 en 24 met een gemiddelde van 12. Deze aantallen laten duidelijk zien dat de Zuid-Limburgse bronnen een hoge natuurwaarde bezitten.

- 2 Het aantal zeldzame macrofaunasoorten is significant positief gecorreleerd met de stromingsvariatie, de stroomsnelheid, de afvoer, de substraatvariatie, het ammoniumgehalte (smalle range gemeten) en de ligging van de bron. Het is negatief gecorreleerd met de aanwezigheid van detritus, de dikte van de sapropeliumlaag en een natuurlijke morfologie van de bron. Dezelfde relaties zijn aantoonbaar voor het aantal kenmerkende soorten, zoals gedefinieerd in de maatlat voor het KRW-brontype R2.
- 3 De meest waardevolle bronnen qua zeldzaamheid van macrofaunasoorten, bevinden zich nabij Noorbeek, in en rondom het Vijlenerbos en in het Bunder- en Elsoërbos. Deze bronnen hebben een grote habitatdiversiteit, een hoge afvoer en bijbehorende stroomsnelheid en stromingsvariatie. Een cluster van bronnen dat minder zeldzame soorten bevat, bevindt zich tussen Landgraaf en Kerkrade. Deze bronnen zijn organisch verrijkt en hebben een beïnvloede morfologie. In algemene zin bevatten de bronnen in het zuidelijke deel van het beheergebied meer zeldzame soorten dan de bronnen in het noordelijke deel.
- 4 Op één matig scorende bron na, wordt de ecologische toestand van alle 64 onderzochte bronnen op basis van de macrofauna en met de maatlat voor het type R2 (permanente bron), beoordeeld als goed tot zeer goed (lees ook conclusie 9). De EKR ligt tussen 0,47 en 0,89 en bedraagt gemiddeld 0,75. Opgemerkt moet worden dat de matig scorende bron, de Reijmerbekersvloedgraaf, als enige bemonsterd is in het najaar, en in een heel ander stroomgebied ligt dan de meeste andere bronnen.
- 5 Het aantal zeldzame soorten en de EKR zijn sterk significant positief gecorreleerd met de substraatvariatie, de stroomsnelheid en de afvoer en negatief met de aanwezigheid van detritus en de dikte van de sapropeliumlaag. Daarnaast is een positief verband aangetoond met de mogelijkheid van populatie-uitwisseling (het aantal bronnen in de buurt), de alkaliniteit en (vermoedelijk indirect met) de gehalten van nitraat, totaalstikstof en sulfaat. Verder is de EKR significant negatief gecorreleerd met het gehalte zwevende stof en de aanwezigheid van de kwelverschijnselen ijzeroer en ijzervlokken.
- 6 Op grond van de soortensamenstelling zijn acht clusters onderscheiden. Tussen deze clusters bestaan significante verschillen in mediane waarden van de EKR, de aantallen positief dominante taxa, kenmerkende taxa, negatief dominante taxa en zeldzame taxa en het totaal aantal taxa per cluster. Daarnaast verschillen de uit de macrofauna habitat- en milieupreferentie waarden berekende indexen voor stroming, trofie, saprobie en zuurgraad.
- 7 De milieuvariabelen afvoer, substraat- of habitatdiversiteit en de dikte van de sapropeliumlaag zijn het meest significant verschillend tussen de clusters. In mindere mate is dit het geval met alkaliniteit en daaraan verwante variabelen (bicarbonaat, calcium en geleidendheid). Ook stroomsnelheid en ijzerrijke kwel spelen een rol in de verdeling tussen de clusters. Nutriënten (N en P) spelen eigenlijk geen rol in het onderscheiden van de clusters.

- 8 Leemten in de kennis betreffen de interpretatie van onverwachte positieve, waarschijnlijk niet causale, verbanden tussen EKR en de gehalten van totaal stikstof, nitraat en sulfaat en het positieve verband van ammonium-stikstof met het aantal kenmerkende, zeldzame en het totale aantal soorten.
- 9 Een andere leemte in de kennis is de betrouwbaarheid van de huidige KRW-maatlat voor het type R2. Deze maatlat laat voor de Zuid-Limburgse situatie te wensen over (op één bron na scoren alle bronnen minimaal goed, ondanks duidelijke verschillen in kwaliteit). Nader onderzoek om een beter differentiërende maatlat te krijgen is nodig.

6 Literatuur

- Aboal M, MA Puig en M Prefasi (1998) Diatom assemblages in springs in Castellón province, Eastern Spain. *Algological Studies* 90: 79-95.
- Angeli N, M Cantonati, D Spitale en H Lange-Bertalot (2010) A comparison between diatom assemblages in two groups of carbonate, low-altitude springs with different levels of anthropogenic disturbances. *Fottea* 10: 115-128.
- AquaSense TEC (1996) *Huidige biologische en fysisch-chemische toestand van bronnen in Noordoost-Twente*. In opdracht van: Waterschap Regge en Dinkel. Rapport 96.0826:. AquaSense, Amsterdam.
- Barquin J en RG Death (2004) patterns of invertebrate diversity in streams and freshwater springs in northern Spain. *Archiv für Hydrobiologie*: 161: 329-349.
- Bertrand J, JP Renon en O Monnier (1999) Les diatomées des sources du rebord karstique de la Beauce de la région Orléanaise. *Symbioses N.S.* 1: 3-14.
- Bijkerk R (red) (2010) *Handboek hydrobiologie. Biologisch onderzoek voor de ecologische beoordeling van Nederlandse zoete en brakke oppervlaktewateren*. Rapport 2010-28, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
- Blanco S, C Cejudo-Figueiras, L Tudesque, E Bécares, L Hoffmann en L Ector (2012) Are diatom diversity indices reliable monitoring metrics? *Hydrobiologia* 695: 199-206.
- Bobbink R, JH Bouwman, E Brouwer, FH Everts, MAP Horsthuis, HH van Kleef en A Klimkowska (2013). *Preadvies kleine ecotopen in de hydrologische gradiënt*. Rapport nr. 2013/OBN173-NZBE, Ministerie van EZ, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij.
- Bottazzi E, MC Bruno, V Pieri, A Di Sabatino, L Silveri, M Carolli en G Rossetti (2011) Spatial and seasonal distribution of invertebrates in northern Apenine rheocrene springs. *Journal of Limnology* 70: 77-92.
- Cantonati M en H Lange-Bertalot (2010) Diatom biodiversity of springs in Berchtesgaden National Park (North-Eastern Alps, Germany), with the ecological and morphological characterization of two species new to science. *Diatom Research* 25: 251-280.
- Cantonati M en D Spitale (2009) The role of environmental variables in structuring epiphytic and epilithic diatom assemblages in springs and streams of the Dolomiti Bellunesi National Park (south-eastern Alps). *Fundamental and Applied Limnology* 174: 117-133.
- Cantonati M (1998) Diatom communities of springs in the southern Alps. *Diatom Research* 13: 201-220.
- Cantonati M, L Füreder, R Gerecke, I Jüttner en EJ Cox (2012a): Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science* 31: 463-480.
- Cantonati M, N Angeli, E Bertuzzi, D Spitale en H Lange-Bertalot (2012 b) Diatoms in springs of the Alps: spring types, environmental determinants, and substratum. *Freshwater Science* 31: 499-524.
- Cantonati M, R Gerecke en E Bertuzzi (2006) Springs of the Alps – sensitive ecosystems to environmental change : from biodiversity assessments to long term studies. *Hydrobiologia* 562 : 59-96
- Cemagref (1982) *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q.E. Lyon - Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée Corse.
- Cholnoky BJ (1968) *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern*. Cramer, Lehre.
- Cuppen HPJJ en HKM Moller Pillot (1978) *Een oriënterend hydrobiologisch onderzoek naar de bronnen en bronbeken in Mergelland*. Werkrapport Mergelland. Bijlage I. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 32p.
- De Boer J (1983) *Bronnen en beken in het Boven Geuldal*. Verslag LH/Nb nr. 668. Wageningen.

- De Mars H en B Vercootere (z.j.) *Bronwatertypologie voor het Heuvelland*. In: Inleiding OGOR-meetnet 4e tranche: 8 Natura 2000-gebieden. p. 3-9.
- Descy JP (1979) A new approach to water quality estimation using diatoms. *Nova Hedwigia*, Beiheft 64: 305-323.
- Di Sabatino A, R Gerecke en P Martin (2000) The biology and ecology of lotic water mites (Hydrachnidia). *Freshwater Biology* 44: 47-62.
- Di Sabatino A, B Cicolani en R Gerecke (2003) Biodiversity and distribution of water mites (Acari : Hydrachnidia) in spring habitats. *Freshwater Biology* 48: 2163-2173.
- Driessen O en B Pex (1997) Waterkwaliteitsonderzoek bij het Zuiveringschap Limburg. *Diatomededelingen* 21: 15-19.
- Foged N (1984) The diatom flora in springs in Jutland, Denmark (springs III). *Bibliotheca Diatomologica* 4. Cramer, Vaduz.
- Gaston KJ (1994) *Rarity*. Chapman and Hall, Londen.
- Gathmann FO, LL Manne en DD Williams (2009). Spatial patterns in insect community composition in coldwater springs. *Aquatic Ecology* 43: 501-512.
- Geraedts WHJM (1980) *Makrofaunaonderzoek van bronnen en beken in Swalmen: kwaliteit, typologie van bronnen, bedreigingen en beheersadviezen*. Verslag LH/Nb nr. 529.
- Gerecke R, F Stoch, C Meisch en I Schrankel (2005) Die Fauna der quellen und des hyporheischen interstitials in Luxemburg. *Ferrantia* 41: 1-140.
- Gesierich D en W Kofler (2010) Epilithic diatoms from rheocrene springs in the eastern Alps (Vorarlberg, Austria). *Diatom Research* 25: 43-66.
- Goldenberg Vilar A, JA Vonk, H van Dam, W Admiraal en HG van der Geest (2014) Typology of diatom communities in the Dutch delta: Recognizing patterns of environmental drivers in nutrient rich ditches. *Ecological Indicators* 45: 561-569.
- Goldenberg Vilar A, JA Vonk, H van Dam, W Admiraal en HG van der Geest (2014): Typology of diatom communities in the Dutch delta: Recognizing patterns of environmental drivers in nutrient rich ditches. *Ecological Indicators* 45: 561-569.
- Hammer O, DAT Harper en PD Ryan (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9p.
- Hendrix WPAM (1990) Bronnen in Zuid-Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 79(3/4): 50-63.
- Hendrix WPAM (2005) Zuid-Limburgse bronnen: tussen grond- en oppervlaktewater. *Natuurhistorisch Maandblad* 94: 238-242.
- Hill MO en P Šmilauer (2005) *TWINSPAN for Windows version 2.3*. Centre for Hydrology en University of South Bohemia, Huntingdon en Ceske Budejovice. 29p.
- Hill MO (1979) *TWINSPAN: a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification on the individuals and attributes*. Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca. 49p.
- Hill T en P Lewicki (2006) *Statistics: methods and applications, a comprehensive reference for science, industry and data mining*. StatsSoft, Tulsa. 832p.
- Hofmann G, M Werum M en H Lange-Bertalot (2010) Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Bestimmungsflora Kieselalgen für die ökologische Praxis. Gantner Verlag, Rugell.
- Hoffsten PO en B Malmqvist (2000) The macroinvertebrate fauna and hydrogeology of springs in central Sweden. *Hydrobiologia* 436: 91-104.
- Hustedt F (1939) Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra. III. Die ökologische Faktoren und ihr Einfluss auf die Diatomeenflora. *Archiv für Hydrobiologie*, Suppl. 16: 1-394.
- Hustedt F (1945) Diatomeen aus Seen und Quellgebieten der Balkan-Halbinsel. *Archiv für Hydrobiologie* 40: 867-973.
- IImonen J en L Paasivirta (2005) Benthic macrocrustaceans and insect assemblages in relation to spring habitat characteristics ; patterns in abundance and diversity. *Hydrobiologia* 533 : 99-113.

- Kelly M, C Bennett, M Coste, F Delmas, L Denys, L Ector, C Fauville, M Ferreol, M Golub, A Jarlman, M Kahlert, J Lucey, B Ni Chathain, I Pardo, P Pfister, J Picinska-Faltynowicz, C Schranz, J Schaumburg, J Tison, H van Dam en S Vilbaste (2007) *Central/Baltic GIG Phytobenthos Intercalibration Exercise. Final report.*
- Krammer K (2000) The genus *Pinnularia*. *Diatoms of Europe* 1. Gantner, Ruggell.
- Koperski P, E Dumnicka en J. Galas (2011). Abiotic parameters determining fauna composition in karstic springs. *Polish Journal of Ecology* 59: 153-163.
- Kroupalova V, J Bojkova, J Schenkova, P Paril en M. Horsak (2011) Small-Scale distribution of aquatic macroinvertebrates in two springs fens with different groundwater chemistry. *International Review of Hydrobiology*: 96: 235-256.
- Kuhn DL, JL Plafkin, J Cairns en RL Lowe (1981) Qualitative characterization of aquatic environments using diatom life-form strategies. *Transactions of the American Microscopical Society* 100: 165-182.
- Lange-Bertalot H (1993) 85 neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2(1-4). *Bibliotheca Diatomologica* 27. Cramer, Berlin.
- Lange-Bertalot H (1996) Rote Liste der limnischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) Deutschlands. In: G. Ludwig en M. Schnittler (Red.) Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28 : 633-677.
- Lencioni V, L Marziali en B Rossaro (2011) Diversity and distribution of chironomids (Diptera : Chironomidae) in pristine Alpine and pre-Alpine springs (northern Italy). *Journal of Limnology* 70 : 106-121.
- Maas FM (1959) Bronnen, bronbeken en bronbossen van Nederland, in het bijzonder die van de Veluwezoom: een plantensociologische en oecologische studie. *Mededelingen van de Landbouwhogeschool te Wageningen* 59(12): 1-166.
- MacArthur RH en EO Wilson (1967) *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Magurran AE (2008) *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Maiolini B, M Carolli en L Silveri (2011) Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in springs in trentino (south-eastern Alps). *Journal of Limnology* 70 : 122-133.
- Martin P en M Rückert (2011). Die Quellfauna Schleswig-Holsteins und ihre regionale stenotopie. *Faunistische-Ökologische Mitteilungen* 9: 171-224.
- Martin P en M Brunke (2012) Faunal typology of lowland springs in northern Germany. *Freshwater Science* 31: 542-562.
- Mori N en A Brancelj (2006) Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the southern limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). *Aquatic Ecology* 40: 69-83.
- Myrkä H, J Heino en T Muotka (2008) Concordance of stream macroinvertebrate assemblage classifications: How general are patterns from single-year surveys? *Biological conservation* 141: 1218-1223.
- Notenboom J, W Hendrix en AJ Folkerts (1996) Meiofauna assemblages discharged by springs from a phreatic aquifer system in the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 30: 1-13.
- Odum EP (1959) *Fundamentals of ecology* (2nd ed.). Saunders, Philadelphia.
- Pan Y en RL Lowe (1994) Independent and interactive effects of nutrients and grazers on benthic algal community structure. *Hydrobiologia* 291: 201-209.
- Passy SI (2007) Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171-178.
- Reichardt E (2011) Beitrag zur Diatomeenflora (Bacillariophyceae) des Paterzeller Eibenwaldes. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft* 81: 5-28.
- Rimet F en A Bouchez (2012): Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406: 1-14.

- Robert B (1998) *Quelltypische Köcherfliegen (Insecta: Trichoptera) in Nordrhein-Westfalen (Deutschland)*. In: Botosaneanu L (ed.) *Studies in Crenobiology*. Backhuys publishers, Leiden, the Netherlands.
- Round FE (1960) A note on the diatom flora of some springs in the Malharn Tarn area of Yorkshire. *Archiv für Protistenkunde* 104: 515-526.
- Sabater S en JR Roca (1992) Ecological and biogeographical aspects of diatom distribution in Pyrenean springs. *British phycological Journal* 27: 203-213.
- Schmedtje U en M Colling (1996) *Ökologische Typisierung der aquatischen Makrofauna*. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 4/96. Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, München.
- Shannon CE en W Weaver (1949) *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Shmida A en MV Wilson (1985) Biological determinants of species diversity. *Journal of Biogeography* 12: 1-20.
- Smith H en PJ Wood (2002) Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring systems. *Hydrobiologia* 487: 45-58.
- Smith H, PJ Wood en J Gunn (2003) the influence of habitat structure and flow permanence on invertebrate communities in karst spring systems. *Hydrobiologia* 510: 53-66.
- Spitale D en M Cantonati (2012a) Understanding the natural variability of diatom assemblages in springs of the Adamo-Brenta Nature Park (south-eastern Alps) on a temporal scale. *Fundamental and Applied Limnology* 179: 137-149.
- Spitale D, M Leira, N Angeli en M Cantonati (2012b) Environmental classification of springs of the Italian Alps and its consistency across multiple taxonomic groups. *Freshwater Science* 31 : 563-574.
- Spitale D (2012c) A comparative study of common and rare species in spring habitats. *Ecoscience* 19: 80-88.
- Spitale D, V Lencioni en M Cantonati (2012d) relative importance of space and time in determining the biotic structure in the upper part of spring-fed streams. *Freshwater Science* 31: 586-598.
- Stoch F, R Gerecke, V Pieri, G Rossetti en B Sambugar (2011) Exploring species distribution of spring meiofauna (Annelida, Acari, Crustacea) in the south-eastern Alps. *Journal of Limnology* 70 (1): 65-76.
- Taxböck L. (z.j.) *Artenvielfalt der Kieselalgen in naturnahen Schweizer Quellen*. [http://www.sanu.ch/uploads/kursDoc/6 Taxb%C3%B6ck Kieselalgen2.pdf](http://www.sanu.ch/uploads/kursDoc/6_Taxb%C3%B6ck_Kieselalgen2.pdf). Universität Zürich, AquaPlus.
- Ter Braak CJF en P Šmilauer (2002) *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)*. Biometris, Wageningen and České Budějovice. 500p.
- Ter Braak CJF en P Šmilauer (2012) *CANOCO reference manual and user's guide: software for ordination (version 5.0)*. Microcomputer Power, Ithaca. 496p.
- Van Dael G (1982) *Niet bij makrofauna alleen. Onderzoek van de makrofauna in bronnen en beken van het Mechelderbeekdal*. Verslag LH/Nb nr. 634. Wageningen
- Van Dam H en Mertens A (1995) Long-term changes of diatoms and chemistry in headwater streams polluted by atmospheric deposition of sulphur and nitrogen compounds. *Freshwater Biology* 34: 579-600.
- Van Dam H (1982) On the use of measures of structure and diversity in applied diatom ecology. *Nova Hedwigia*, Beiheft 73: 97-115.
- Van Dam H (2010) *Pilot stuurvariabelen waterkwaliteit en ecologie: op zoek naar ecologische stuurvariabelen in lijnvormige wateren van het Waterschap Rivierenland*. Rapport 907. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.

- Van Dam H (2012) *Fytobenthosmaatlaten voor beken en rivieren: typen R7, R8, R12-R18*. In opdracht van: Rijkswaterstaat Waterdienst. Rapport 1102.2. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.
- Van Dam H (2013) *Fytobenthosmaatlaten voor bronnen: typen R1 en R2*. In opdracht van: HaskoningDHV Nederland B.V. Rapport 1203:Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.
- Van Dam H, A Mertens en J Sinkeldam (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-131.
- Van Dam H, A Mertens en LM Janmaat (1993) *De invloed van atmosferische depositie op diatomeeën en chemische samenstelling van het water in sprengen, beken en bronnen*. IBN-rapport 52. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen.
- Van den Berg M (red), m.m.v., Baretta-Bekker H, R Bijkerk, H van Dam, T Ietswaart, J van der Molen en K Wolfstein (2004) *Achtergrondrapportage referenties en maatlaten fytoplankton*. Rapportage van de expertgroep fytoplankton. STOWA, Utrecht / RIZA, Lelystad.
- Van der Molen DT, R Pot, CHM Evers, R Buskens en FCJ van Herpen (red) (2013) *Referenties en maatlaten voor overige wateren (geen KRW-waterlichamen)*. Rapport 2013/14. STOWA, Amersfoort.
- Van der Ploeg MPM en CW Upperman (1982) *Bronnen in Vaals, macrofauna onderzoek*. Verslag LH/Nb nr. 643. Wageningen
- Van Katwijk MM en CJF Ter Braak (2008) *Handleiding voor het gebruik van multivariate analysetechnieken in de ecologie (versie 1.1)*. Afdeling Milieukunde, Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen / Afdeling Biometrics, Wageningen Universiteit en Research Centrum, Wageningen.
- Van Maanen B en T van Haaren (red.) (2010) *Geannoteerde standaardlijst van determinatieliteratuur voor Nederlandse aquatische macro-invertebraten*. WEW Themanummer 21. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer.
- Verberk WCEP, PFM Verdonschot, T van Haaren en B van Maanen (2012) *Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna*. WEW Themanummer 23. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer.
- Verdonschot P (2000) *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 1. Bronnen*. Achtergronddocument bij het 'Handboek Natuurdoeltypen in Nederland'. Rapport EC-LNV AS-01. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Verdonschot PFM en JA Schot (1987) *Macrofaunal community types in helocrene springs*. Jaarverslag RIN: 85-103.
- Verdonschot PFM, JA Schot en HG Mosterdijk (1996) *Bronnen in Noord- en Midden Limburg; ligging en globale karakterisering*. IBN-rapport 251. DLO instituut voor Bos- en Natuuronderzoek.
- Visser A, HP Broers en MFP Bierkens (2007) Demonstrating trend reversal in groundwater quality in relation to time of recharge determined by 3H/3He dating. *Environmental Pollution* 184: 797-807.
- Von Fumetti S, P Nagel, N Scheifhacken en B Baltes (2006) Factors governing macrozoobenthic assemblages in perennial springs in north-western Switzerland. *Hydrobiologia* 568 : 467-475.
- Warncke E (1980) Spring areas: ecology, vegetation, and comments on similarity coefficients applied to plant communities. *Holarctic Ecology* 3: 233-308.
- Werum M (2001) *Die Kieselalgenesellschaften in Quellen: Abhängigkeit von Geologie und anthropogener Beeinflussung in Hessen (Bundesrepublik Deutschland)*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- Werum M en H Lange-Bertalot (2004) Diatoms in springs from central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. *Iconographia Diatomologica* 13: 3-417. Gantner, Ruggell.

- Wojtal AZ en L Sobczyk (2012) The influence of substrates and physicochemical factors on the composition of diatom assemblages in karst springs and their applicability in water-quality assessment. *Hydrobiologia* 695: 97-108.
- Wojtal AZ (2013) Species composition and distribution of diatom assemblages in spring waters from various geological formations in southern Poland. *Bibliotheca Diatomologica* 59. J. Cramer, Stuttgart.
- Żelazna-Wieczorek J (2011) Diatom flora in springs of Łódź Hills (Central Poland). Biodiversity, taxonomy, and temporal changes of episammic diatom assemblages in springs affected by human impact. *Diatom Monographs* 13. Gantner Verlag, Ruggell.
- Zelinka M en P Marvan (1961) Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 389-407.

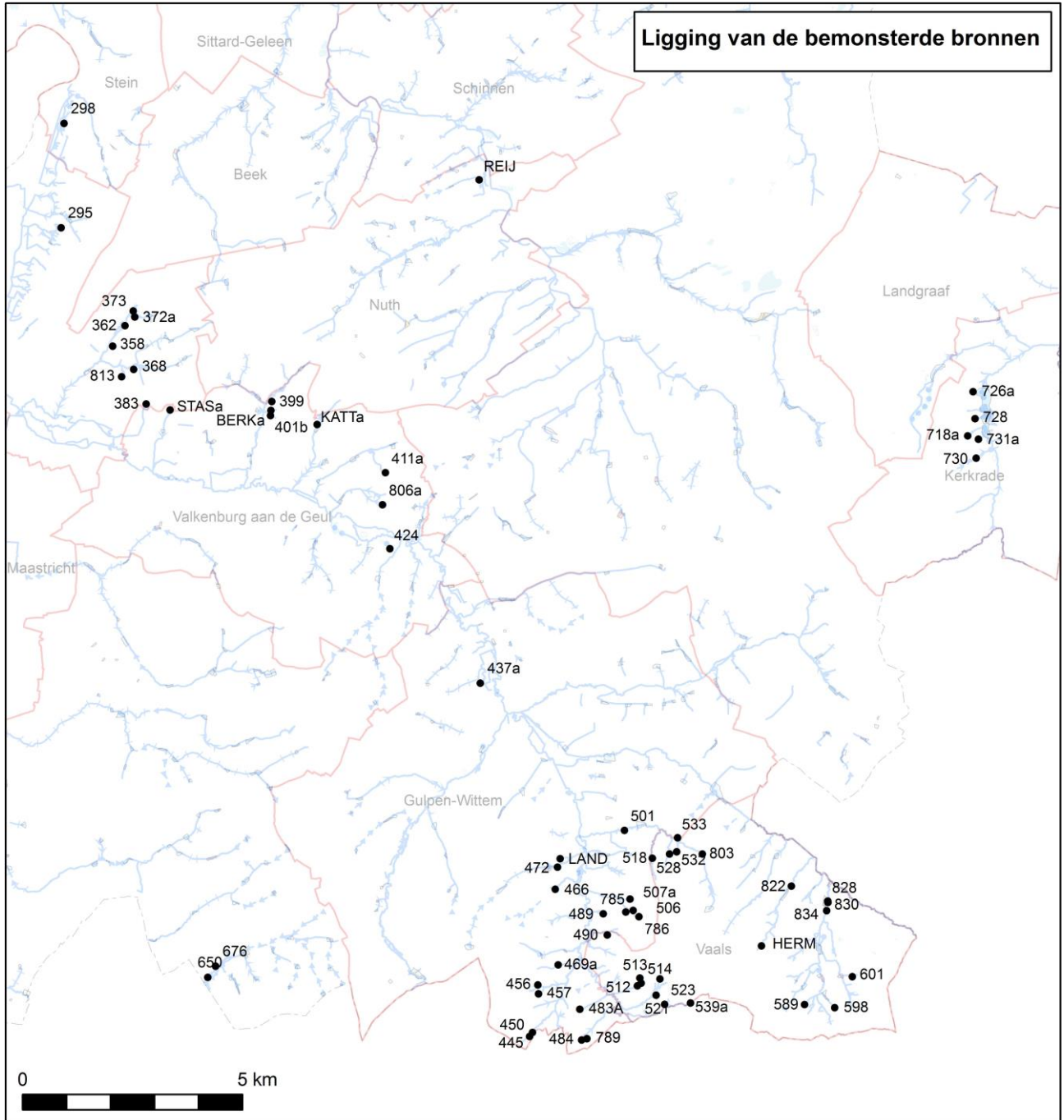
Bijlage 0 Milieuvariabelen

Alleen digitaal.

Bijlage 1 Monster- en locatie overzicht macrofauna en diatomeeën

Mp is een afkorting van de meetpuntcode, die in dit rapport wordt gebruikt. Ook worden hierin de verkorte locatienamen gebruikt. De kolom 'Telling' geeft het aantal getelde diatomeeënschaaltjes aan.

Meetpunt	Mp	Locatie	Locatie kort	X-coord	Y-coord	Datum macrofauna	Datum diatomeeën	Telling diatomeeën
OBRON0295	295	Voeding Roosbeek bron id 295	Voeding Roosbeek 295	180737	325660	30-03-09	30-03-09	328
OBROLO298	298	Hemelbeek zijtak 9.001UT bronloop id 298	Hemelbeek 298	180804	328035	30-03-09	30-03-09	328
OBRON0358	358	Vliekerwaterlossing zijtak 10.072T broncomplex id 358	Vliekerwaterlossing 358	181913	322962	13-04-11	13-04-11	200
OBRON0362	362	Vliekerwaterlossing zijtak 10.072L bron id 362	Vliekerwaterlossing 362	182190	323432	25-03-09	25-03-09	197
OBRON0368	368	Watervalderbeek zijtak 10.070L bron id 368	Watervalderbeek 368	182389	322435	18-04-11	14-04-11	200
OBRON0373	373	Vliekerwaterlossing zijtak 10.071D bron id 373	Vliekerwaterlossing 373	182378	323765	06-04-11	06-04-11	200
OBRON0383	383	Minderbeek zijtak 10.057D bron id 383	Minderbeek 383	182674	321642	11-04-12	11-04-12	200
OBRON0399	399	Strabekervloedgraaf zijtak 10.052RB bron id 399	Strabekervloedgraaf 399	185529	321699	16-04-12	16-04-12	200
OBRON0424	424	Genhoesbeek zijtak 10.043PD bron id 424	Genhoesbeek 424	188217	318346	26-03-12	26-03-12	200
OBRON0445	445	Terzieterbeek zijtak 10.006DA bron id 445	Terzieterbeek 445	191394	307244	19-04-10	27-04-10	200
OBROLO450	450	Terzieterbeek zijtak 10.006GG bronloop id 450	Terzieterbeek 450	191462	307336	23-03-09	23-03-09	332
OBRON0456	456	Fröschebron bron id 456	Fröschebron 456	191585	308417	13-04-10	13-04-10	200
OBRON0457	457	2e Zijtak Fröschebron zijtak 10.009AG bron id 457	Fröschebron 2e zijtak 457	191599	308211	13-04-10	13-04-10	200
OBRON0466	466	Nutbron zijtak 10.018ED 2 bronnen id 466	Nutbron 466	191981	310593	07-04-10	07-04-10	200
OBRON0472	472	Zijtak Landeus zijtak 10.023LM 2 bronnen id 472	Landeus zijtak 472	192029	311098	07-04-10	07-04-10	200
OBRON0484	484	Elzeveldlossing bron id 484	Elzeveldlossing 484	192586	307160	31-03-10	31-03-10	200
OBRON0489	489	Bommerigerbeek bron en loop id 489	Bommerigerbeek 489	193076	310037	22-04-09	22-04-09	203
OBRON0490	490	Mässel zijtak 10.015H bron id 490	Mässel 490	193167	309551	20-04-09	20-04-09	189
OBRON0501	501	Mechelderbeek zijtak 10.025RJ broncomplex id 501	Mechelderbeek 501	193559	311936	28-04-08	03-06-08	201
OBRON0506	506	Klitserbeek zijtak 10.017BE 2 bronnen id 506	Klitserbeek 506	193755	310114	22-04-09	27-04-09	200
OBRON0512	512	Belleterbeek 2e Zijtak bron id 512	Belleterbeek 512	193855	308396	15-04-09	23-04-09	182
OBRON0513	513	Belleterbeek bron id 513	Belleterbeek 513	193908	308571	15-04-09	23-04-09	202
OBRON0514	514	Belleterbeek 1e Zijtak bron id 514	Belleterbeek 514	193942	308458	15-04-09	23-04-09	203
OBRON0518	518	Hermansbeek zijtak 10.025FH bron id 518	Hermansbeek 518	194193	311302	23-04-08	23-04-08	344
OBRON0521	521	Bervesbergbeek zijtak 10.004FR bron id 521	Bervesbergbeek 521	194279	308185	08-04-09	08-04-09	200
OBRON0523	523	Cottesserbeek zijtak 10.002MG kwelzone bron id 523	Cottesserbeek 523	194472	307974	06-04-09	06-04-09	200
OBRON0528	528	Rottergrub zijtak 10.024LK bron id 528	Rottergrub 528	194586	311398	16-04-08	16-04-08	229
OBRON0532	532	Eikerbeek bron id 532	Eikerbeek 532	194748	311445	16-04-08	16-04-08	221
OBRON0533	533	Mechelderbeek zijtak 10.024IJ bron id 533	Mechelderbeek 533	194765	311768	16-04-08	16-04-08	205
OBRON0589	589	Meelenbroekbeek bron id 589	Meelenbroekbeek 589	197657	307969	06-03-08	06-03-08	224
OBRON0598	598	Wolfhagerbeek bron id 598	Wolfhagerbeek 598	198340	307896	06-03-08	06-03-08	200
OBRON0601	601	Aan de Esch zijtak 12.003H bron id 601	Aan de Esch 601	198744	308603	05-03-08	05-03-08	253
OBROLO650	650	Noor zijtak 15.003TA bronloop id 650	Noor 650	184075	308588	23-03-09	23-03-09	395
OBRON0676	676	Noor zijtak 15.003PH bron id 676	Noor 676	184252	308841	18-03-09	18-03-09	315
OBRON0728	728	Klooster-Anstelerbeek bron id 728	Klooster-Anstelerbeek 728	201534	321310	22-03-10	22-03-10	200
OBRON0730	730	Dentgenbacherbeek zijtak 18.003HH bron id 730	Dentgenbacherbeek 730	201562	320409	24-03-10	24-03-10	200
OBRON0785	785	Klitserbeek zijtak 10.017CF kwelmoeras bron id 785	Klitserbeek kwelmoeras 785	193589	310076	22-04-09	22-04-09	209
OBRON0786	786	Klitserbeek bron id 786	Klitserbeek 786	193890	309969	22-04-09	22-04-09	200
OBRON0789	789	Elzeveldlossing zijtak 10.003B bron id 789	Elzeveldlossing 789	192704	307192	31-03-10	31-03-10	200
OBRON0803	803	Bermetijnbron bron id 803	Bermetijnbron 803	195329	311397	08-04-08	08-04-08	399
OBRON0813	813	Maagdenbeek bron id 813	Maagdenbeek 813	182112	322266	18-04-11	14-04-11	200
OBRON0822	822	Hermansbeek zijtak 12.013PA bron id 822	Hermansbeek 822	197355	310667	02-04-08	02-04-08	346
OBRON0828	828	Zieversbeek zijtak 12.011PU bron id 828	Zieversbeek 828	198183	310324	31-03-08	31-03-08	378
OBRON0830	830	Zieversbeek zijtak 12.011PJ bron id 830	Zieversbeek 830	198190	310293	31-03-08	31-03-08	208
OBRON0834	834	Zieversbeek zijtak 12.011M bron id 834	Zieversbeek 834	198157	310106	13-03-08	13-03-08	223
OBROLO372a	372a	Vliekerwaterlossing zijtak 10.071K bronnen nabij id 372	Vliekerwaterlossing 372	182413	323628	06-04-11	06-04-11	200
OBROLO401b	401b	Berkenhofbeek zijtak nabij 10.053LU bronloop nabij id 401	Berkenhofbeek 401	185500	321381	01-04-09	01-04-09	233
OBRON0411a	411a	Losbrouckbeek zijtak van 10.047KF bron nabij id 411	Losbrouckbeek 411	188115	320077	28-03-12	28-03-12	200
OBRON0437a	437a	Onderzietlossing bron nabij id 437	Onderzietlossing 437	190275	315286	19-03-12	19-03-12	200
OBRON0469a	469a	Platergrub bron na id 469	Platergrub 469	192045	308875	13-04-10	13-04-10	200
OBRON0483A	483A	Tergraatbeek bron nabij id 483	Tergraatbeek 483	192541	307862	31-03-10	31-03-10	200
OBRON0507a	507a	Thienenbergbeek 6 bronnen-complex id 505 en 507	Thienenbergbeek 505, 507	193688	310369	27-04-09	27-04-09	71
OBRON0522A	522A	Bervesbergbeek bron ben. str. id 522	Bervesbergbeek 522	194365	308555	08-04-09	23-04-09	200
OBRON0539a	539a	Cottesserbeek bronnen id 537, 538, 539	Cottesserbeek 537-539	195060	308007	06-04-09	06-04-09	200
OBROLO718a	718a	Nieuw-Ehrensteinerbeek bronloop nabij id 718	Nieuw-Ehrensteinerbeek 718	201367	320917	22-03-10	22-03-10	200
OBRON0726a	726a	Anselderbeek zijtak 18.003UA bron na id 726	Anselderbeek 726	201492	321920	24-03-10	24-03-10	200
OBRON0731a	731a	Anselderbeek zijtak 18.003NA bron id 731 en 732	Anselderbeek 731, 732	201613	320842	22-03-10	22-03-10	200
OBRON0806a	806a	Schaesbergbeek zijtak 10.045UF bron nabij id 806	Schaesbergbeek 806	188048	319349	28-03-12	28-03-12	200
OBROLBERKA	BERKA	Berkenhofbeek zijtak 10.053LS kalkmoeras 2 bronloopjes	Berkenhofbeek kalkmoeras	185509	321497	16-04-12	16-04-12	200
OHERMO60	HERM	Hermansbeek ZO-bron	Hermansbeek ZO	196677	309306	02-04-08	02-04-08	369
OBRONKATTA	KATTA	Kattebeek zijtak bron	Kattebeek zijtak	186561	321175	19-04-12	19-04-12	200
OLAND100	LAND	Landeus na bronvijver	Landeus na bronvijver	192090	311290	07-04-10	07-04-10	200
OREIJ710	REIJ	Reijmersbekervloedgraaf zijtak 6,037HV	Reijmersbekervloedgraaf zijtak	190249	326749	16-11-09	16-11-09	274
OBROLSTASa	STASa	Stassenbeek bronloop hoofdloop	Stassenbeek hoofdloop	183215	321507	11-04-12	11-04-12	200



Bijlage 2 IPS (Indice de Polluosensitivité Spécifique)

In een uitvoerige studie van het fyto-benthos van de Maas en zijn zijrivieren heeft Descy (1979) met behulp van multivariate analysetechnieken vijf groepen van diatomeeën onderscheiden, die verschillen in hun gevoeligheid ten opzichte van vervuiling, vooral met organisch afbreekbaar materiaal. Hij publiceerde een lijst van ruim honderd soorten, waarin de soorten werden ingedeeld in een van deze groepen, met daarbij ook een indicatiegewicht, een getal (1, 2 of 3), dat aangeeft in welke mate de betreffende soort indicatief is voor zijn vervuilingsgraad.

Door M. Coste (in Cemagref 1982) is de index van Descy overgenomen en hij gebruikte de naam 'Indice de Polluosensitivité Spécifique' (IPS). Deze index heeft sterke correlaties met organische vervuiling (BOD, COD, totaal-stikstof en totaal-fosfaat), ionensterkte (chloride, sulfaat, geleidbaarheid) en eutrofiëring (chlorofyl, nitraat) (Prygiel en Coste 1993). Het is een van de meest gebruikte Europese indices. Daarvoor zijn verschillende redenen:

- van bijna alle taxa die in zoete wateren worden aangetroffen zijn indicatiewaarden bekend
- het is relatief eenvoudig om de klassengrenzen aan te passen, afhankelijk van regio en watertype
- de IPS heeft vooral in de van nature eutrofe wateren een goed onderscheidend vermogen (Kelly *et al.* 2007).

Voor de berekening van de IPS is er een lijst met taxa, waarin aan elke soort twee getallen zijn toegekend: een gevoeligheidsgetal (s) en een getal voor de indicatiewaarde (v). De gevoeligheid (s) kan elke waarde tussen 1 en 5 hebben en is te vergelijken met de saprobiegetallen uit oudere systemen (o.a. Zelinka en Marvan 1961, Sládeček 1973). De indicatiewaarde (v) is een gewichtsgetal met de waarden 1, 2 of 3. Soorten met een indicatiewaarde 3 hebben een nauwe ecologische amplitude en tellen daarom zwaarder dan soorten met een lagere indicatiewaarde.

De originele IPS_o is een getal tussen 1 en 5 en wordt berekend als een gewogen gemiddelde met een formule die is ontleend aan Pantle en Buck (1955):

$$IPS_o = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \times s_i \times v_i}{\sum_{i=1}^n a_i \times v_i}$$

waarin a_i , s_i en v_i respectievelijk de (relatieve) abundantie, gevoeligheid en indicatiewaarde van de i -de soort zijn en n het aantal soorten is waarvan de gevoeligheden en indicatiewaarden bekend zijn.

Vervolgens wordt de definitieve IPS berekend om een getal tussen 0 en 20 te krijgen, waardoor de IPS vergelijkbaar wordt met andere, vergelijkbare indices. Hiervoor wordt een formule van Eloranta en Kwandrans (1996) gebruikt:

$$IPS = 4,75 \times IPS_0 - 3,75$$

In de loop der jaren zijn door M. Coste aan vrijwel alle zoetwatertaxa uit het fyto bentos van de Europese wateren gevoeligheids- en indicatiewaarden toegekend. Deze zijn o.a. opgenomen in de database van het programma Omnidia (Lecointe *et al.* 1993). De database wordt nog steeds bijgewerkt.

Bijlage 3a Legenda ecologische indicatiewaarden diatomeeën

R pH	1	acidobiont	optimaal bij pH < 5,5		
	2	acidofiel	voornamelijk bij pH < 7		
	3	circumneutraal	voornamelijk bij pH ~ 7		
	4	alkalifiel	voornamelijk bij pH > 7		
	5	alkalibiont	uitsluitend bij pH > 7		
	6	indifferent	geen duidelijk pH-optimum		
H Zoutgehalte			Cl ⁻ (mg/l)	Saliniteit (‰)	
	1	zoet	< 100	< 0,2	
	2	zoetbrak	< 500	< 0,9	
	3	brakzoet	500 - 1000	0,9 - 1,8	
	4	brak	1000 - 5000	1,8 - 9,0	
N Stikstofopname	1	stikstofautotrofe soorten, tolerant voor zeer geringe concentraties organisch gebonden stikstof			
	2	stikstofautotrofe soorten, tolerant voor hogere concentraties organisch gebonden stikstof			
	3	facultatief stikstofheterotrofe soorten, hebben periodiek hogere concentraties organisch gebonden stikstof nodig			
	4	obligaat stikstofheterotrofe soorten, hebben voortdurend hogere concentraties organisch gebonden stikstof nodig			
O Zuurstofbehoefte	1	voortdurend hoog (ca 100% verzadiging)			
	2	vrij hoog (boven 75% verzadiging)			
	3	matig (boven 50% verzadiging)			
	4	laag (boven 30% verzadiging)			
	5	zeer laag (ca 10% verzadiging)			
S Saprobie			waterkwali- teitsklasse	O ₂ -verzadi- ging (%)	BOD ₅ ²⁰ (mg/l)
	1	oligosaproob	I, I-II	> 85	< 2
	2	β-mesosaproob	II	70- 85	2 - 4
	3	α-mesosaproob	III	25 - 70	4 -13
	4	α-meso-/ polysaproob	III-IV	10 - 25	13- 22
	5	polysaproob	IV	< 10	> 22
T Trofie	1	oligotrafent			
	2	oligo-mesotrafent			
	3	mesotrafent			
	4	meso-eutrafent			
	5	eutrafent			
	6	hypereutrafent			
	7	indifferent			

M	1	nooit of slechts zeer zelden buiten het water voorkomend
Vocht	2	voornamelijk in het water, maar soms ook op vochtige plaatsen voorkomend
	3	voornamelijk in het water, maar regelmatig ook op natte en vochtige plaatsen voorkomend
	4	voornamelijk op natte en vochtige of tijdelijk droogvallende plaatsen voorkomend
	5	bijna uitsluitend buiten het water voorkomend

Van Dam *et al.* (1994)

Bijlage 3b Legenda milieu- en habitatpreferenties macrofauna

Zuurgraad	zu	zuur (pH < 5)
	zwz	zwak zuur (pH tussen 4,5 en 6,5)
	ne	neutraal 9pH tussen 6 en 7,5)
	ba	basisch (pH > 7)
Stroomsnelheid	sti	stilstaand (< 5 cm/s)
	zls	zeer langzaam stromend (5-9 cm/s)
	ls	langzaam stromend (10-15 cm/s)
	ms	matig stromend (16-25 cm/s)
	ss	snel stromend (> 25 cm/s)
Substraat	kl	klei en leem
	za	zand
	gr	grind
	st	stenen
	sl	slib
	fd	fijne detritus
	gd	grove detritus
	ho	hout
	wp	waterplanten
	ov	overig
Saprobie	os	oligosaproob (< 0,1 mg NH ₄ /L; >8 mg O ₂ /L; < 1 mg BZV/L)
	bms	β-mesosaproob (0,1-0,5 mg NH ₄ /L; 6-8 mg O ₂ /L; 1-5 mg BZV/L)
	ams	α-mesosaproob (0,5-4,0 mg NH ₄ /L; 2-6 mg O ₂ /L; 5-13 mg BZV/L)
	ps	polysaproob (> 4,0 mg NH ₄ /L; < 2 mg O ₂ /L; > 13 mg BZV/L)
Trofie	ot	oligotroof (< 0,5 mg N/L; <0,01 mg P/L)
	mot	meso-oligotroof (0,5-1,0 mg N/L; 0,01-0,02 mg P/L)
	mt	mesotroof (1,0-1,6 mg N/L; 0,02-0,05 mg P/L)
	met	meso-eutroof (1,6-2,2 mg N/L; 0,05-0,15 mg P/L)
	eut	eutroof (> 2,2 mg N/L; >0,15 mg P/L)

Verberk *et al.* (2012)

Bijlage 4 Basisgegevens diatomeeën

Per taxon en per monster is de procentuele hoeveelheid vermeld (alleen digitaal).

Bijlage 5 Soorteigenschappen diatomeeën

Verklaring van de kolommen in de tekst van paragraaf 2.2.1 Een * achter de IPS-waarden betekent dat deze afwijken van die in Van Dam (2013). De taxa met een afkorting zijn gebruikt in de multivariate analyse.

Taxon	Afkorting	%abund. gemiddeld	aantal monsters	bijzondere soort	nieuwe soort NL	Rode Lijst	Bron-soort	Gilde (Rimet)	IPS (2015) IPS-s IPS-v	Indicatiewaarden (Van Dam e.a. 1994, aangevuld)						
										R	H	N	O	S	T	M
Achnanthes coarctata		0,01	1	ja				L	4,5 3	3	1	1	1	1	2	5
Achnantheidium affine	ACNAFFI	4,92	15	ja				L	5 1	3	4	2	1	2	7	3
Achnantheidium exiguum		0,01	1					L	3 2	4	2	2	1	2	7	3
Achnantheidium lineare	ACNALINA	0,72	8	ja				L	5 2 *	3	1	1	1	1	2	0
Achnantheidium minutissimum	ACNAMINU	14,79	51					L	5 1	3	2	2	1	2	7	3
Achnantheidium pyrenaicum		0,03	2	ja				L	5 1	4	2	2	1	2	3	0
Achnantheidium thermale	ACNATHER	0,11	4	ja				L	2 1	3	3	0	2	1	0	0
Adlafia bryophila	ADLABRYO	0,12	6	ja				M	5 2	3	1	1	1	1	3	5
Adlafia minuscula var. minuscula	ADLAMIMI	0,12	5	ja				M	3 1	4	1	0	0	2	1	4
Adlafia minuscula var. muralis		0,02	1					M	2 1	4	2	3	3	4	5	3
Adlafia suchlandtii		0,03	1	ja			Si	M	5 1	3	1	1	0	1	0	0
Amphora copulata	AMRACOPU	0,04	3					L	4 2	4	2	2	2	2	5	1
Amphora indistincta	AMRAINDI	1,83	23	ja			Si	L	5 1	0	0	0	0	0	2	0
Amphora ovalis		0,01	1					L	3 1	4	3	2	2	2	5	1
Amphora pediculus	AMRAPEDI	7,72	47					L	4 1	4	2	2	2	2	5	3
Caloneis alpestris		0,01	2	ja			Ca	M	5 3	4	2	1	1	1	3	3
Caloneis fontinalis	CANEFONT	1,18	34	ja	ja		Ca	M	4,8 1	4	2	1	2	2	4	2
Caloneis lauta		0,01	1	ja				M	5 1	0	1	1	1	1	1	0
Caloneis pulchra		0,02	2	ja				M	5 3	3	1	1	1	1	3	4
Caloneis silicula		0,02	3					M	4,5 1 *	4	2	1	2	1	4	1
Cocconeis pediculus	COONPEDI	0,36	6					L	4 2	4	3	2	2	2	5	1
Cocconeis placentula	COONPLAC	2,59	26					L	4 1	4	2	2	3	2	5	2
Cocconeis placentula var. pseudolineata	COONPLPS	1,02	12					L	5 1	4	2	0	0	0	0	0
Cocconeis pseudothumensis		0,01	1	ja		3		L	4 1	0	2	0	0	0	0	3
Craticula accomoda		0,02	1					M	1 3	4	2	4	5	5	6	2
Craticula minusculoides	CRTIMINU	0,05	1					M	2 2	0	2	4	4	4	5	2
Cymatopleura		0,02	2					M	4,1 2	0	0	0	0	0	0	0
Cymatopleura librile		0,02	3					M	4 2	4	2	2	3	2	5	1
Cymbella lange-bertalotii		0,02	1	ja				L	5 3	4	2	1	1	1	3	0
Cymboppleura austriaca	CYBOAUST	0,09	5	ja				H	5 3	4	2	1	1	1	1	4
Cymboppleura hercynica		0,02	1	ja				L	5 2	3	2	1	1	1	1	3
Denticula kuetingii		0,01	1					M	4 2	4	2	1	1	2	3	3
Denticula tenuis	DENTTENU	0,71	15					M	5 1 *	4	1	1	1	1	3	3
Diadmesis brekkaensis	DIADBREK	0,25	10					H	5 2	3	0	1	1	0	0	4
Diadmesis contenta	DIADCONT	0,11	6					H	4 1	4	2	2	1	2	7	4
Diadmesis contenta var. biceps		0,04	1	ja				H	4 1	4	2	2	1	2	7	4
Diadmesis gallica		0,01	1	ja				H	5 1	0	0	0	0	0	0	5
Diatoma moniliformis ssp. ovalis		0,02	1					H	5 1	0	3	0	0	0	0	0
Diploneis elliptica		0,03	2					H	5 2	4	2	1	1	1	3	3
Diploneis fontanella	DINEFONA	0,05	2	ja			Si	L	0 0	4	1	1	1	1	0	0
Diploneis fontium		0,02	1	ja			Si	L	0 0	3	1	1	1	1	0	0
Diploneis krammeri	DINEKRAM	0,24	11				Ca	H	4 2	3	1	1	1	1	3	4
Diploneis minuta	DINEMINU	0,17	7	ja				L	5 3	0	1	0	0	0	0	5
Diploneis oblongella	DINEOBLO	0,19	10	ja				L	4 2	4	2	1	1	1	0	4
Diploneis ovalis	DINEOVAL	0,49	12					L	4 2	4	2	1	1	1	1	4
Diploneis separanda	DINESEPA	0,22	10	ja	ja		Ca	L	5 2	4	2	1	1	1	0	4
Encyonopsis cesatii		0,02	1	ja				L	5 2	3	1	1	1	1	1	3
Encyonopsis falaisensis		0,02	1	ja				L	5 2	0	1	1	1	1	2	3
Eolimna minima	EOLIMINI	3,83	50					M	2,2 1 *	4	2	3	4	4	5	3
Eolimna subminuscula	EOLSUBM	0,05	1					M	2 1	4	2	4	4	4	5	3
Epithemia adnata		0,02	1					M	4 3	5	2	1	2	2	4	2
Epithemia turgida		0,03	1					M	5 2 *	5	2	1	2	2	4	3
Eucocconeis laevis		0,02	1	ja				L	5 2	3	1	1	1	1	1	3
Eunotia bilunaris		0,02	2					H	5 2 *	6	2	2	2	2	7	3
Eunotia botuliformis		0,02	1			2		H	5 1	2	1	1	0	0	0	0
Eunotia minor	EUTIMINO	0,07	3					H	4,6 1	2	1	0	0	1	2	4
Eunotia mucophila		0,02	1					H	1 3	2	2	2	2	1	2	4
Eunotia nymanniana [1]	EUTINYMN	0,06	1	ja		2		H	0 0	2	1	1	0	1	1	3
Eunotia soleirolii		0,01	1	ja				H	5 3	3	1	2	1	2	1	3
Eunotia sudetica		0,02	1	ja		2		H	5 3	2	1	1	1	1	2	3
Fallacia dissipatoides		0,03	2					M	3 2	5	0	0	0	0	0	3
Fallacia lange-bertalotii	FALLLABE	0,11	5	ja	ja		Ca	M	0 0	4	1	1	1	1	0	0
Fallacia lucinensis		0,02	1	ja				M	3 1	4	1	0	0	0	0	0
Fallacia monoculata		0,02	1					M	3 2	4	2	3	2	3	5	3
Fistulifera pelliculosa		0,03	1	ja				M	3 1	4	2	0	0	0	2	0
Fragilaria capucina [1]		0,01	1					H	4,5 1	3	2	0	0	2	3	0
Fragilaria recapitellata	FRAGRECA	0,97	2	ja				H	4 1	0	0	0	0	0	0	0
Fragilaria rumpens		0,01	1					H	4 1	3	2	0	0	2	7	0
Fragilaria vaucheriae		0,01	1					H	3,4 1	4	2	2	3	3	5	3
Frustulia vulgaris	FRUSVULG	0,19	18					H	4 3	4	2	2	1	2	4	3

Taxon		%abund. gemiddeld	aantal monsters	bijzondere soort	nieuwe soort NL	Rode Lijst	Bron- soort	Gilde (Rimet)	IPS (2015)		Indicatiewaarden (Van Dam e.a. 1994, aangevuld)							
									IPS-s	IPS-v	R	H	N	O	S	T	M	
Geissleria ignota		0,01	1	ja				M	3	2	4	1	0	0	0	0	4	
Gomphonema affine	GONEAFFI	0,39	9	ja				H	4	3	4	2	1	1	2	3	3	
Gomphonema angustatum	GONEANGU	0,95	21					H	3	1	3	2	0	0	0	4	0	
Gomphonema angustum [1]	GONEANGS	0,37	8	ja				Ca	H	5	1	4	2	1	1	1	0	
Gomphonema clavatum	GONECLAV	0,24	8					H	5	1	3	2	1	1	2	5	2	
Gomphonema micropus	GONEMIPU	3,80	31	ja				H	3	1	4	2	2	2	2	7	3	
Gomphonema minutum	GONEMINU	0,14	7					H	4	1	*	3	2	0	0	2	5	0
Gomphonema olivaceum		0,04	2					H	4,6	1	*	5	2	2	2	2	5	1
Gomphonema parvulum	GONEPARV	2,12	35					H	2	1	*	3	2	3	4	4	5	3
Gomphonema parvulum f. saprophilum	GONEPASA	0,22	7					H	2	1	3	2	0	0	5	6	0	
Gomphonema pseudoboheicum	GONEPSEU	0,07	1	ja				Si	H	5	1	2	1	0	0	0	0	0
Gomphonema pumilum	GONEPUMI	0,22	6					H	4,5	1	0	2	0	0	2	7	0	
Gomphonema pumilum var. rigidum		0,02	1					H	3,5	1	0	2	0	0	0	7	0	
Gomphonema sarcophagus		0,04	1	ja				H	3,2	2	4	2	0	0	2	7	3	
Gomphonema subclavatum	GONESUCL	0,68	15					H	5	1	0	0	0	0	1	0	0	
Gomphonema truncatum [1]		0,02	1					H	4	1	4	2	1	2	2	4	2	
Gomphonema utae		0,02	1					H	4,5	2	0	2	0	0	0	0	0	
Gomphosphenia fontinalis	GOHEFONT	0,20	2	ja	ja			Ca	H	2	3	4	1	0	0	3	5	0
Gyrosigma acuminatum		0,04	2					M	4	3	5	2	2	3	2	5	2	
Halamphora normanii	HALANORM	1,42	23					L	4,2	3	3	1	1	1	1	3	4	
Halamphora veneta		0,03	4					L	1	2	5	3	2	3	4	5	3	
Hantzschia abundans		0,01	1					M	1,2	2	0	3	0	0	0	0	5	
Hantzschia amphioxys	HANTAMPH	0,18	10					M	1,5	3	3	2	2	2	3	7	4	
Hantzschia calcifuga	HANTCALC	0,09	7	ja	ja			Si	M	0	0	2	1	0	0	1	1	0
Hippodonta costulata	HIPPICOST	0,09	6	ja				M	4	2	4	2	0	0	2	0	2	
Lemnicola hungarica		0,01	1					L	2	3	4	2	2	4	3	6	1	
Luticola mutica		0,03	1					M	2	2	3	3	2	1	3	5	4	
Mayamaea atomus	MAYAATOM	0,15	5					M	2,2	1	4	2	4	2	4	6	4	
Mayamaea fossilis	MAYAFOSS	0,05	3					M	3	2	3	2	2	1	2	0	4	
Meridion circulare	MEDICIRC	2,10	17	ja				Si	L	4,2	1	4	2	2	2	2	7	1
Navicula [1]		0,01	1					M	3,4	1	*	0	0	0	0	0	0	0
Navicula antonii		0,02	1					M	4	1	4	2	2	3	3	5	0	
Navicula brekkaensoides		0,02	1	ja				M	5	2	0	0	0	0	0	0	4	
Navicula cariocincta		0,03	2					M	5	1	0	2	0	0	0	0	0	
Navicula cincta	NAVICINC	0,29	11					M	3	1	4	3	2	3	3	5	4	
Navicula cryptocephala [1]	NAVICRYT	0,07	4					M	3,5	2	3	2	2	3	3	7	2	
Navicula gregaria	NAVIGREG	0,21	8					M	3,4	1	4	3	2	4	3	5	3	
Navicula kotschyi [1]		0,01	1	ja				Ca	M	3	3	4	2	0	1	1	0	4
Navicula lanceolata [1]	NAVILANC	0,14	5					M	3,8	1	4	3	2	3	3	5	3	
Navicula margalithii		0,01	1					M	2	3	0	3	0	0	0	0	2	
Navicula menisculus	NAVIMELU	0,11	6					M	4	1	*	4	2	2	3	5	2	
Navicula moenofranconica	NAVIMOEN	0,05	2	ja	ja	3	Löss	M	3,9	2	4	2	0	0	2	4	0	
Navicula muraloides	NAVIMURL	0,19	3	ja	ja			M	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
Navicula obsoleta	NAVIOBSO	0,05	1	ja				M	4	1	0	0	0	0	0	0	4	
Navicula radiosa [1]	NAVIRADO	0,05	3					M	5	2	3	2	2	2	2	4	3	
Navicula recens		0,04	3					M	2,8	2	4	3	0	0	3	5	3	
Navicula rhynchocephala [4]		0,02	1					M	4	3	0	0	0	0	0	0	0	
Navicula seibigiana	NAVISEIB	0,25	16	ja				M	3	1	0	2	0	0	0	0	0	
Navicula stesvicensis		0,01	2					M	3	3	4	3	2	2	2	5	3	
Navicula striolata	NAVISTRI	0,11	6	ja		3		M	5	3	5	2	0	0	0	0	2	
Navicula stroemii	NAVISTRO	0,28	7	ja		3	Ca	M	5	1	4	2	0	1	0	0	4	
Navicula tenelloides	NAVITELO	0,10	5	ja				M	3	2	4	2	1	1	1	5	4	
Navicula tripunctata	NAVITRIP	0,47	13					M	4,4	2	*	4	2	2	2	2	5	3
Navicula upsaliensis		0,02	1					M	4	2	4	2	0	0	2	5	0	
Navicula utermoehlii	NAVIUTER	0,13	2	ja				M	2,3	1	3	2	0	0	1	3	0	
Navicula veneta	NAVIVENE	0,05	4					M	1	2	*	4	3	2	4	4	5	3
Neidiomorpha binodiformis		0,01	1	ja				M	4	2	0	2	0	0	1	4	0	
Neidium dubium		0,01	1	ja				M	4	2	3	2	1	1	2	4	1	
Nitzschia acidoclinata	NITZACID	0,06	2	ja				M	5	1	3	1	1	1	2	3	3	
Nitzschia adamata	NITZADAM	0,07	5					M	2,8	2	4	2	3	4	5	6	2	
Nitzschia alpina	NITZALPI	0,06	3	ja				M	5	2	0	1	1	1	1	1	0	
Nitzschia amphibia	NITZAMPH	0,28	18					M	2	2	4	2	3	3	3	5	3	
Nitzschia angustiforaminata		0,02	2					M	1,5	2	4	2	0	0	3	6	1	
Nitzschia dissipata	NITZDISS	0,34	20					M	4	3	4	2	2	2	2	4	3	
Nitzschia dissipata var. media		0,02	2					M	4	3	4	2	0	0	0	0	0	
Nitzschia epithemoides var. disputata		0,01	1	ja				M	4	3	2	2	0	0	0	0	3	
Nitzschia frustulum	NITZFRUS	0,57	15					M	2	1	*	4	3	4	3	2	5	3
Nitzschia gessneri		0,03	1	ja		3		M	3	3	4	1	1	1	1	2	0	
Nitzschia hantzschiana		0,02	1	ja				M	5	2	3	1	1	1	1	3	4	
Nitzschia inconspicua	NITZINCO	0,08	4					M	2,8	1	4	3	3	3	3	5	3	

Taxon		%abund. gemiddeld	aantal monsters	bijzondere soort	nieuwe soort NL	Rode Lijst	Bron- soort	Gilde (Rimet)	IPS (2015) IPS-s IPS-v	Indicatiewaarden (Van Dam e.a. 1994, aangevuld)							
										R	H	N	O	S	T	M	
Nitzschia linearis	NITZLINE	0,91	49					M	3 2	4	2	2	2	2	4	3	
Nitzschia modesta		0,03	2	ja				M	5 2	0	0	0	0	0	0	5	
Nitzschia palea	NITZPAEA	0,24	7					M	1 3	3	2	4	4	5	6	3	
Nitzschia paleacea		0,01	2					M	2,5 1 *	4	2	4	3	3	5	2	
Nitzschia perminuta	NITZPERM	0,13	1	ja				M	4,5 1	4	2	1	1	1	2	3	
Nitzschia sublinearis	NITZSULI	0,09	3	ja				M	5 2	4	2	0	1	2	0	0	
Nitzschia vermicularis		0,01	1					M	4 1	4	2	0	1	2	7	2	
Pinnularia acuminata		0,00	1					M	5 3	3	2	0	1	1	1	3	
Pinnularia anglica		0,01	1					M	5 2	3	1	1	1	1	2	3	
Pinnularia castraregina		0,01	1	ja	ja			M	0 0	0	0	0	0	0	5	0	
Pinnularia frauenbergiana		0,04	2	ja	ja			M	0 0	0	0	0	0	0	0	4	
Pinnularia grunowii		0,01	1					M	0 0	6	2	2	3	2	4	1	
Pinnularia isselana		0,02	2	ja				M	0 0	0	1	0	0	0	1	3	
Pinnularia marchica		0,02	2	ja	ja			M	0 0	5	2	0	2	2	6	4	
Pinnularia nodosa	PINNUNODO	0,05	3	ja				M	5 2	2	1	1	1	1	1	3	
Pinnularia obscura	PINNOBSC	0,06	4	ja				M	3 1	3	2	1	1	1	0	4	
Pinnularia oriunda		0,02	1	ja				M	0 0	3	2	0	0	2	0	0	
Pinnularia peracuminata		0,02	1	ja				M	0 0	0	1	0	0	0	0	3	
Pinnularia perirrorata		0,01	1					M	5 2	2	1	1	1	1	2	4	
Pinnularia rupestris		0,01	1	ja				M	4,2 3	3	1	0	1	0	1	3	
Pinnularia subrupestris	PINNSURU	0,18	14	ja				M	4,5 2	2	1	0	1	0	1	0	
Pinnularia viridiformis		0,02	2					M	5 2	0	2	0	0	0	1	0	
Pinnularia viridis [1]	PINNVIRS	0,05	5	ja				M	4 2	3	2	2	3	2	7	3	
Placoneis gastrum		0,01	1	ja				M	5 2	4	2	2	2	2	5	1	
Placoneis paraelginensis	PLACPARA	0,10	8					M	4 1	4	2	0	0	0	5	0	
Placoneis placentula		0,02	2					M	4 2 *	4	2	2	2	2	5	1	
Planothidium dubium		0,01	1	ja				L	4 1	5	3	0	0	3	0	0	
Planothidium frequentissimum	PLNOFREQ	8,59	60					L	3,4 1 *	4	2	2	3	4	7	3	
Planothidium hauckianum	PLNOHAUC	0,07	3					L	2,8 2	5	2	0	0	0	1	0	
Planothidium lanceolatum	PLNOLANC	19,67	62					L	4,6 1	4	2	2	3	3	5	3	
Planothidium rostratum		0,02	1					L	4,4 1	3	2	0	0	0	7	3	
Platessa conspicua	PLTECONS	0,08	2					L	4 1	3	1	1	2	1	7	1	
Psammothidium altaicum		0,01	1	ja				L	5 2	2	1	2	1	1	3	3	
Psammothidium bioretii		0,01	1	ja				L	5 1	3	2	1	1	1	3	4	
Psammothidium daonense		0,01	1	ja				L	4,5 1 *	3	1	1	1	1	1	1	
Psammothidium helveticum		0,01	1	ja				L	5 2	4	1	2	2	1	3	3	
Psammothidium lauenburgianum	PSMMLAUN	0,56	15	ja				L	4,8 3	3	2	0	0	2	4	1	
Psammothidium subatomoides	PSMMSUBA	0,08	3	ja				L	5 1	2	1	1	1	1	2	1	
Reimeria sinuata	REIMSINU	0,98	23	ja				L	4,8 1 *	3	2	2	1	2	3	3	
Rhoicosphenia abbreviata	RHSPABBR	1,26	22					L	4 1	4	3	2	2	2	5	2	
Rossthidium peterseii		0,02	2	ja		3		L	5 2	3	1	1	1	1	1	0	
Sellaphora joubaudii	SELLIOUB	1,52	35					M	3 2	3	2	0	0	2	0	3	
Sellaphora laevisissima		0,01	1	ja				M	5 1	3	1	1	1	1	3	2	
Sellaphora pseudopupula		0,01	1					M	2 2	2	1	0	0	0	0	0	
Sellaphora pupula	SELLPUPU	0,14	10					M	2,6 2	3	2	2	3	3	4	2	
Sellaphora sardiniensis		0,02	1	ja				M	5 1	0	2	0	0	0	0	3	
Sellaphora seminulum	SELLSEMI	1,35	29					M	1,5 2	3	2	3	4	4	5	3	
Sellaphora vitabunda		0,01	1	ja		2		M	5 1	4	2	0	0	0	2	2	
Simonsenia delognei		0,03	1					M	3 2	0	3	0	1	3	5	3	
Stauroneis anceps [1]		0,02	3					M	5 3	3	2	2	2	2	4	2	
Stauroneis borrichii		0,01	1	ja				M	4,8 2	3	1	0	1	1	0	4	
Stauroneis kriegeri	STNEKRIE	0,14	7					M	4,8 2	3	2	2	2	2	4	3	
Stauroneis leguminopsis		0,01	1	ja				M	0 0	0	0	0	0	0	0	0	
Stauroneis muriella		0,02	1	ja				M	0 0	0	0	0	0	0	0	4	
Stauroneis parathermicola		0,03	1	ja	ja		Si	M	5 2	3	2	2	1	2	7	4	
Stauroneis reichardtii		0,01	1					M	0 0	0	2	0	0	0	0	0	
Stauroneis separanda	STNESEPA	0,15	9	ja			Ca	M	4 1	4	2	0	0	0	0	0	
Stauroneis smithii	STNESMIT	0,14	11					M	5 2	4	2	2	1	2	7	3	
Stauroneis thermicola	STNETHER	0,07	5				Si	M	5 1	3	2	2	1	2	7	4	
Staurosirella martyi		0,02	1					H	4 1	0	2	0	0	0	0	0	
Staurosirella pinnata var. intercedens		0,01	1					H	4 1	0	2	0	0	0	0	0	
Surirella		0,04	2					M	4 1 *	0	0	0	0	0	0	0	
Surirella amphioxys		0,02	1	ja				M	5 1	4	4	0	0	2	5	3	
Surirella angusta	SURIANGU	0,19	13					M	4 1	4	2	2	2	2	5	3	
Surirella brebissonii		0,03	4					M	3 2	4	3	0	0	0	5	0	
Surirella minuta	SURIMINU	0,30	9					M	3 1	4	2	0	3	3	5	3	
Surirella terricola		0,02	2	ja				M	3 1	3	0	0	0	0	0	5	
Tryblionella aerophila		0,01	1					M	3 2	0	2	0	0	0	0	4	
Tryblionella apiculata		0,01	2					M	2,4 2	4	4	2	3	3	5	2	
Tryblionella debilis		0,03	3					M	2 2	4	2	2	1	3	0	4	
Tryblionella littoralis		0,03	1					M	2 2	4	4	0	3	0	5	3	
Ulnaria danica	ULNADANI	0,05	3	ja				H	4 1	4	2	0	0	2	5	1	

Bijlage 6 Diatomeeën karakteristieken monsters

IPS15 = IPS met soortgegevens uit database 2015, %IPS15 = percentage abundantie met IPS-waarden taxa, nIPS15 = aantal taxa in berekening IPS15; IPSo = IPS met (deels verkeerde) soortgegevens uit oudere bestanden; Kwal. = kwaliteit (H = zeer goed, G = goed, M = matig), St = aantal taxa in telling, Dom = dominantiepercentage, Ntel = aantal schalen in telling,; R, H, N, O, S, T, M zie tekst paragraaf 2.2.1; H, L en M idem; zeld = aantal zeldzame taxa, nw = aantal taxa nieuw voor Nederland, RLt = aantal Rode-Lijst taxa, RL2 = aantal Rode-Lijst taxa klasse 2, RL3 = aantal Rode-Lijst taxa klasse 3, bron = aantal voor Limburg typerende bronsoorten, brSi = aantal voor Limburg typerende soorten kalkarme bronnen, brCa = aantal voor Limburg typerende soorten kalkrijke bronnen.

Mp	IPS Base 2015			Kwal.	IPS 2013 (oud)			Diversiteit			Indicatiewaarden										% abundantie met indicatiew.					Gilde			verspreidingskenmerken							
	IPS15	%IPS15	nIPS15		IPSo	%IPSo	nIPSo	St	Dom	Ntel	R	H	N	O	S	T	M	%R	%H	%N	%O	%S	%T	%M	H	L	M	zeld	nw	RLt	RL2	RL3	bron	brSi	brCa	
295	15,4	100,0	32	G	12,1	100,0	32	32	39	328	3,7	2,5	2,0	1,9	2,2	4,4	3,0	98	99	90	91	96	67	93	7	71	22	10	0	0	0	0	2	0	2	
298	15,5	100,0	21	H	10,8	100,0	21	21	38	328	3,4	2,8	2,0	1,9	2,3	4,9	2,9	100	100	99	99	99	61	100	24	65	11	6	1	0	0	0	2	0	2	
358	14,9	100,0	15	G	10,3	100,0	15	15	43	200	3,8	2,0	2,0	2,6	2,8	4,7	3,1	100	100	89	89	92	69	91	24	68	9	4	1	0	0	0	1	0	1	
362	16,5	95,9	20	H	14,3	95,9	20	21	25	197	3,4	1,9	1,8	1,9	2,0	4,0	2,8	90	96	70	70	84	52	75	11	61	28	7	2	0	0	0	2	1	1	
368	15,4	100,0	14	G	11,4	100,0	14	14	36	200	3,6	2,0	2,1	2,3	2,8	5,0	3,0	100	100	97	97	98	48	97	8	83	9	2	0	0	0	0	1	0	1	
373	15,1	93,5	20	G	14,8	93,5	20	21	35	200	3,6	1,8	1,9	1,7	2,3	3,5	2,9	42	51	34	34	42	37	34	48	39	14	11	4	0	0	0	6	2	4	
383	16,0	100,0	14	H	11,9	100,0	14	14	49	200	3,7	2,0	2,1	2,8	2,9	4,6	2,8	97	97	88	88	97	75	97	10	82	9	5	0	0	0	0	1	1	0	
399	18,1	99,5	24	H	17,3	99,5	24	25	29	200	3,3	1,7	1,6	1,5	1,9	2,9	3,1	95	96	88	88	91	57	65	15	79	7	15	2	1	0	1	4	2	2	
424	15,4	100,0	19	G	10,5	100,0	19	19	24	200	3,8	2,2	2,0	2,2	2,4	4,9	2,6	98	98	88	88	97	71	94	7	85	9	6	1	0	0	0	3	2	1	
445	16,5	100,0	35	H	13,7	100,0	35	35	30	200	3,5	2,0	1,9	1,8	2,2	3,7	3,0	86	86	79	80	87	49	77	18	57	26	15	2	1	0	1	8	2	6	
450	16,3	98,5	26	H	13,5	98,5	26	27	39	332	3,8	2,3	2,0	1,9	2,1	4,7	3,1	92	100	80	84	85	65	91	6	75	19	10	2	2	0	2	2	0	2	
456	14,1	99,0	25	G	12,7	99,0	25	26	28	200	3,7	1,9	2,1	2,5	2,5	4,5	2,8	91	93	82	82	93	70	90	12	58	30	8	1	0	0	0	4	2	2	
457	16,3	100,0	21	H	12,1	100,0	21	21	26	200	3,7	2,1	2,1	2,2	2,5	4,8	2,7	99	99	94	98	100	50	95	2	84	14	5	0	0	0	0	2	2	0	
466	14,1	100,0	18	G	13,1	100,0	18	18	35	200	3,5	2,0	2,1	2,3	2,6	4,5	3,0	99	99	92	93	98	57	94	6	70	24	5	1	0	0	0	4	1	3	
472	16,1	97,0	24	H	14,3	97,0	24	26	22	200	3,5	1,9	1,8	2,0	2,1	3,4	3,1	68	68	57	59	72	64	67	13	57	30	11	3	1	0	1	6	1	5	
484	12,8	98,5	20	G	7,1	98,5	20	21	26	200	3,4	2,0	2,2	2,2	2,6	4,0	3,1	99	99	84	84	100	30	95	12	56	33	5	1	0	0	0	2	1	1	
489	11,0	100,0	19	M	7,9	100,0	19	19	23	203	3,6	2,0	2,4	2,6	3,0	5,1	3,0	96	99	90	96	99	66	100	3	59	38	2	0	0	0	0	0	0	0	0
490	15,0	100,0	26	G	9,2	100,0	26	26	21	189	3,6	2,0	2,1	2,2	2,6	4,9	3,0	96	99	92	92	98	68	93	15	67	19	4	1	0	0	0	1	0	1	
501	15,5	100,0	20	H	8,1	100,0	20	20	40	201	3,9	2,1	2,0	2,3	2,7	4,9	3,0	100	99	97	97	98	64	99	4	78	18	3	0	0	0	0	0	0	0	0
506	16,1	92,5	26	H	9,8	92,5	26	31	19	200	3,6	1,8	1,9	2,3	2,6	4,2	3,1	97	95	92	86	93	57	94	14	69	17	14	2	1	1	0	4	3	1	
512	16,8	98,4	22	H	15,1	98,4	22	23	29	182	3,6	2,0	1,9	1,7	2,0	4,3	2,9	96	96	86	86	93	54	81	12	71	17	7	2	0	0	0	4	0	4	
513	14,2	99,0	22	G	11,4	99,0	22	23	25	202	3,9	2,0	2,0	2,5	2,3	4,5	2,5	100	100	93	94	100	90	100	5	69	25	5	1	0	0	0	1	1	0	
514	15,9	100,0	12	H	10,3	100,0	12	12	25	203	3,7	2,1	2,0	2,2	2,6	4,8	2,8	100	100	98	98	100	60	100	5	87	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0
518	15,1	100,0	18	G	10,3	100,0	18	18	24	344	3,7	2,4	2,1	2,2	2,4	4,9	2,7	100	100	97	97	97	72	97	6	78	17	5	0	1	0	1	1	1	0	
521	16,9	100,0	20	H	13,7	100,0	20	20	28	200	3,7	2,1	2,0	1,9	2,2	4,5	2,8	99	100	67	68	72	44	71	4	82	15	5	1	0	0	0	0	0	0	0
523	14,5	99,5	17	G	10,3	99,5	17	18	34	200	3,5	2,1	2,2	2,0	2,6	4,2	3,0	100	100	97	99	98	40	97	28	55	18	6	3	0	0	0	3	1	2	
528	15,9	100,0	22	H	14,6	100,0	22	22	46	229	3,4	2,0	2,0	1,6	2,5	4,5	2,9	100	100	87	87	92	39	93	7	74	20	5	1	1	0	1	2	1	1	
532	15,4	100,0	28	G	14,2	100,0	28	28	30	221	3,5	1,8	1,8	1,6	2,1	4,0	3,0	99	100	92	93	98	56	99	10	62	29	6	0	2	0	2	0	0	0	0
533	16,5	100,0	26	H	14,7	100,0	26	26	36	205	3,7	2,0	2,0	2,1	2,5	4,7	2,8	99	100	91	91	94	65	94	12	77	11	7	0	1	0	1	1	1	0	
589	14,2	100,0	19	G	6,3	100,0	19	19	37	224	3,9	2,0	2,0	2,8	3,3	4,8	2,9	100	100	98	98	100	61	98	6	77	17	3	1	0	0	0	2	1	1	
598	13,7	99,5	25	G	10,8	99,5	25	26	28	200	3,7	2,0	1,9	2,3	2,6	4,3	3,1	97	97	91	91	95	67	96	6	69	25	8	1	0	0	0	2	1	1	
601	14,0	100,0	7	G	4,1	100,0	7	7	36	253	3,9	2,0	2,2	3,0	3,7	4,7	2,9	100	100	100	100	100	65	100	1	78	21	2	0	0	0	0	2	2	0	
650	13,3	100,0	23	G	6,2	100,0	23	23	25	395	3,5	2,4	2,3	2,7	3,1	4,9	3,0	99	100	96	96	99	70	96	29	49	22	4	1	0	0	1	0	1	0	
676	15,7	100,0	20	H	11,7	100,0	20	20	49	315	3,4	3,0	2,2	1,8	2,3	4,9	3,0	100	100	96	97	100	44	99	10	79	11	5	1	0	0	0	0	1	0	1
728	15,5	98,5	22	H	10,0	98,5	22	24	24	200	3,7	2,0	2,1	2,2	2,6	4,2	3,0	88	88	85	85	88	52	83	11	73	17	10	4	2	0	2	6	3	2	
730	15,4	98,5	18	G	14,6	98,5	18	20	31	200	3,7	2,0	2,0	2,1	2,4	4,7	3,0	97	97	93	93	96	41	94	30	58	13	9	3	1	1	0	5	1	4	
785	15,8	100,0	14	H	9,9	100,0	14	14	43	209	3,6	2,0	2,1	2,5	2,9	4,8	3,0	99	100	95	95	98	53	98	6	85	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0
786	15,3	100,0	6	G	10,5	100,0	6	6	49	200	3,9	2,0	2,1	2,6	2,8	4,9	3,0	100	100	98	100	98	54	98	24	72	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
789	14,6	97,5	14	G	12,6	97,5	14	16	47	200	3,9	2,0	2,0	2,5	2,6	4,9	3,0	100	99	99	99	99	53	98	35	58	8	4	2	0	0	0	2	1	1	
803	16,5	100,0	21	H	13,5	100,0	21	21	40	399	3,5	2,8	2,0	1,7	2,1	3,9	2,7	98	99	93	95	97	36	99	1	66	33	10	1	1	0	1	3	1	2	
813	14,1	100,0	22	G	10,6	100,0	22	22	20	200	3,6	2,0	2,1	2,5	2,7	4,6	3,0	99	99	79	82	80	76	80	31	52	17	7	1	1	0	1	4	1	3	
822	14,8	99,7	18	G	7,2	99,7	18	19	38	346	3,8	2,2	2,1	2,8	3,2	4,9	3,0	100	100	97	97	100	60	98	3	75	22	6	1	1	0	1	0	0	0	0
828	13,8	100,0	30	G	7,1	100,0	30	30	30	378	3,8	2,0	2,1	2,8	3,2	4,6	3,1	95	98	91	95	93	65	96	4	59	37	8	0	0	0	0	1	1	0	0
830	13,6	100,0	31	G	8,0	100,0	31	31																												

Bijlage 7 Correlaties diatomeeën- en macrofaunakaracteristieken met milieuvariabelen

Diatomeeën: Significanties: rood $p < 0,001$, oranje $p < 0,01$, geel $p < 0,05$

Variabele	Afkortng	Kwal. IP515	Ecologische indicatiewaarden						Diversiteit St Dom	Verspreiding					Gilde								
			R	H	N	O	S	T		M	zeldz	nw	RLt	RL2	RL3	bron	brSi	brCa	Hp	Mp	Lp		
Temperatuur water	T		-,03	,09	-,11	,19	,12	,10	,12	-,17	-,07	-,25	-,10	-,15	-,08	,14	-,13	-,09	,10	-,22	-,09	-,03	,07
Zuurgraad	pH		-,15	-,27	,23	,05	-,28	-,25	,02	,11	,16	,03	,17	,22	-,19	-,07	-,21	,17	-,09	,31	-,17	-,04	-,08
Aciditeit	Aci		-,24	-,35	-,17	-,11	-,21	,07	,09	-,15	,08	-,12	-,11	-,13	,12	-,13	,19	-,14	,10	-,23	-,10	,17	-,09
Alkaliteit	Alk		,32	-,26	-,02	-,20	-,41	-,43	-,12	-,16	,16	-,09	,23	-,29	,19	,03	,23	,32	,22	,33	-,35	,06	-,06
Geleidendheid	EGV		-,40	-,44	-,12	-,31	-,53	-,51	-,33	-,09	,10	,03	,24	,17	,05	,01	,09	,30	,11	-,38	-,24	-,21	,17
Zwevende stof	ZS		,23	-,14	-,01	-,06	-,07	,03	,09	-,37	-,11	,13	-,19	-,07	-,10	,13	-,16	-,16	-,21	-,05	,15	-,32	,19
Ammonium-stikstof	NH4		-,05	-,11	,10	,09	-,08	-,09	,11	-,04	-,01	-,03	-,17	,07	,00	,12	-,04	-,05	-,25	,13	,15	,02	-,15
Oxidatievermogen	OXV		-,39	-,43	-,02	-,20	-,37	-,27	-,07	-,10	-,15	,23	,04	,14	,10	-,19	,16	,08	-,01	,16	,26	,22	,11
Nitraat-stikstof	NO3		-,31	-,35	,09	-,16	-,30	-,23	-,02	-,18	-,15	,16	-,01	,12	,04	-,18	,11	,03	-,08	,13	,17	-,26	,10
Stikstof-totaal	IN		-,29	-,35	,09	-,13	-,28	-,21	,00	-,16	-,17	,18	-,03	,13	,02	-,21	,08	,03	-,08	,13	,19	-,22	,09
Ortho-fosfaat	oP		-,19	-,12	-,30	-,17	,08	-,04	-,13	,02	,16	-,19	-,06	,00	,04	-,08	,03	-,12	-,05	-,14	-,17	-,30	-,23
Fosfaat-totaal	tP		-,33	-,28	-,06	,01	,29	-,21	,12	,19	-,02	-,14	-,23	-,15	-,10	-,20	-,05	-,31	-,22	-,26	-,32	,23	-,09
N/P-verhouding	N/P		-,40	-,40	-,11	-,10	-,39	-,32	-,12	-,27	-,06	,19	,17	,16	-,05	-,04	,09	,22	,09	,26	,30	-,26	,12
Ionenverhouding (IR)	IR		-,11	,04	,04	,22	,10	,02	,05	,07	,15	-,23	,03	,15	-,03	,09	-,06	,07	,03	,05	-,06	,24	-,11
Bicarbonaat	HCO3		-,31	-,34	-,23	-,27	-,48	-,47	-,24	,04	,22	-,04	,25	-,33	,15	,07	,18	-,36	,14	-,46	-,21	,03	-,02
Sulfaat	SO4		-,33	-,38	-,18	-,18	-,31	-,21	-,18	,02	-,07	,23	,15	,08	,10	-,14	,15	,13	,07	,15	,21	,21	,09
Chloride	Cl		-,25	-,34	-,11	-,27	-,34	-,27	-,18	,06	-,04	,17	,11	,02	-,01	-,07	,04	,10	,01	,18	-,17	-,24	,11
Calcium	Ca		-,37	-,49	-,12	-,24	-,52	-,51	-,22	,00	,13	,05	,21	,30	-,02	,01	,00	,32	,03	-,47	-,28	-,17	,08
Kalkverzadiging	KVA		,22	-,37	-,11	-,05	-,40	-,37	-,08	,10	,21	,01	,25	-,32	-,12	-,02	-,12	-,29	-,02	-,45	-,23	-,06	-,05
Kalium	K		-,14	-,09	-,09	,06	-,09	-,01	-,06	,04	-,08	,15	,07	,26	-,20	,13	,15	,26	,10	-,30	,10	-,05	,08
Magnesium	Mg		-,31	-,33	-,16	-,31	-,29	-,20	-,11	,12	-,18	,24	,09	,18	-,14	,00	,13	,20	,04	,27	,25	-,35	,16
Natrium	Na		,22	-,27	,15	-,23	-,27	-,19	-,10	,13	-,14	,17	,01	,00	-,21	-,02	-,21	,09	,02	,14	,25	-,36	,14
Beschaduwng	SCH		,04	-,17	,04	-,07	,05	,06	-,07	-,45	,14	,16	,15	-,03	-,09	-,05	-,11	-,03	-,18	,07	-,05	,05	,02
Bodemtype klei/leem	BoKL		-,19	-,10	-,11	,10	,11	,23	,12	-,31	,16	,07	-,07	,10	-,03	,12	-,06	,13	,09	,09	-,04	-,12	-,03
Bodemtype zand	BoZA		,10	-,05	,02	-,14	-,07	-,10	-,17	-,05	,11	-,26	,18	-,10	,15	,14	,12	-,13	-,09	-,12	-,04	-,09	-,04
Kwelindicatie IJzer aanwezig	Kwel		-,27	-,01	-,16	,18	,14	,24	,01	,08	-,08	,23	-,11	-,09	-,25	-,09	-,24	-,08	,06	-,16	,00	,01	-,06
Meandering	Mea		-,30	-,33	-,12	,09	-,38	-,37	,18	,16	,13	,15	-,11	-,06	-,02	,03	-,02	-,18	-,26	-,05	-,21	,18	-,03
Stromingsvariatie	StrV		-,15	,08	,17	,07	,02	-,06	-,18	,10	-,33	-,23	,22	-,18	-,20	-,09	,23	-,10	-,16	-,05	-,31	-,44	-,19
Stroomsnelheid	v		-,38	,18	,05	,27	,23	,15	-,05	-,23	-,35	-,29	,20	-,05	-,28	,08	-,29	,02	,14	-,10	-,26	-,61	-,32
Rheokreen	Rheo		-,13	-,02	,10	-,07	-,04	-,10	-,18	,08	-,08	-,16	,02	-,08	-,11	-,04	-,11	,06	-,09	-,16	-,09	-,16	-,06
Helokreen	Helo		-,31	-,24	-,11	-,19	-,23	-,12	-,01	,05	-,13	,02	-,06	-,13	-,01	-,09	,01	-,17	-,01	-,24	,03	-,22	,25
Limnokreen	Limno		-,09	,11	,17	,11	,19	,22	,16	,06	-,09	,09	,00	,05	,22	-,03	,23	-,21	-,16	-,17	-,19	,08	,03
Akrokreen	Akro		-,18	,18	,17	,20	,22	,18	-,20	-,03	,13	-,25	-,01	-,06	,23	,12	,21	,06	-,01	-,09	-,02	-,24	-,20
Kunstmatig of artesisch	Arte		-,26	,22	-,15	-,04	,15	,07	-,09	-,11	-,02	,05	,12	-,29	-,16	-,06	-,15	,19	,22	,11	,18	,06	-,28
Bronloop	Loop		,06	-,07	-,32	,06	-,13	-,11	,06	-,15	-,04	,20	-,01	-,10	-,07	-,08	-,05	,01	-,16	,13	,17	-,14	-,01
Kalktufsteenbron	Tuf		,09	-,13	-,36	-,11	-,27	-,30	-,24	,05	,13	-,22	,22	,21	,23	,13	,25	,27	,31	,17	,18	-,05	-,05
Afvoer	Afv		-,26	,05	-,08	,00	-,07	-,23	-,39	,18	-,34	-,32	-,30	,06	-,35	,10	-,37	,17	,17	,11	-,18	-,53	-,30
Waterbreedte	Wb		,09	-,20	-,07	,00	-,22	-,29	-,28	-,40	,12	-,20	,24	,04	-,11	-,07	-,08	,24	-,28	,10	,15	-,08	-,14
Waterdiepte	Wd		-,21	-,46	,07	,09	-,28	,11	-,11	-,27	-,05	,09	-,11	-,10	,01	-,26	,06	-,07	,06	-,18	-,27	,09	,02
Graasdruk	Graas		-,18	-,05	,12	,06	-,10	-,15	-,15	-,22	-,35	-,25	,18	,01	-,31	,19	-,29	-,02	-,04	-,01	-,26	-,59	-,26
Windgevoeligheid	Wi		-,20	,16	-,12	,00	,02	,03	,02	-,31	-,17	-,08	-,14	-,01	,08	,02	,10	,07	,23	,10	-,29	-,09	-,06
Zichtbare vervuiling (Water)planten	Zver		-,02	,01	,10	,03	-,13	-,14	-,11	,02	,16	,00	,06	-,06	-,14	-,10	-,12	-,02	-,03	,05	,01	-,01	,03
Anders (Vuilstort: glas ect, ijzeroker)	SuPI		-,23	,24	,01	,12	,23	,24	,30	,09	-,25	,03	-,28	-,14	-,03	-,11	-,01	-,10	,09	-,26	-,10	,16	,21
Beton/tegelbekleding	SuVG		,01	,11	-,17	-,06	-,03	-,05	,16	-,22	-,09	-,15	,00	,05	-,08	-,03	,07	,13	,18	,01	-,03	-,14	,20
Boomwortels	SuBe		,13	-,02	-,28	-,09	-,16	-,16	-,01	-,30	-,07	-,02	,11	,07	,10	-,04	,11	,18	,16	,11	-,18	,04	,09
Fijn grind	SuWo		,00	,06	-,23	-,08	-,13	,17	-,09	-,08	,12	-,08	,09	,15	-,02	,30	,16	,21	,25	,09	,00	,07	,03
Fijne detritus	SuGF		-,04	,00	-,11	-,09	-,18	-,26	-,30	,19	,23	-,34	,26	-,04	,20	,16	,20	,15	,20	,08	,12	-,21	-,06
Grof grind	SuDF		,19	,01	-,22	-,22	-,02	,05	,00	-,38	-,22	-,38	-,05	,20	-,03	,06	-,05	,05	-,03	,12	,17	-,31	,10
grove detritus	SuGG		-,01	-,04	-,02	-,01	-,11	-,23	-,31	-,34	,13	-,31	,15	-,13	,10	,05	,08	,16	,23	,02	-,17	-,20	-,06
Hout	SuDG		-,06	,00	-,32	,02	,20	-,33	,07	-,40	-,12	-,18	-,15	-,05	-,12	,01	-,14	-,14	-,11	-,12	,04	-,06	,00
Kalktufsteen	SuHo		,24	-,17	-,23	,14	-,09	,06	,11	,05	,06	,13	,02	-,02	,01	,20	-,05	-,10	-,19	,01	,10	-,23	,18
Klei/leem	SuKa		-,29	-,40	-,32	-,11	-,43	-,42	-,08	,01	,07	,09	,13	,19	-,04	-,10	-,02	,10	-,15	-,29	-,22	-,19	,05
Mos	SuKL		-,16	,18	,01	,25	,35	,44	,21	,08	-,09	,19	-,24	,00	-,14	-,12	-,12	,06	,11	-,01	-,12	-,11	-,01
Slib	SuMo		,26	-,33	,05	-,24	-,39	-,49	-,32	,01	,18	-,10	-,38	-,42	,20	,14	,15	-,41	,10	-,54	-,33	,08	-,33
Steen	SuSI		-,07	,13	-,17	,05	,14	-,17	,16	,19	-,36	-,44	-,32	-,15	-,22	-,08	-,21	-,14	-,11	-,13	,12	-,27	,04
Zand	SuSt		-,08	-,15	,10	,06	-,16	-,29	-,25	-,47	,20	-,32	,13	,00	,03	-,13	,08	,14	,11	,12	-,04	-,28	-,17
Aantal substraten	SuZa		,10	,02	-,05	-,10	,00	-,02	-,15	-,05	,20	-,38	,20	-,15	,20	,21	,17	-,18	,00	-,22	-,04	-,11	-,01
Habitatdiversiteit (15)	SuAn		-,19	-,26	,02	-,09	-,31	-,29	-,35	,18	-,34	-,35	-,34	,10	,22	,20	,18	-,28	,23	,20	,01	,07	,03
Habitatdiversiteit (6)	SH15		,24	-,27	,02	-,16	-,32	-,38	-,34	,22	,13	-,16	,19	,11	,14	,07	,10	-,29	,16	,26	,00	,01	,03
Fijn mineraal	Sh6		,20	-,33	,22	-,09	-,41	-,53	-,24	-,33	,17	-,26	,21	,08	,14	-,04	,15	,22	,04	,26	-,05	,10	,03
Grof mineraal	SCFM		-,15	,18	-,01	,22	,39	-,46	,14	,11	,13	-,21	-,04	-,12	-,01	,08	-,02	-,17	,01	-,21	-,05	,19	-,05
Vast mineraal	SCGM		-,01	-,03	-,08	-,08	-,15	-,26	-,35	-,29	,18	-,32	,25	-,06	,18	,12	,17	,20	,25	,08	-,16	,23	-,09
Organisch dood	SCVM		,10	-,29	-,33	-,01	-,37	-,47	-,15	-,35	,20	-,18	,20	,18	,08	,15	,13	,17	-,01	-,28	,05	,12	-,06
Organisch levend	SCOD		,05	,02	-,26	-,06	-,13	-,26	,07	-,39	-,19	-,33	-,15	,07	-,12	,04	-,15	-,11	-,12	-,06	,10	-,22	,07
Overig	SCOL		,09	-,02	-,19	-,13	-,13	-,18	,07	-,11	-,11	,05	,03	,18	,14	,00	,12						

Macrofauna: Significanties: rood p < 0,001, oranje p < 0,01, geel p < 0,05

Variabele	Afkorting	Kwal.	Ecol. Indicatoren			Divers.	Verspr.
		EKR	nPos	nNeg	nKen	nTot	nZeldz
Temperatuur water	T	,10	,25	-,02	,03	,07	,09
Zuurstofverzadiging	O2%	,10	-,07	-,15	,02	-,02	,02
Zuurgraad	pH	,09	-,21	-,02	,27	,13	,25
Aciditeit	Aci	-,06	,17	,08	-,21	-,19	-,22
Alkaliteit	Alk	,32	-,01	-,13	,14	-,04	,08
Geleidendheid	EGV	,34	-,16	-,30	-,02	-,23	-,10
Zwevende stof	ZS	-,35	-,20	,31	-,02	,03	-,14
Ammonium-stikstof	NH4	-,07	,16	,17	,39	,41	,45
Nitraat-stikstof	NO3	,28	-,06	-,32	,01	-,17	-,05
Stikstof-totaal	tN	,29	-,10	-,31	,01	-,18	-,05
Ortho-fosfaat	oP	-,03	-,02	,10	,08	,13	,13
Fosfaat-totaal	tP	-,11	,00	,10	-,07	-,02	-,06
Bicarbonaat	HCO3	,08	-,03	,00	,02	-,08	-,07
Sulfaat	SO4	,30	-,17	-,22	-,15	-,27	-,22
Chloride	Cl	,19	-,18	-,14	-,14	-,26	-,26
Calcium	Ca	,23	-,01	-,09	,17	,02	,06
Kalium	K	-,04	-,04	-,05	-,01	-,09	-,06
Magnesium	Mg	,15	-,26	-,14	-,18	-,28	-,33
Natrium	Na	,17	-,20	-,17	-,10	-,22	-,21
Beschaduwing	SCH	,17	-,01	-,04	,17	,10	,14
Bodemtype klei/leem	BoKL	-,37	,00	,34	-,07	,04	-,09
Bodemtype zand	BoZA	,45	,08	-,21	,31	,23	,33
Kwelindicatie IJzer aanwezig	Kwel	-,35	-,22	,22	-,20	-,05	-,20
Meandering	Mea	-,06	,15	,32	,09	,11	,07
Stromingsvariatie	StrV	,20	,31	-,03	,26	,29	,35
Stroomsnelheid	v	,26	,34	,01	,31	,31	,41
Afvoer	Afv	,36	,21	-,16	,28	,22	,43
Waterdiepte	Wd	-,16	,07	-,01	-,15	-,07	-,09
(Water)planten	SuPl	-,46	-,01	,15	-,44	-,26	-,41
Fijn grind	SuGF	,32	,14	-,18	,05	-,04	,17
Fijne detritus	SuDF	-,29	-,27	,18	-,27	-,20	-,32
Grof grind	SuGG	,27	,23	-,15	,15	,19	,34
grove detritus	SuDG	-,33	-,20	,23	-,19	-,07	-,31
Klei/leem	SuKL	-,23	,06	-,05	-,26	-,25	-,26
Steen	SuSt	,25	,24	-,15	,24	,31	,46
Zand	SuZa	-,03	-,05	,16	-,05	-,03	-,16
Aantal substraten	SuAn	,51	,08	-,18	,45	,30	,43
Fijn mineraal	SCFM	,08	,07	,00	-,04	-,08	-,10
Grof mineraal	SCGM	,60	,19	-,38	,31	,15	,43
Vast mineraal	SCVM	,39	,17	-,14	,51	,37	,55
Organisch dood	SCOD	-,44	-,24	,25	-,31	-,16	-,39
Organisch levend	SCOL	-,18	-,06	,08	-,14	-,09	-,13
Dikte sapropeliumlaag	Sapr	-,51	-,27	,21	-,54	-,40	-,55
Morfologie	Morf	,02	,03	-,16	-,30	-,30	-,26
Ligging	Ligg	,21	-,11	,00	,28	,18	,28
Populatie uitwisseling	Puitw	,30	-,06	,06	,18	,06	,18

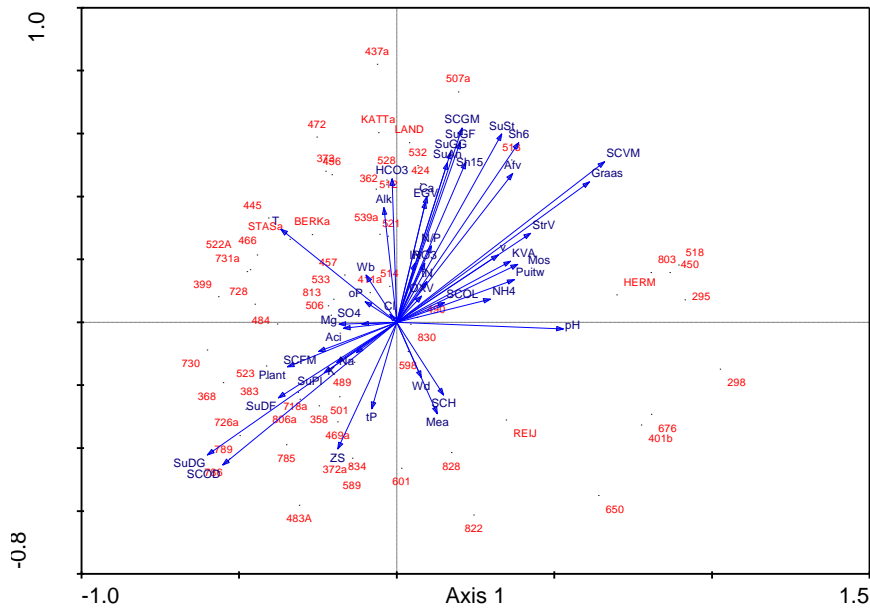
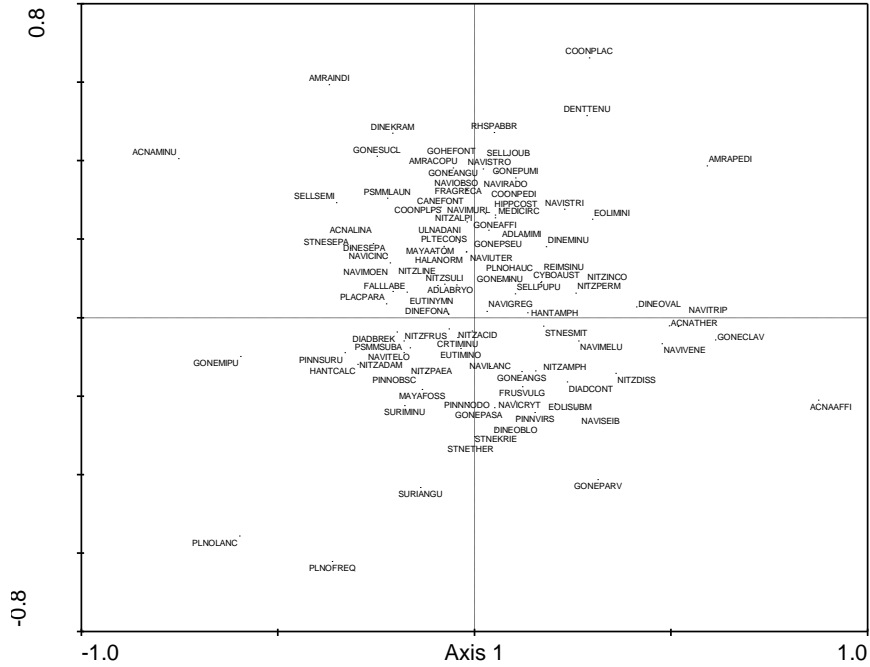
Bijlage 9 Correlaties assen ordinaties diatomeeën met milieuvariabelen

In de tabel zijn de product-momentcorrelaties vermeld. De vijf hoogste waarden van elke kolom zijn groen gemarkeerd, de vijf laagste waarden donkergeel.

Afkorting	Variabele	Soorten				Genera			
		As 1	As 2	As 3	As 4	As 1	As 2	As 3	As 4
T	Temperatuur water	-,28	,28	-,14	,30	-0,09	0,23	0,01	-0,06
pH	Zuurgraad	,41	-,02	-,04	-,32	-0,25	-0,24	-0,04	-0,08
Aci	Aciditeit	-,13	-,02	,04	,33	0,17	0,27	0,14	0,13
Alk	Alkaliteit	-,03	,35	,02	,04	-0,28	0,02	-,28	-0,04
EGV	Geleidendheid	,07	,37	,05	-,53	-0,39	-0,34	-0,11	0,14
ZS	Zwevende stof	-,14	-,39	-,26	-,31	0,26	-,45	0,03	-,18
OXV	Oxidatievermogen	,06	,08	,13	-,49	-0,13	-0,37	-0,23	,16
NH4	Ammonium-stikstof	,23	,07	-,08	-,14	-0,22	-0,14	-0,21	-0,08
NO3	Nitraat-stikstof	,07	,18	,05	-,18	-0,21	-0,16	-,32	-0,02
tN	Stikstof-totaal	,07	,12	,08	-,28	-0,17	-0,23	-,31	0,02
oP	Ortho-fosfaat	-,08	,06	-,10	,29	0,01	0,18	0,22	0,04
tP	Fosfaat-totaal	-,06	-,26	-,10	,30	,26	0,13	,36	0,08
N/P	N/P-verhouding	,09	,23	,11	-,36	-0,26	-0,23	-,41	-0,03
IR	Ionenverhouding (IR)	,04	,18	,04	-,01	-0,17	0,04	-0,24	-0,07
HCO3	Bicarbonaat	-,01	,44	,09	-,45	-0,38	-0,24	-0,09	0,15
SO4	Sulfaat	-,09	,00	,21	-,48	0,03	-0,32	-0,08	,29
Cl	Chloride	-,02	,02	,04	-,42	-0,05	-0,32	0,06	0,14
Ca	Calcium	,07	,39	,04	-,55	-0,42	-0,36	-0,17	0,14
KVA	Kalkverzadiging	,28	,19	,00	-,42	-0,36	-0,28	-0,11	-0,01
K	Kalium	-,15	-,12	,07	-,22	0,15	-0,18	0,02	0,05
Mg	Magnesium	-,14	-,01	,05	-,63	0,02	-,51	-0,06	,16
Na	Natrium	-,10	-,09	-,01	-,48	0,07	-,46	-0,04	0,14
SCH	Beschaduwing	,11	-,22	-,20	-,21	0,09	-0,27	,40	-,18
Mea	Meandering	,10	-,28	-,10	,17	0,19	0,04	,32	-0,02
StrV	Stromingsvariatie	,33	,27	,01	,30	-0,37	,35	0,20	0,00
v	Stroomsnelheid	,25	,21	-,02	,48	-0,22	,48	0,07	-0,08
Afv	Afvoer	,28	,46	,18	,28	-0,44	,41	0,06	0,11
Wb	Waterbreedte	-,08	,14	,13	,09	-0,04	0,22	0,03	-0,03
Wd	Waterdiepte	,06	-,17	-,12	,35	0,20	0,26	-0,08	-,24
Graas	Graasdruk	,47	,43	-,03	,29	-,54	,35	-0,07	0,03
Mos	Percentage bedekking moslaag	,30	,18	,23	-,29	-0,27	-0,20	-0,07	,23
Plant	Percentage bedekking watervegetatie totaal	-,27	-,14	-,02	,14	,31	0,08	-0,02	0,09
SuPl	(Water)planten	-,18	-,15	-,05	,22	0,25	0,14	-0,18	-0,04
SuGF	Fijn grind	,16	,55	,02	,16	-0,51	0,25	-0,05	-0,01
SuDF	Fijne detritus	-,29	-,23	-,05	-,36	,26	-,37	0,28	-0,02
SuGG	Grof grind	,13	,52	,09	,24	-0,46	0,32	-0,23	-0,03
SuDG	grove detritus	-,46	-,41	-,25	-,23	,47	-0,36	,36	-0,03
SuSt	Steen	,26	,58	,08	,09	-,60	0,21	-0,26	-0,02
SuAn	Aantal substraten	,12	,49	-,12	,05	-0,50	0,09	-0,17	-,23
Sh15	Habitatdiversiteit (15 substraten)	,17	,49	,04	-,05	-0,49	0,04	-,27	-0,10
Sh6	Habitatdiversiteit (6 substraten)	,30	,55	-,04	,06	-,62	0,13	-0,22	-0,14
SCFM	Fijn mineraal	-,19	-,09	-,26	,32	0,13	0,11	0,18	-,26
SCGM	Grof mineraal	,16	,59	,10	,21	-,52	,32	-0,13	0,00
SCVM	Vast mineraal	,51	,49	,00	-,10	-,69	0,02	-0,25	-0,11
SCOD	Organisch dood	-,43	-,44	-,16	-,33	,48	-,41	,28	-0,01
SCOL	Organisch levend	,12	,06	,13	-,08	-0,06	-0,03	-0,26	,18
Puitw	Populatie uitwisseling	,29	,13	-,16	,04	-0,25	0,01	0,15	-0,17

Bijlage 10 Ordinatiediagrammen diatomeeën

Soortordinatie (afkortingn soorten in Bijlage 5), monsters in Bijlage 1 en milieuvariabelen in Bijlage 9.



Bijlage 11 Basisgegevens voor univariate analyses en QBwat berekeningen macrofauna

Alleen digitaal.

Bijlage 12 Basisgegevens voor clustering en multivariate analyses macrofauna

Alleen digitaal.

Bijlage 13 EKR en indicatoraantallen macrofauna

Locatie	EKR	Aantal positief dominante taxa	Aantal kenmerkende taxa	Aantal negatief dominante taxa	Aantal niet indicerende taxa	Totale aantal taxa	Locatie	EKR	Aantal positief dominante taxa	Aantal ken-merkende taxa	Aantal negatief dominante taxa	Aantal niet indicerende taxa	Totale aantal taxa
298	0.778	4	32	2	12	50	513	0.774	6	38	2	16	62
401b	0.817	2	29	1	8	40	514	0.789	6	29	2	10	47
450	0.750	5	33	3	11	52	518	0.813	5	22	2	6	35
650	0.756	4	33	4	11	52	521	0.772	4	30	2	13	49
718a	0.679	2	9	2	7	20	522A	0.769	5	38	3	16	62
BERKa	0.704	2	6	1	5	14	523	0.677	6	20	4	12	42
STASa	0.768	4	27	3	13	47	528	0.820	7	28	2	6	43
295	0.782	5	29	3	7	44	532	0.769	2	15	1	9	27
358	0.699	4	17	1	11	33	533	0.765	6	26	3	12	47
362	0.757	4	34	3	14	55	539a	0.745	4	32	3	16	55
368	0.727	5	12	1	6	24	589	0.701	6	22	4	9	41
372a	0.829	4	16	0	6	26	598	0.845	5	32	1	9	47
373	0.889	3	26	1	5	35	601	0.706	2	12	2	5	21
383	0.883	3	22	0	6	31	676	0.746	5	35	4	10	54
399	0.828	2	23	1	6	32	726a	0.648	3	20	7	11	41
411a	0.848	3	22	0	6	31	728	0.799	2	27	3	7	39
424	0.754	3	14	2	6	25	730	0.616	5	11	3	7	26
437a	0.730	4	26	6	9	45	731a	0.794	3	13	2	3	21
445	0.771	3	39	4	17	63	785	0.615	4	19	4	21	48
456	0.837	5	28	0	10	43	786	0.777	2	19	1	10	32
457	0.815	4	31	5	8	48	789	0.622	2	12	3	10	27
466	0.785	3	22	1	12	38	803	0.777	3	21	0	11	35
469a	0.689	3	10	2	9	24	806a	0.731	3	15	1	12	31
472	0.758	5	20	1	9	35	813	0.731	4	11	2	3	20
483A	0.717	3	14	1	9	27	822	0.707	5	28	8	10	51
484	0.687	1	18	3	13	35	828	0.771	6	31	3	11	51
489	0.811	3	31	2	13	49	830	0.767	4	30	3	11	48
490	0.746	5	35	4	13	57	834	0.678	6	26	5	17	54
501	0.687	4	24	7	10	45	KATTa	0.772	5	23	1	9	38
506	0.761	3	28	4	10	45	HERM	0.748	4	20	3	8	35
507a	0.762	4	31	4	13	52	LAND	0.768	8	28	0	13	49
512	0.781	4	33	4	12	53	REJ	0.472	2	15	11	10	38

Bijlage 15 Correlaties assen ordinatie macrofauna met milieuvariabelen

In de tabel zijn de product-momentcorrelaties vermeld. De vijf hoogste waarden van elke kolom zijn groen gemarkeerd, de vijf laagste waarden donkergeel.

Afkorting	Variabele	Soorten			
		As 1	As 2	As 3	As 4
T	Temperatuur water	0,01	0,08	0,05	-0,12
pH	Zuurgraad	-0,31	-0,15	0,07	0,49
Aci	Aciditeit	0,37	0,16	0,08	-0,29
Alk	Alkaliteit	-0,42	0,09	0,02	0,13
EGV	Geleidendheid	-0,18	-0,02	-0,05	0,35
ZS	Zwevende stof	0,07	-0,57	-0,08	0,01
NH4	Ammonium-stikstof	-0,39	0,13	0,08	0,09
tN	Nitraat-stikstof	-0,31	0,06	0,01	0,22
oP	Stikstof-totaal	-0,01	0,22	-0,08	-0,49
tP	Ortho-fosfaat	0,21	-0,11	-0,07	-0,35
HCO3	Fosfaat-totaal	-0,06	0,10	-0,02	0,29
SO4	Sulfaat	0,14	-0,09	-0,12	0,10
Cl	Chloride	0,07	-0,27	-0,09	-0,04
Ca	Calcium	-0,27	-0,01	-0,07	0,46
K	Kalium	0,20	-0,09	-0,07	0,13
Mg	Magnesium	0,09	-0,27	-0,26	0,25
Na	Natrium	0,04	-0,36	-0,22	0,09
SCH	Beschaduwing	-0,21	-0,27	-0,18	-0,11
Mea	Meandering	-0,02	-0,18	-0,03	-0,23
StrV	Stromingsvariatie	-0,27	0,32	0,17	-0,32
v	Stroomsnelheid	-0,23	0,42	0,26	-0,14
Afv	Afvoer	-0,29	0,51	0,16	-0,09
Wb	Waterbreedte	0,13	0,22	0,05	0,25
Wd	Waterdiepte	0,24	0,24	0,08	0,04
Mos	Percentage bedekking moslaag	-0,20	-0,03	0,08	0,07
Plant	Percentage bedekking watervegetatie totaal	0,38	-0,03	0,07	0,07
SuAn	Aantal substraten	-0,64	0,14	-0,05	-0,06
SCFM	Fijn mineraal	-0,20	-0,08	-0,17	-0,14
SCGM	Grof mineraal	-0,60	0,49	-0,08	-0,04
SCVM	Vast mineraal	-0,62	0,31	0,24	0,24
SCOD	Organisch dood	0,36	-0,67	-0,20	-0,18
SCOL	Organisch levend	0,20	0,08	0,13	0,13
Puitw	Populatie uitwisseling	-0,24	-0,23	-0,03	-0,06
O2%	Zuurstofverzadiging	-0,10	0,02	-0,01	-0,09
Morf	Morfologie	0,37	0,46	-0,05	-0,09
Sapr	Dikte sapropeliumlaag	0,57	-0,07	-0,03	0,13
Kwel	Kwelindicatie (ijzer)	0,42	-0,10	0,15	0,07

5 hoogste
5 laagste

Bijlage 16 Ordinatiediagrammen macrofauna

Soortordinatie (soorten met afkortingen in Bijlage 12, monsters in Bijlage 1 en milieuv variabelen in Bijlage 14).



